



**YAPAY ZEKA TABANLI İLAÇLAMA DRONE’U TASARIMI VE
UYGULAMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Cemalettin AKDOĞAN

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Tolga ÖZER

İkinci Danışman

Prof. Dr. Yüksel OĞUZ

ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Ocak 2023

Bu tez çalışması 121E032 numaralı proje ile TÜBİTAK tarafından desteklenmiştir.

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**YAPAY ZEKA TABANLI İLAÇLAMA DRONE’U TASARIMI VE
UYGULAMASI**

Cemalettin AKDOĞAN

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Tolga ÖZER

İkinci Danışman

Prof. Dr. Yüksel OĞUZ

ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Ocak 2023

TEZ ONAY SAYFASI

Cemalettin AKDOĞAN tarafından hazırlanan “Yapay Zekâ Tabanlı İlaçlama Drone’u Tasarımı ve Uygulaması” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 06 / 01 / 2023 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından **oy birliği** ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği **Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Tolga ÖZER

İkinci Danışman : Prof. Dr. Yüksel OĞUZ

Başkan : Prof. Dr. Serdar İPLİKÇİ
Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi

Üye : Doç. Dr. İsmail KOYUNCU
Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Tolga ÖZER
Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi

Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun
..... /..... /..... tarih ve
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

.....
Prof. Dr. İbrahim EROL

Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI
Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

Beyan ederim.

06 / 01 / 2023

Cemalettin AKDOĞAN

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

YAPAY ZEKA TABANLI İLAÇLAMA DRONE'U TASARIMI VE UYGULAMASI

Cemalettin AKDOĞAN

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Tolga ÖZER

İkinci Danışman: Prof. Dr. Yüksel OĞUZ

Dünya nüfusu hızlı bir şekilde artış göstermektedir ve buna bağlı olarak gıda talebinde artış yaşanmaktadır. Bu artıştan dolayı gıda talebini karşılayabilmek için tarımsal arazilerde ürün verimliliğinin artırılması gerekmektedir. Tarımsal ürünlerin verimliliğini artırmak için bitkileri olumsuz yönde etkileyecek böcek ve haşere gibi maddelerden temizlemek gerekmektedir. Bu zararlı organizmaların temizlenmesi için kimyasal ilaçlamaya ihtiyaç duyulmaktadır. Tarımsal ürünlerde kimyasal ilaçlamanın ürün verimini %60 arttırdığı yapılan çalışmalar ile görülmektedir. İlaçlama yöntemleri elektromekanik sistemler kullanılarak, manuel püskürtme kullanılarak ve insansız hava araçları ile yapılan ilaçlamadan oluşmaktadır. Bu yöntemler incelendiğinde manuel püskürtmenin en büyük dezavantajı, bu gübreleri püskürten insana solunum rahatsızlıkları, kalp hastalıkları vb. sağlık sorununa neden olabilmesidir. Bu nedenle ilaçlamanın dengeli ve mümkün olduğunca insan gücü kullanılmadan gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Bu riskten kaçınmak ve pestisitleri eşit bir şekilde püskürtmek için tarımsal arazilerin ilaçlanması bir drone tarafından gerçekleştirilebilmektedir. Drone'lar manuel yöntemlere kıyasla kısa sürede verimli bir ilaçlama yapabilmektedir.

Yapılan bu çalışma ile kiraz ağaçlarının yapay zekâ desteği ile otonom bir şekilde ilaçlanması bir ilaçlama drone'u tarafından gerçekleştirilmektedir. Yapay zekâ uygulamasının çalıştırılması için NVIDIA Jetson NANO geliştirme kiti kullanılmıştır. Kiraz ağaçlarının tespiti için doğruluğu yüksek olması sebebi ile YOLOv5 modeli tercih

edilmiştir. Drone Hexacopter gövde yapısına sahip altı motorlu olacak şekilde SOLIDWORKS programı kullanılarak modellenmiştir ve ANSYS programı ile analizleri gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen drone sistemi 1150 mm gövde uzunluğuna, 5l ilaç kapasitesine ve 12 dakika uçuş süresine sahiptir. Üretilen Hexacopter drone sayesinde tarım arazilerinin ilaçlanması otonom bir şekilde gerçekleştirilmektedir. Yüksekten uçmaları sebebi ile homojen bir ilaçlama gerçekleştirilerek ürünlerin verimi artırılmaktadır. Aynı zamanda gerekli insan gücü ve ilaçlama süresini azaltmakla kalmayarak insan sağlığını olumsuz etkileyen etkileri de azaltacaktır. Bu çalışmanın sonuçlarına göre derin öğrenme modelinin F1-skor değeri 0,980 olarak belirlenmiştir. İlaçlama yöntemi için otonom (sürekli) ilaçlama ve yapay zekâ tabanlı ilaçlama yöntemi karşılaştırıldığında yapay zekâ tabanlı ilaçlama yönteminde %53 daha az ilaç %50 daha az enerji kullanımı gerçekleşmektedir. Sunulan bu çalışma ile kiraz ağaçlarının ilaçlanması için ilaçlama drone sistemlerine yapay zekâ desteği eklenmesi ile başarılı bir şekilde ilaçlamanın gerçekleştirilebileceği gösterilmiştir.

2023, xiii+ 97 sayfa

Anahtar Kelimeler: Tarım, İlaçlama, Drone, Hekzakopter, Otonom, Yapay Zekâ.

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

ARTIFICIAL INTELLIGENCE BASED SPRAYING DRONE DESIGN AND IMPLEMENTATION

Cemalettin AKDOĞAN

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Electric-Electronic Engineering

Supervisor: Asst. Prof. Tolga ÖZER

Co-Supervisor: Prof. Yüksel OĞUZ

The world population is increasing rapidly and accordingly there is an increase in food demand. For this reason, it is necessary to increase crop productivity in agricultural lands in order to meet the food demand. Substances such as insects and pests that will adversely affect plants in agricultural lands are called “pesticides”. Chemical spraying is needed to clean the plants from pesticides. Studies show that chemical spraying in agricultural products increases product yield by 60%. The biggest disadvantage of manual spraying is that it can cause respiratory ailments, heart diseases, etc. to the person spraying these fertilizers. that can cause health problems. For this reason, it should be carried out in a balanced way and without the use of human power as much as possible. To avoid this risk and to spray pesticides evenly, spraying of agricultural lands can be carried out by a drone. Drones can perform efficient spraying in a short time compared to manual methods.

With this study, cherry trees are sprayed autonomously with the support of artificial intelligence. NVIDIA Jetson NANO development kit was used to run the artificial intelligence application. The YOLOv5 model was preferred because of its high accuracy for the detection of cherry trees. The drone Hexacopter was modeled using the SOLIDWORKS program, with a body structure and six engines, and its analyzes were carried out with the ANSYS program. Drone A spraying drone with a body length of 1150 mm, a drug capacity of 5l and a flight time of 12 minutes has been developed. Thanks to the developed Hexacopter drone, spraying of agricultural lands is carried out autonomously. Due to the fact that they fly high, a homogeneous spraying is carried out

and the yield of the products is increased. At the same time, it will not only reduce the required manpower and spraying time, but also reduce the health hazard. According to the results of this study, the F1-score value of the deep learning model was determined as 0,980. When the autonomous (continuous) spraying and artificial intelligence-based spraying method are compared for the spraying method, 53% less medication is used and 50% less energy is used in the artificial intelligence-based spraying method. In this study, it has been shown that spraying can be successfully carried out by adding artificial intelligence support to the spraying drone systems for the spraying of cherry trees.

2023, xiii + 97 pages

Keywords: Agriculture, Spraying, Drone, Hexacopter, Autonom, Artificial Intelligence.

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca desteğini hiçbir zaman esirgemeyen ve eğitimim süresince mühendislik bakış açımı genişleten ve bu tez çalışmasında bilgi birikimini ve yönlendirmesini hiç eksik bırakmayan tez danışmanlarım Prof. Dr. Yüksel OĞUZ'a ve Dr. Öğr. Üyesi Tolga Özer'e

Çalışma dönemi boyunca her zaman yanımda olan ve desteklerini her daim hissettiren hocalarım Öğr. Gör. Hasan AKKOÇ'a, Öğr. Gör. Enes CENGİZ'e ve Arş. Gör. Muhammed Mustafa KELEK'e

Çalışmamızı 121E032 proje numarası ile destekleyen TÜBİTAK'a

Benim bu günlere gelmemde emeği çok olan ve maddi manevi destek vererek beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan aileme,

Sonsuz teşekkür ederim.

Cemalettin AKDOĞAN

Afyonkarahisar 2023

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	vi
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	x
RESİMLER DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Tarım.....	4
1.2 Kiraz.....	5
1.3 Drone	8
2. LİTERATÜR BİLGİLERİ	10
3. MATERYAL ve METOT	19
3.1 Hexacopter Gövde Yapısı	20
3.2 Drone'un Mekanik Yapısı	21
3.3 Drone'un Gövde Analizi.....	21
3.4 Drone'un Gövde Üretimi	23
3.5 Drone'un İtke ve Performans Hesapları	24
3.6 Drone'un Elektronik Yapısı.....	27
3.6.1 Pixhawk Uçuş Kontrolcüsü.....	29
3.6.2 Safety Switch – Buzzer	29
3.6.3 Güç Modülü	30
3.6.4 Jetson Nano Geliştirme Kiti	30
3.6.5 Kamera	31
3.6.6 Motor ve Pervane	31
3.6.7 ESC (Elektronik Hız Denetleyicisi)	33
3.6.8 Güç Dağıtım Kartı (PDB)	33
3.6.9 Li-Po (Lityum Polimer) Batarya	34
3.6.10 GPS Modülü.....	35
3.6.11 Telemetry Modülü.....	36
3.6.12 Kumanda ve Alıcı	36

3.6.13 Mission Planner Yer İstasyonu	37
3.6.14 Failsafe – Arıza Sistemi	38
3.6.15 Elektronik Malzemelerin Gövde Üzerine Yerleşimi.....	39
3.7 Katlanır Kol Mekanizması.....	40
3.8 Püskürtme Sistemi	41
3.8.1 Püskürtme Sisteminin Kontrolü	43
3.9 Yapay Zekâ ile Tespit Sistemi	44
3.9.1 Yapay Zekâ	45
3.9.2 Convolutional Neural Network (CNN).....	46
3.9.2.1 Konvolüsyon Katmanı	47
3.9.2.2 Havuzlama Katmanı.....	47
3.9.2.3 ReLU Katmanı	48
3.9.2.4 Tam Bağlı Katman	48
3.9.3 CNN Mimarileri	49
3.9.4 YOLO Mimarisi	49
3.9.5 Veri Setinin Hazırlanması ve Modelin Eğitilmesi	51
3.10 Jetson Nano ile Pixhawk Kontrolcüsünün Bağlantısı.....	53
3.11 DroneKit Kütüphanesi	54
3.11.1 DroneKit Kütüphanesi ile Drone Sistemine Bağlantı	54
3.11.2 DroneKit Kütüphanesi ile Drone’un Yüksekliğinin Ayarlanması	55
3.11.3 DroneKit Kütüphanesi ile Drone’un Gideceği Noktaların Ayarlanması ...	55
3.12 Jetson Nano Bilgisayarına Uzaktan Erişim Yöntemi SSH (Secure Shell)	55
3.13 Jetson Nano Yapay Zekâ Bilgisayarına Yüklenen Gereksinimler.....	56
3.14 Drone’un İlaçlama Yöntemine Göre Temel Çalışma Algoritması	56
3.15 Drone’un Otonom (Sürekli) İlaçlama Yönteminde Kullandığı Algoritma.....	58
3.16 Drone’un Yapay Zekâ Tabanlı İlaçlama Yönteminde Kullandığı Algoritma ...	60
3.17 Gerçekleştirilen Drone Sistemine Ait Test Çalışmalarının Hazırlanması	61
4. BULGULAR	63
4.1 Deneysel Çalışma Sonuçları	63
4.2 Gerçek Zamanlı Çalışma Sonuçları	73
5. TARTIŞMA ve SONUÇ	78
6. KAYNAKLAR.....	85
ÖZGEÇMİŞ.....	93
EKLER	94

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

mm	Milimetre
l	Litre
ml	Mililitre
ms	Milisaniye
kg	Kilogram
N	Newton
MPa	Megapaskal
V	Volt
g	Gram
mAh	Miliamper saat
MW	Mega Watt
Kv	Kilovolt
A	Amper
MHz	Megahertz
W	Watt
m	Metre
Wh	Watt saat

Kısaltmalar

CNN	Konvolüsyonel Sinir Ağı
CPU	Merkezi İşlem Birimi
ESC	Elektronik Hız Denetleyicisi
FN	Yanlış Negatif
FP	Yanlış Pozitif
FPS	Frame Per Second
GB	Gigabyte
GPIO	Genel Amaçlı Giriş Çıkış
GPS	Küresel Konumlama Sistemi
GPU	Grafik İşlem Birimi
HD	Yüksek Çözünürlük
İHA	İnsansız Hava Aracı
mAP	Ortalama Hassasiyet
PDB	Güç Dağıtım Kartı
PWM	Darbe Genişlik Modülasyonu
ReLU	Doğrultucu Lineer Birim
SSH	Güvenli Kabuk Bağlantısı
TN	Gerçek Negatif
TP	Gerçek Pozitif
USB	Evrensel Seri Veri Yolu

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1.1 Ülkemizdeki 2014-2018 yılları arasındaki kiraz üretimi	6
Şekil 1.2 2015 yılında Türkiye’de en çok kiraz üretimi yapan iller.....	6
Şekil 3.1 Tasarlanan drone sisteminin genel blok diyagramı.....	20
Şekil 3.2 Hexacopter yapısı.....	20
Şekil 3.3 Modal (Titreşim) analiz sonuçları.....	22
Şekil 3.4 Drone’un gövde üretiminin kronolojik olarak sıralaması.....	24
Şekil 3.5 SKYWALKER 80 A ESC.....	33
Şekil 3.6 Elektronik bileşenlerin gövde üzerine yerleşimi üst görünüş.....	39
Şekil 3.7 Elektronik bileşenlerin gövde üzerine yerleşiminin ön görünüşten incelenmesi.	40
Şekil 3.8 Püskürtme sistemi malzemeleri ve bağlantı yapısı.....	42
Şekil 3.9 Püskürtme sisteminin otonom ilaçlama yöntemindeki bağlantı şeması.....	43
Şekil 3.10 Püskürtme sisteminin yapay zekâ kontrolünde çalışması için kurulan bağlantı şeması.....	44
Şekil 3.11 CNN mimarisi.....	46
Şekil 3.12 Konvolüsyon katmanının uygulanması.....	47
Şekil 3.13 Havuzlama katmanı uygulaması.....	48
Şekil 3.14 Tam bağlı katmanın yapısı.....	49
Şekil 3.15 YOLO modeli ağ yapısı.....	50
Şekil 3.16 Jetson Nano ve Pixhawk haberleşme bağlantısı.....	53
Şekil 3.17 Jetson Nano – Pixhawk USB kablo bağlantısı.....	54
Şekil 3.18 Tasarlanan Drone’un yöntemine göre uçabilmesi için yapılan ön hazırlık aşamaları.....	57
Şekil 3.19 Drone’un otonom (sürekli) ilaçlama aşamasında kullandığı akış diyagramı.....	59
Şekil 3.20 Drone’un yapay zekâ tabanlı ilaçlama aşamasında kullandığı akış diyagramı.	61
Şekil 4.2 YOLOv5 versiyonlarının farklı eğitim ve test verilerine göre ve epok sayısına göre F1-puanı – güven eğrisi.....	68
Şekil 4.3 YOLOv5 modellerinin farklı epok değerlerine göre kutu ve nesne kayıpları.....	70
Şekil 4.4 Drone’un gerçek zamanlı çalışmalarda izlemiş olduğu rota.....	75

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 1.1 Farklı teknikler ile tarımsal alanda uygulanan ilaçlama yöntemlerinin kıyaslanması.	2
Çizelge 3.1 EaglePower EA60 350Kv fırçasız motorun özellikleri.....	25
Çizelge 3.2 Kullanılan bileşenlerin ağırlığı.....	26
Çizelge 3.3 Elektronik malzemelerin açıklaması üst görünüş.	39
Çizelge 3.4 Elektronik malzemelerin açıklamasının ön görünüşten incelenmesi.	40
Çizelge 3.5 Nozul çalışma bilgileri.	42
Çizelge 3.6 Püskürtme pompası çalışma bilgileri.	43
Çizelge 4.1 YOLOv5 versiyonlarının farklı test oranları ve farklı epok sayılarına göre kesinlik ve duyarlılık değerleri	67
Çizelge 4.2 Her bir epok ta ve testte F1 skor değeri en yüksek olan modelin F1 skor değeri ve güven değeri.....	70
Çizelge 4.3 İlaçlama Türlerinin Karşılaştırılması.	76

RESİMLER DİZİNİ

	Sayfa
Resim 1.1 Kiraz ağaçlarının ilaçlanma yöntemleri.	7
Resim 1.2 İHA'ların kanat yapısına göre sınıflandırılması.	8
Resim 1.3 Gövde yapılarına göre drone sistemleri.	9
Resim 1.4 Tarım alanında çeşitli drone uygulamaları.	9
Resim 3.1 Tasarlanan drone'un mekanik kısımları.	21
Resim 3.2 Gerçekleştirilen drone'un 3D görünümü.	21
Resim 3.3 Yapısal analiz, Van Mises ve toplam deformasyon.	23
Resim 3.4 Ecalc.ch internet simülatörü kullanılarak itki analizi.	26
Resim 3.5 Tasarlanan drone'un elektronik şeması.	28
Resim 3.6 Pixhawk Cube kontrolcüsü.	29
Resim 3.7 Safety Switch – Buzzer.	29
Resim 3.8 Güç modülü (Power Module).	30
Resim 3.9 Jetson Nano yapay zekâ bilgisayar.	31
Resim 3.10 Logitech C920 kamera.	31
Resim 3.11 EaglePower EA60 350Kv fırçasız motor.	32
Resim 3.12 Karbonfiber pervane ve pervane dönüş yönleri.	32
Resim 3.13 Güç dağıtım kartı.	34
Resim 3.14 TATTU 6S 22000 mAh 25C Li-Po Pil.	34
Resim 3.15 Here3 GPS modülü.	36
Resim 3.16 V5 433 MHz 1000 MW Telemetri modülü.	36
Resim 3.17 RadioMaster TX16S kumanda ve FS-IA10B kumanda alıcısı.	37
Resim 3.18 Mission Planner Yer İstasyonu.	38
Resim 3.19 FAILSAFE (Arıza) ekranı.	38
Resim 3.20 Katlanır kol mekanizması.	41
Resim 3.21 Katlanır kol mekanizmasının açık ve kapalı durumu.	41
Resim 3.22 Makesense etiketleme platformu.	51
Resim 3.23 Etiket sonrası görüntüye ait bilgilerin çıktısı.	52
Resim 3.24 Kiraz ağacı sınıflandırma örneği.	53
Resim 3.25 Jetson Nano yapay zekâ bilgisayarına uzaktan bağlantı yöntemleri.	56
Resim 3.26 Koordinat atama yöntemi ile ilaçlama.	58
Resim 3.27 Test uygulamalarının yapıldığı bahçe ve çizilen rota.	62

Resim 4.1 (a, b, c, d) YOLOv5 modelleri ile tespit edilen bazı görüntüler.	72
Resim 4.2 Yapay zekâ sisteminin deneysel çalışma aşamasında testlerinin yapılması..	73



1. GİRİŞ

Günümüzde dünya nüfusunun her geçen gün artması ile birlikte besin ihtiyacı da doğru orantılı bir şekilde artış göstermektedir (Dutta ve Goswami 2020). Nüfusun artmasına rağmen kullanılabilir elverişli araziler de ters orantılı bir şekilde azalmaktadır (Sali 2012). Bu şartlar göz önüne alındığında birim alandan maksimum seviyede verim alınmasını gerektirmektedir. Tarımsal alanlarda daha iyi verim için pestisit adı verilen bitkileri olumsuz şekilde etkileyen canlıların uzaklaştırılması gerekmektedir (Kurkute vd. 2018). Bu canlılarla mücadele için zirai ilaçlar kullanılmaktadır. Ülkemizde bitkisel hastalıklara ve zararlı canlılara yönelik ilaç kullanım oranı %95 seviyelerindedir. Tarım ürünlerinde ilaç kullanılması sayesinde verimin %60 oranında artış gösterdiği yapılan çalışmalar neticesinde bilinmektedir (Mogili ve Deepak 2018).

Zirai ilaçlama uygulaması yöntemlerine göre incelendiğinde üç farklı şekilde karşımıza çıkmaktadır. Bu yöntemler sırası ile doğrudan insanlar tarafından yapılması, elektromekanik sistemler kullanılarak yapılması ve insansız sistemler kullanılarak yapılan ilaçlama yöntemleridir. İnsan kontrolünde yapılan ilaçlama yönteminde hem çok zaman hem de çok çaba gerekmektedir. Kullanılan ilaç içerisinde kimyasal bulunması nedeniyle insan sağlığında solunum ve kalp rahatsızlıkları gibi çeşitli hastalıklar meydana gelmektedir (Nivas vd. 2020). İlaçlama yöntemlerinden bir diğeri olan elektromekanik sistemlerin kullanıldığı yöntemlerde traktör arazi üzerinde hareket ettiği için bitkiye zarar vermekte ve püskürtülen ilacın küçük bir kısmı bitki üzerinde tutunurken geri kalan ilaç toprağa akmaktadır. Diğer bir yöntemde ilaçlama amaçlı İnsansız Hava Araçları (İHA) kullanılmaktadır. İHA'lar yüksekten uçabilmeleri sayesinde bitkiye ya da insan sağlığına herhangi bir tehdit oluşturmamaktadır. Aynı zamanda İHA'lar hızlı uçabildikleri için süre ve maliyet konusunda tasarrufa gidilebilmektedir (Prasad vd. 2018). Drone sistemlerinin ilaçlama alanında kullanılmasının sağladığı avantajlar diğer ilaçlama yöntemleri ile kıyaslanarak Çizelge 1.1'de verilmiştir.

Çizelge 1.1 Farklı teknikler ile tarımsal alanda uygulanan ilaçlama yöntemlerinin kıyaslanması.

Tarımsal alanda uygulanan ilaçlama yöntemleri	Sağlığa olan olumsuz etkileri	İlacın verimsiz bir şekilde kullanımı ve bitkiye ulaşmama oranı	İlaçlama işlemi için ihtiyaç duyulan zaman	İlaçlama işleminin maliyeti	İlaçlama yönteminin çevreye verdiği zarar
İnsanlar tarafından yapılan ilaçlamanın	Yüksek	Yüksek	Yüksek	Yüksek	Orta
Elektromekanik sistemler tarafından yapılan ilaçlamanın	Orta	Orta	Orta	Yüksek	Yüksek
İnsansız kara araçları tarafından yapılan ilaçlamanın	Düşük	Orta	Düşük	Düşük	Orta
İnsansız hava araçları tarafından yapılan ilaçlamanın	Düşük	Düşük	Düşük	Düşük	Düşük

Drone sistemleri teknolojinin gelişmesi ile birlikte pek çok alanda kullanılabilmektedir. Tarım alanı da son yıllarda drone'ların kullanılmaya başlandığı alanlardan biri olarak karşımıza çıkmaktadır. Tarım alanlarının daha etkin kullanımı ve birim alandan elde edilecek verimin artırılması için teknolojik gelişmelere dayalı tarım uygulamalarının geliştirilmesi gerekmektedir (Günaydın 2009). Özellikle öngörülen kuraklık ve besin kıtlığı gibi tehlikeli durumlara karşın mevcut kaynakların en etkili şekilde kullanılması ve maksimum verimin elde edilmesi gerekmektedir. Bu şartlar tarım alanında gerçekleştirilen pek çok uygulamaya teknolojinin entegre edilme zorunluluğunu ortaya çıkarmaktadır.

İlaçlama işleminin tarım alanında sıklıkla kullanılan ve elde edilen ürün verimini arttırdığı bilinmektedir. Ancak gereksiz ve fazla kullanılması durumunda çevreye ve insan sağlığına yönelik bazı dezavantajları olmaktadır. Bu nedenle ilaçlamanın dengeli ve mümkün olduğunca insan gücü kullanılmadan gerçekleştirilmesi gerekmektedir.

Tarım alanında verimin artırılması amacı ile ilaçlama işleminin yaygın olarak yapıldığı göz önünde bulundurulduğunda ilaçlama işleminin teknolojik sistemler kullanılarak gerçekleştirilmesi ihtiyacı ortaya çıkmaktadır. Bu çalışmada gerçekleştirilmesi amaçlanan drone ilaçlama sistemi ile tarım alanındaki bu gereksinim giderilecek ve

oluşturulan veri setleri aracılığı ile gerekli eğitimlerin gerçekleştirilmesi sonucunda farklı tipte bitki veya ağaç gruplarına uygulanabilmektedir. Gerçekleştirilen bu çalışma ile derin öğrenme tabanlı günümüzün popüler teknolojisi, tarım alanına entegre edilerek gelecekte bu alanda yapılabilecek farklı çalışmalara temel teşkil edecek bir altyapı oluşturacaktır. Drone tabanlı ilaçlama sistemlerinde derin öğrenme yöntemleri kullanılarak, kontrolünün gerçekleştirildiği çalışmaların sayısının oldukça az olduğu yapılan literatür taraması sonucunda anlaşılmıştır.

Yapılan bu çalışmada kiraz ağaçlarının tespit edilerek otonom bir şekilde ilaçlanması için yapay zekâ tabanlı ilaçlama drone'u geliştirilmiştir. Geliştirilen drone sisteminde 5 litre ilaç taşıma kapasitesi uygun görülmüştür. Ağırlık taşıma uygulamalarında altı motorlu Hexacopter modeli tercih edildiği için bu çalışmada altı motora sahip 1150 mm uzunluğunda 12 dakika uçuş süresine sahip ilaçlama drone'u üretilmiştir.

Çalışmada öncelikle belirlenen ilaç ağırlığına göre drone'un mekanik gövdesi ile ilaç haznesinin tasarımı SOLIDWORKS programı ile tasarlanarak drone ilaçlama sisteminin mekanik ve aerodinamik analizleri gerçekleştirilmiştir. Mekanik tasarımı tamamlanan drone'un test uçuşları gerçekleştirilmiştir. Test uçuşları sırasında drone yerden birkaç metre yukarı çıkabilecek şekilde test edilmiştir. Uçuşlar sırasında herhangi bir sorun ile karşılaşılmamıştır.

Drone'un mekanik tasarım süreci devam ederken eş zamanlı olarak Afyonkarahisar bölgesinde bulunan kiraz bahçelerinden kiraz ağaçlarının görüntülerini içeren fotoğraflar toplanarak veri seti oluşturulmuştur. Veri seti, eğitim ve test amaçlı kullanılmış olup sistemin eğitimi için oldukça önemlidir. Böylelikle ilaçlama drone'una kiraz ağacını tanıma özelliği kazandırılmıştır. Veri seti ile eğitim işlemi gerçekleştirilirken sistemimize özgü bir eğitim modeli oluşturulmuştur.

Derin öğrenme kontrol sistemi Jetson Nano geliştirme kiti kullanılarak Python dilinde programlanmıştır. Drone sistemi sorunsuz bir şekilde uçuş görevini yerine getirdiği andan itibaren derin öğrenme tabanlı gerçek zamanlı kontrol uygulamalarına başlanmıştır. Üretilen ilaçlama drone'u ile derin öğrenme kontrol yöntemleri kullanılarak

kiraz ağaçlarının tespiti ve ilaçlanması gerçekleştirilmiştir. Mekanik yapı olarak ilaçlama amacına uygun drone tasarımı gerçekleştirilmiş olup derin öğrenme kontrol yöntemi kullanılarak ilaçlama işlemi insansız ve otonom bir şekilde drone aracılığı ile yapılmıştır. Derin öğrenme tabanlı kontrol sisteminin uygulanması ile drone kiraz ağacını tespit edebilmektedir. Ağacın tespit edildiği andan itibaren belirlenen süre kadar ilaçlama yapılması amaçlandığından zirai ilaçların daha verimli kullanılması gerçekleştirilmiş ve gereksiz olarak bu zirai ilaçların çevreye kontrolsüz bir şekilde püskürtülmesinin önüne geçilmiştir.

İlaçlama işlemi öncelikli olarak derin öğrenme kontrol sistemi ile gerçekleştirilmektedir. Aynı zamanda mevcut drone ilaçlama sistemi ile derin öğrenme kontrol sistemi kullanılmadan sadece koordinat atanarak belirlenen alanın ilaçlanması Pixhawk uçuş kontrolcüsü ile otonom şekilde yapılabilmektedir. Böylelikle iki farklı yöntem kullanılarak yapılan ilaçlama işlemlerine ait gerçek zamanlı deneysel sonuçlar elde edilmiştir. Tarım alanında yapılan ilaçlama işlemlerinde derin öğrenme sisteminin sağlamış olduğu avantajlar noktasal olarak net bir biçimde sayısal verilerle ortaya koyulabilmektedir. Dijital teknolojinin tarım alanda kullanılmasına yönelik karşılaştırmalı bir çalışma gerçekleştirilerek tarım ile dijital teknolojinin birlikte kullanılmasının tarım alanında sağladığı avantajlara değinilmiştir. Ayrıca önerilen projenin gerçekleştirilmesi durumunda pek çok alana uyarlanabilecek bir altyapı oluşturulmuştur. Bu altyapı kullanılarak belirlenen bitki veya ağaç türüne yönelik sistemin derin öğrenme modeliyle eğitilmesi sonucunda noktasal olarak drone ilaçlama sistemi ile ilaçlaması gerçekleştirilebilmektedir.

1.1 Tarım

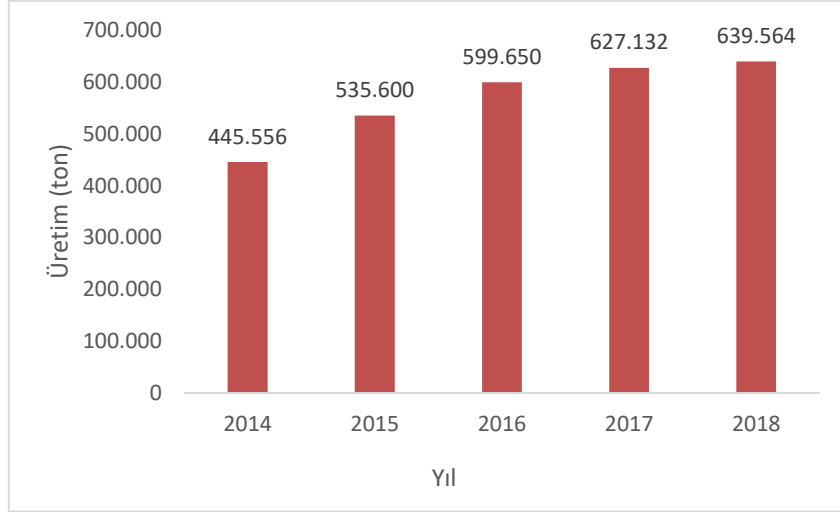
Tarım insanoğlunun yaşamını sürdürebilmesi için gerekli olan bitki, meyve, sebze gibi ürünlerin yetiştiriciliğini sağlayan sektörlerden birisidir (Oğul 2022). Tarım alanı birçok ülkenin belkemiğidir. Beslenmenin yanında diğer sektörlerle hammadde sağlaması ve milli gelir sağlaması nedeni ile hayatımız için önemli bir yer almaktadır. Günümüzde nüfusun ve kentleşmenin hızla artması ile tarımsal alanlar azalmaktadır. Bu sorunun ileride beslenmemiz için gerekli olan gıda konusunda ciddi sorunlara yol açabileceği

öngörülmektedir (Özgüven ve Közkurt 2021). Beslenme ve gıda talebinin karşılanması için birim alandan elde edilen ürün miktarının artırılması gerekmektedir. Tarım alanında üretimin öncelikli amacı bitkisel ve hayvansal üretimde ekonomik ve sürdürülebilir bir üretimin sağlanmasıdır (Özgüven vd. 2022). Bu amaç doğrultusunda tarım alanında teknolojinin kullanılması ile tarımsal uygulamaların kolaylaştırılması ve girdi maliyetlerinin minimuma çekilmesi gerekmektedir (Özgüven 2018).

Günümüzde bilinçsiz girdi kullanımı ve genç işçi sayısında azalma gibi sebeplerden dolayı ülkemiz tarım alanında girdi maliyetleri artmaktadır. Endüstri 4.0 sayesinde gelen teknolojik faydaların tarım sektörüne entegrasyonu ile tarım alanında akıllı tarım ve dijital tarım uygulamaları ortaya çıkmıştır. Endüstri 4.0 devriminin tarım sektörüne entegre edilmesi ile birlikte yapay zekâ, robotik uygulamalar ve nesnelerin interneti gibi yeni teknolojiler tarım alanında da uygulanmaya başlanmıştır (Güldal ve Özçelik 2022). Akıllı tarım sayesinde arazi üzerine ekim, gübreleme ve ilaçlama gibi işlemler otomatik olarak verimli bir şekilde yapılarak iş gücünden tasarruf sağlanmaktadır. Akıllı tarım uygulamaları sayesinde bahçe ya da sera üzerinde bulunan sensörler ve aktüatörler kullanılarak bahçe ya da seranın durumu takip edilebilir ve mobil uygulama sayesinde uzaktan kontrol sağlanabilmektedir (Zhang vd. 2015).

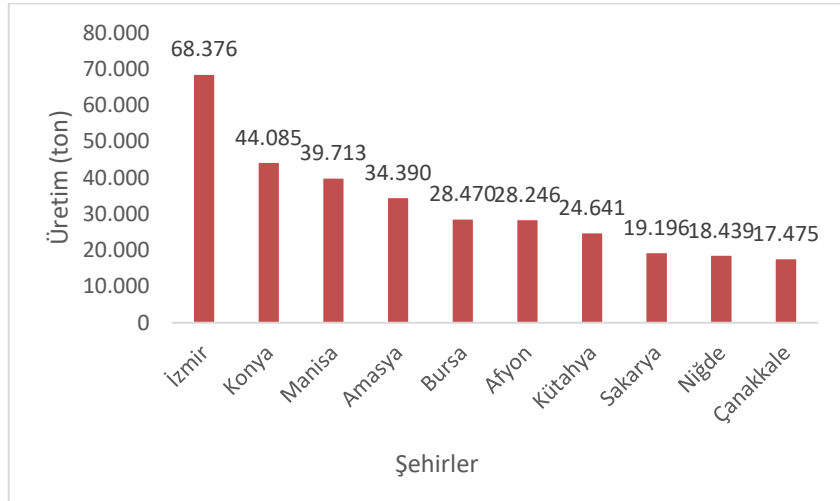
1.2 Kiraz

Türkiye meyvecilik alanında dünya üzerinde önemli bir konuma sahiptir (Gerçekçioğlu vd. 2008). Ülkemizde yetiştirilmekte olan meyvelerden birisi olan kiraz (*Prunus avium* L.) üretimi sayesinde dünyada birinci sırada yer almaktadır. Kiraz besin değeri çok yüksek olan ve yaz aylarında olgunlaşan bir meyve olmasının yanında üretim ve pazarlama aşamasında yoğun işgücünün kullanımı ile büyük bir istihdam olanağı yaratmaktadır. Ülkemiz kiraz meyvesi ile ihracat alanında yüksek oranda satışlar yapmaktadır. Döviz getirisinin iyi olması nedeni ile ülke ekonomisi bakımından büyük önem taşımaktadır (Kaplan 2019). Şekil 1.1 ile ülkemizdeki 2014-2018 yılları arasındaki kiraz üretimi gösterilmektedir.



Şekil 1.1 Ülkemizdeki 2014-2018 yılları arasındaki kiraz üretimi (İnt. Kyn. 1).

Şekil 1.2 ile 2015 yılına ait Türkiye de en çok kiraz üretimi yapan illerin grafiği verilmiştir. Afyonkarahisar bölgesi kiraz üretimi konusunda altıncı sırada olup 28,246 ton ile ülkede büyük bir üretim payına sahiptir. Yapılan bu çalışmada yapay zekâ tabanlı bir ilaçlama drone’u ile kiraz ağaçlarının otonom bir şekilde ilaçlanması amaçlanmıştır. Afyonkarahisar bölgesinde kiraz ağaçlarının fazla sayıda olması nedeni ile yapay zekâ tabanlı sınıflandırma işlemi için kiraz ağacının seçilmesi uygun görülmüştür.



Şekil 1.2 2015 yılında Türkiye’de en çok kiraz üretimi yapan iller (Unakıtan vd. 2016).

Diğer ülkelerde de olduğu gibi ülkemizde de tarımsal üretimde ekonomik kayıplara sebep olan ve verimi düşüren etkenlerin başında hastalık ve zararlı organizmalar gelmektedir. Kiraz yetiştiriciliğinde zararlı organizmalar yüzünden bitki korumada sorunlar

yaşanmaktadır. Bu zararlı organizmalara kiraz sineği ve kırmızı örümcek örnek olarak verilmektedir. Kiraz sineği meyvenin etli kısmından beslenerek meyvenin zamanından önce çürümesine ve dökülmesine neden olmaktadır. Zararlı organizmanın kiraz meyvesine zarar vermesi sebebi ile üreticiler zor durumda kalmakta ve meyvenin ticaretinde aksaklıklar yaşanabilmektedir. Bu zararlı organizmalar ile mücadele için insektisit adı verilen kimyasal ilaçlar kullanılmaktadır (Alaserhat vd. 2021). İlaçlamanın olmadığı bahçelerde bulaşma seviyesinin yüksek değerlerde olduğu görülmüştür. Zararlı organizmalardan kurtulmak için kullanılan pestisit ilaçların verimsiz ve düzensiz bir şekilde kullanılmasından dolayı bahçenin doğal dengesine zarar verirken aynı zamanda insan sağlığını da olumsuz bir şekilde etkilemektedir (Kasap ve Kök 2019).

Günümüzde kiraz ağaçlarının ilaçlanması Resim 1.1’de görüldüğü gibi insan kontrolünde sırt pompası, Pülverizatör kullanarak basınçlı hortum ile ve zirai insansız hava araçları ile yapılmaktadır.



a) Sırt pompası ile ilaçlama.



b) Zirai İnsansız Hava Aracı ile ilaçlama.



c) Pülverizatör kullanarak basınçlı hortum ile ilaçlama.

Resim 1.1 Kiraz ağaçlarının ilaçlanma yöntemleri.

1.3 Drone

İnsansız Hava Aracı (İHA) yerde bulunan bir pilot tarafından gönderilerek uzaktan kumanda edilen veya önceden çizilen uçuş pisti kontrolcüye yüklenerek otonom uçabilen hava aracıdır (Kahveci ve Can 2017). İHA'lar ilk olarak askeri alanda kullanılmaya başlasa da günümüzde hobi ve ticari amaçlı birçok uygulamada veya alanda kullanılmaktadır. İHA'lar genel olarak hobi amaçlı üretilse de bazı İHA'lar ilaçlama drone'u, keşif drone'u, kargo drone'lar vb, özel bir amaca uygun olarak görev amaçlı üretilirler. İHA'lar ağırlığına göre ve kanat yapısına göre sınıflandırılmaktadır. Kanat yapısına göre İHA'lar Resim 1.2'de görüldüğü gibi döner kanat ve sabit kanat olarak ayrılmaktadır.



a) Döner kanat İHA



b) Sabit kanatlı İHA

Resim 1.2 İHA'ların kanat yapısına göre sınıflandırılması.

Döner kanat İHA'lar halk dilinde drone ismi ile sabit kanatlı İHA'lar ise uçak ismi ile bilinmektedir. Ağırlığına göre İHA'lar ise aşağıdaki gibi isimlendirilmektedir;

- 500 g-4 kg arası İHA0,
- 4 kg-25 kg arası İHA1,
- 25 kg-150 kg arası İHA2,
- 150 kg ve fazlası İHA3

Drone sistemleri gövde yapılarına göre Resim 1.3'te görüldüğü gibi Tricopter (üç motorlu), Quadcopter (dört motorlu), Hexacopter (altı motorlu) olmak üzere kendi içerisinde ayrılmaktadır.



a) Tricopter



b) Quadcopter



c) Hexacopter

Resim 1.3 Gövde yapılarına göre drone sistemleri.

Teknolojinin gelişmesi ile drone'lar tarım alanında da yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır (Mogili ve Deepak 2018). Tarım alanında İHA'ların kullanılması ile afet riskinin azaltılması, gübreleme ve ilaçlama gibi birçok uygulamada gelişmeler yaşanmıştır (Gül vd. 2021). Resim 1.4 ile İHA'ların tarım alanında kullanılmasına örnek uygulamalar görülmektedir.



a) Yangın söndürme.



b) İlaçlama.



c) Gübreleme.



d) Bitki gözlem.

Resim 1.4 Tarım alanında çeşitli drone uygulamaları.

2. LİTERATÜR BİLGİLERİ

Drone teknolojisinin gelişmesi ile birlikte drone tabanlı uygulamalar birçok alanda karşımıza çıkmaktadır. Bu alanlardan bir tanesi de tarım alanına yönelik uygulamalar olup gün geçtikçe bu alanda dronların kullanımı yaygınlaşmaktadır. Literatürde drone ile tarımsal alanların ilaçlanması konusunda farklı çalışmalar mevcuttur. Bu bölümde tarım alanında gerçekleştirilen drone tabanlı ilaçlama uygulamalarından bahsedilecektir.

(Pharne vd. 2018) yapmış oldukları çalışmada tarım ürünlerine pestisit püskürtmek için drone ile bütünleşik püskürtme sistemi geliştirmişlerdir. Arduino programlama dilinin kullanıldığı bu çalışmada drone'a entegre ilaçlama deposunda yer alan pestisit ilacı ile zararlı organizmaları kontrol altına almak veya zararlarını en aza indirmek amaçlanmıştır. İlaçlama depo sistemine bağlı olan nozullar yardımıyla ekin alanlarına püskürtme işlemi yapılmaktadır. Pestisit israfını önlemek için ilaçlama deposuna eşit bir basınç uygulanacağı ve bu nedenle pestisit ekinlerin üzerine doğru şekilde püskürtüleceği belirtilmiştir.

(Suryawanshi vd. 2019) yapmış oldukları çalışmada uzaktan kontrol edilen dört pervaneli drone'a 1000 ml kapasiteli bir ilaçlama deposu entegre edilerek tarım alanının ilaçlanmasını sağlayan bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmada karşılıklı iki uca denk gelecek şekilde iki adet nozul kullanılarak kimyasal ilacı püskürtme işlemi sağlanmıştır.

(Spoorthi vd. 2017) yapmış oldukları çalışmada tarım alanının her tarafına eşit şekilde ilaç püskürten drone çalışmasından bahsedilmektedir. Android uygulamayla uzaktan kontrol edilebilen bu sistemde tarım alanının şekline bağlı olmaksızın Küresel Konumlama Sistemi (GPS) kullanılarak uzaktan tam olarak yönlendirilebilmektedir. Drone ilaçlama sistemi kullanılarak tarım alanlarının ilaçlanmasının diğer yöntemlere göre oldukça kolay olduğu belirtilmiştir.

(Huang vd. 2009) yapmış oldukları çalışmada uzaktan kontrol edilebilen veya otonom olarak çalıştırılabilen drone ilaçlama sistemi ile belirlenen tarım alanının ilaçlanmasını

gerçekleştirmişlerdir. Belirlenmiş olan alanın ilaçlanma işlemi GPS üzerinden takip edilmekte ve manuel olarak gerçekleştirilmektedir. Ayrıca ilaçlanacak alanın koordinatlarının önceden tanımlanması ile otonom şekilde yapıldığı gözlemlenmiştir. İlaçlama anında püskürtme pompasının hızı PWM ile kontrol edilerek ilaçlama sistemi daha etkin bir şekilde kullanılmıştır. Tarım alanında kullanılan ilaçlama sisteminin çalışmasını optimize ederek başarılı sonuçların alındığını ifade etmişlerdir.

(Faiçal vd. 2014) tarafından gerçekleştirilen çalışmada dronlar aracılığıyla tarımsal alanlarda gerçekleştirilen ilaçlama uygulamalarının bazı bozucu etkilere neden olduğu ifade edilmiştir. Drone'un ilaçlama anında olumsuz hava koşullarından (rüzgârın şiddeti ve yönü gibi) etkilenerek bu durumun ilaçlama işlemini ve drone'un kontrolünü olumsuz etkilediği belirtilmiştir. Hava koşullarının rüzgârlı olmasının drone'un kontrolünü daha zor hale getirdiği söylenmektedir. Gerçekleştirilen çalışmada bir mahsul tarlası drone tarafından kimyasal ilaç püskürtülerek ilaçlanmaktadır. İlaçlama anında drone sisteminin ilaçlama rotası belirlenen algoritma doğrultusunda rastgele olarak ayarlanmaktadır. Bu ilaçlama sisteminin mevcut tarla üzerine olan etkisi ele alınmıştır. Yapılan bu çalışmada uygulanan deneyin birinde drone'un ilaçlama deposundaki sıvının kullanım miktarı %13,95 ile %8,86 arasında azalmıştır. Gerçekleştirilen farklı bir deneyde ise ilaçlama deposundaki sıvının azalma miktarının %22,47 ile %10,57 arasında gerçekleştiği belirtilmiştir.

(Kim ve Son 2020) yapmış oldukları çalışmada tarım ilacı püskürtülmesi için çoklu robotlar kullanmışlardır. Böylelikle ilaçlama işleminin insan sağlığı üzerinde meydana getirebileceği zararları azaltmayı amaçlamışlardır. Çoklu robotlar kullanılarak görev tahsis sistemi geliştirilmiştir. Geliştirilen ilaçlama sistemi ile ilaçlanacak bölgelerin yani çalışma alanlarının görüntüleri alınarak düğüm noktalarının konumları belirlenmiş ve bu noktalar tespit edilmiştir. Daha sonra drone ilaçlama sisteminin ilaç püskürtme işlemini gerçekleştirebilmesi amacıyla yol planlaması oluşturulmuştur. Aktarılan sonuçlara göre sistemin gerçek meyve bahçelerine uygulanabilir olduğunu doğrulamışlardır.

(Kislaya ve Goutam 2019) yapmış oldukları çalışmada dikdörtgen bir tarım alanında drone ilaçlama sistemini kullanmışlar ve ilaçlama sisteminin görev atama problemini

çözmeye çalışmışlardır. Quadcopter ile gerçekleştirilecek görevde ilaçlama işleminin en kısa sürede yapılması hedeflenmiştir. Bunun için rüzgârın yönü ve hızı da dikkate alınarak benzetim çalışmaları yapılmıştır. Yapılan çalışmalarda sadece dikdörtgen araziye uygun şekilde sistemin tasarlanması olumsuz etki yarattığı anlaşılmıştır.

(Ay vd. 2015) yapmış oldukları çalışmada İHA kullanarak tarımsal ilaçlama işlemini gerçekleştirmişlerdir. Tarımsal arazilerde zararlı canlıların yok edilebilmesi için kullanılan ilaçların genellikle püskürtme yöntemi ile olduğunu söylemişlerdir. Traktör ile yapılan ilaçlamada ekinlerin zarar gördüğünü, insanların uyguladığı ilaçlamada ise dengesiz ilaç serpildiğini belirtmişlerdir. İHA ile yapılan ilaçlamada düşük irtifadan uçarak ilaçlama yapılabileceği ve otonom uçuş sayesinde ilaçlamanın daha ucuz ve etkili olduğunu savunmuşlardır. Tasarlamış oldukları İHA'nın kontrolü için otopilot yazılımı olan ArduCopter yazılımını kullanmışlardır. Tarımsal arazinin ilaçlanması için Mission Planner yer istasyonu ile çizilen alanın ilaçlanmasını otonom olarak gerçekleştirecektir. Geliştirdikleri algoritma ile ilaç miktarının azalması veya batarya seviyesinin azalması durumunda İHA'nın home (ev) noktasına otonom olarak geri dönüşü sağlanacaktır. İlaçlama işlemi için küçük ve büyük gövde yapısına sahip iki farklı İHA için yol haritası oluşturarak üretilen simülatör sayesinde doğal ortamda herhangi bir ilaçlama yapmadan kat edilecek mesafe, uçuş süresi ve dolum sayısı gibi parametrelerin önceden kestirilebileceği sistem geliştirmişlerdir.

(Akkamış ve Çalışkan 2020) yapmış oldukları çalışmada bitkisel üretimin sürdürülebilirliği için yenilikçi tarım uygulamalarının kullanılması gerektiğini savunmuşlardır. Bu yeniliklerin üretim alanında kullanılması sonucunda arazilerin iyileştiğini ve üretim veriminin arttığını belirtmişlerdir. İnsansız hava araçlarının tarım alanında kullanılarak uzaktan algılama yapılarak tarımsal arazilerde verimin artırılabilirliğini savunmuşlardır. İHA'lar tarım alanında bitkilerin durumunu inceleme, hastalık tespiti ve yabancı ot tespitinde klasik yöntemlere göre daha hızlı ve ekonomik olarak analiz işlemi gerçekleştirebilmektedirler. İHA'lar; ilaçlama, hasat, haritalama ve görüntüleme alanlarında da kullanılabilirler.

(Tiryaki vd. 2010) yapmış oldukları çalışmada tarımsal arazilerin gün geçtikçe azaldığını, insan nüfusunun ise ters orantılı bir şekilde arttığını savunmuşlardır. Tarımsal arazilerin korunması ve yüksek verim elde edilebilmesi için bitkiler üzerinde “pestisit” adı verilen kimyasal ilaçların kullanılması gerektiğini öne sürmüşlerdir. Kısa sürede etkisini göstermesi ve kullanımı kolay olması sebebiyle pestisit kullanımı bitkilerin korunması için yaygın olarak kullanılan yöntemdir. Pestisitlerin kimyasal olmaları sebebiyle insan sağlığı üzerinde ciddi sorunlar ortaya çıkardığını savunmuşlardır.

(Uzun vd. 2018) yapmış oldukları çalışmada tarım alanlarında yapay zekanın kullanılması ve öneminden bahsetmektedir. Ülkemizin tarım sektöründe ekonomik olarak önde gelen sektörler arasında olduğunu savunmuşlardır. Bu sebeple tarımsal arazilerde klasik yöntemlere nazaran yapay zekâ teknolojisinin kullanılması daha iyi sonuçlar vererek ürün/hasat üzerinde verimliliğin artışı sağlamaktadır. Tarım alanında yapay zekâ teknolojisinin kullanılmasına otonom traktörleri, droneleri ve makine görme sistemlerinin kullanılmasını örnek olarak göstermişlerdir.

(Mogili ve Deepak 2018) yapmış oldukları çalışmada tarım arazilerinde ürün verimliliğini artırmak amacı ile pestisitlerin kullanıldığını öne sürerek pestisitlerin insan sağlığına olumsuz etkilerinden bahsetmişlerdir. İnsan kontrolünde yapılan ilaçlama ile bitkilerin ve ağaçların etkili bir şekilde ilaçlanmadığını, İHA’ların ilaçlama uygulamalarında daha etkili olduğunu savunmuşlardır. İHA’lar ekipman ve işçiliğin zor olduğu alanlarda rahatlıkla kullanılabilir.

Şu ana kadar bahsedilen literatürdeki çalışmalar yapay zekânın entegre edilmediği geleneksel ilaçlama işlemlerini içermektedir. Yapay zekânın ilaçlama amaçlı kullanılması ile daha kontrollü sistemler elde edilebilmektedir. Yapay zekâ sistemlerinin kullanılmasıyla gerçekleştirilen ilaçlama işlemlerinde kullanılan tarım ilacı miktarının yapay zekânın bulunmadığı çalışmalara göre daha az olduğu görülmektedir. Ayrıca yapay zekâ entegreli drone ile her türlü arazi şartlarına uygun şekilde ilaçlama olanağı bulunmaktadır.

(Partel vd. 2019) belirlenen bazı ot türlerini tespit etmek için derin öğrenmeyi kullanmışlardır. Bu derin öğrenme sisteminin entegre olarak kullanıldığı akıllı bir püskürtücü prototipi geliştirmişlerdir. Çalışmada yabancı otların temizlenmesi hedeflenmiştir. Yapılan bu çalışmada yabancı otun dışında bulunan biber bitkileri ve saz otlarını birbirinden ayırmak için derin sinir ağlarından faydalanmışlardır. Yapay ve gerçek bitkilerle denenen sistemin yabancı otu tespit etmede oldukça başarılı olduğu ifade edilmiştir. Bu yöntemin özellikle tüm tarlayı işleyen geleneksel serpme püskürtücülerle karşılaştırıldığında gerekli tarım kimyasallarının miktarını önemli ölçüde azaltabileceği belirtilmektedir. Böylelikle işlem gerektirmeyen tarım alanlarında gereksiz ilaçlama yapılmasının önüne geçilebileceği ifade edilmiştir.

(Wang vd. 2020) pamuk yetiştirme döneminde pamuğun büyümesine yardımcı olması amacıyla ilaç püskürtme işlemine yönelik bir yöntem geliştirmişlerdir. Bunun için pamuğun morfolojik görüntüsüne göre püskürtme işlemi yapılmıştır. Derin öğrenme sistemine dayalı bir model oluşturularak yeni bir tanıma sistemi oluşturulmuştur. Oluşturulan CNN modelinin doğruluk, kesinlik, F1 skor değerleri ve tanıma hızları sırasıyla %93,27, %95,39, %94,76 ve 71,46 ms olarak elde edilmiştir. Önerilen CNN modelinin VGG16 ve AlexNet'in performansıyla karşılaştırıldığında daha iyi performansa sahip olduğu belirtilmiştir.

(Chen vd. 2021) yapmış oldukları çalışmada Tessaratoma papillosa ismi verilen zararlı organizmanın her yıl mahsullere ciddi zarar verdiğini söylemişlerdir. Bu zararlı organizmayı akıllı bir şekilde yönetmek için bir haşere tanıma sistemi kurarak yeni uygulama gerçekleştirmişlerdir. Veri setini oluşturmak için bir tespit edici drone kullanmışlardır. Yapay zekâ sisteminin kurulması için NVIDIA Jetson TX2 içerisine YOLOv3-Tiny modelini kurmuşlardır. Yapay zekâ sistemi sayesinde zararlıların konumları tespit edilmektedir. Tarım drone'larının pestisitleri gerektiğinde püskürtmesi ile pestisit kullanımının azalarak çevreye verilen zararı azaltarak mahsul veriminin artacağını belirtmişlerdir.

(İnan ve Karcı 2021) yapmış oldukları çalışmada tarımda ağaçların ilaçlanmasının drone'lar ile yapılmasında yeni bir yöntemin geliştirilmesini ve uygulamasını

hedeflemişlerdir. Çiftçilerin tarım alanında büyük emekler harcadığını ve tarım alanında teknolojinin kullanılması gerektiğini belirtmişlerdir. Drone'ların bu teknolojiye örnek bir araç olduğunu, üreticilerin gıda üretimi ve üretkenliğin artması için kullanılabileceğini ifade etmişlerdir. Drone'ların kullanılması ile yüksek ve sistematik bir üretim olacağını söylemişlerdir. Önerilen yöntemde, drone'dan gerçek zamanlı alınan görüntüler Python ortamına aktarılarak OpenCV kütüphanesi kullanılarak Warp Perspektife işlemi uygulanmıştır. Bu işlemin yapılması ile perspektif görüntüler elde edilmiştir. Bu görüntüler üst üste bindirilerek ResNet 50 sinir ağını kullanan DeepForest kütüphanesi yardımı ile ağaçların tespiti sağlanmaktadır. Tespit edilen ağaç skor değerlerine göre ağaçlar dikdörtgen bir alan içine alınarak orta noktaların tespiti yapılmıştır. Orta noktaları tespit edilen ağaçların birbirlerine göre komşulukları tespit edilmiştir. Tespiti yapılan komşuluklara göre kapsama ağacı oluşturularak Kmax baskınlık değeri tespit edilmiştir. Bu baskınlık değerine göre en uygun rota planlanmasının yapılması sağlanmıştır.

(Liu vd. 2020) yapmış oldukları çalışmada İHA ile küçük nesnelerin tespitini gerçekleştirmeyi amaçlamışlardır. Bu çalışmada yazarlar küçük nesneler için özel bir algılama yöntemi geliştirmişlerdir. Yapay sinir ağı olarak YOLOv3 modelini kullanarak Darknet yapısını geliştirmişlerdir. Uzamsal bilgiyi zenginleştirmek için evrişimi artırmışlardır. Bu sayede görüntülerin büyütülmesi sağlanmıştır. Veri setinin hazırlanması için İHA kullanmışlardır.

(Saygılı ve Özmen 2022) yapmış oldukları çalışmada İHA'ların afet yönetimi, trafik, sınır güvenliği gibi sivil ve askeri alanlarda görüntü toplamak için sıklıkla kullanıldığını ifade etmişlerdir. Kameranin görüş açısının değişken olmasından İHA ile yüksek irtifadan alınan görüntülerin gerçek zamanlı olarak tespitinde zorluklar yaşandığını belirtmişlerdir. Önerilen yöntemde İHA'nın üzerine CSI kamera bağlanmış olup farklı açılardan görseller alınarak SSD MobileNet kütüphanesini kullanarak nesne tespit etmeyi amaçlamışlardır. İHA üzerinden alınan görüntüler anlık olarak NVIDIA Jetson Nano yapay geliştirme kiti ile sınıflandırılmıştır. Nesne tespiti konusunda yaşanan problemlere değişken hava koşullarını ve aydınlatma sebebi ile düşük çözünürlüklü nesneleri göstermişlerdir. Bu sorunu çözmek için derin öğrenme modeli içerisindeki görseller ile kameradan anlık alınan görsellerin arasındaki yakın özellikli veriler eşleştirilerek çözüm aramışlardır.

Çalışma içerisinde algoritma oluşturarak elde edilen görüntüler üzerinde düzenleme yapmaktadırlar. Düzenleme sonrasında derin öğrenme modelinden çıkan sonuçları nesne sınırı ve mAP (mean Average Precision) ortalama hassasiyet yüzdesi olarak değerlendirmişlerdir. Sonuç olarak insan tespiti için %95,5 araç tespiti için ise %83,4 mAP değeri elde etmişlerdir.

(Aktaş vd. 2020) yapmış oldukları çalışmada görme engelli insanlar için dokunsal parke yüzeyinin tespiti için derin öğrenme yöntemini uygulamışlardır. Geleneksel görüntü işleme algoritmalarının yerine derin öğrenme yöntemi ve görüntü işleme yöntemini birlikte kullanmışlardır. YOLO V3 modeli ile DenseNet modelini birleştirerek YOLO V3-Dense modelini oluşturmuşlardır. Gerçekleştirmiş oldukları modelin dokunsal parke yüzeyini tespit etmede %89 F1-skor değeri ile diğer modellere göre daha iyi sonuçlar verdiğini gözlemlemişlerdir.

(Türkoğlu vd. 2020) yapmış oldukları çalışmada kayısı meyvesine ait hastalıkların tespiti amacı ile derin evrişimsel sinir ağlarına dayalı bir model kullanmışlardır. Kullandıkları model evrişim, ReLU, normalizasyon, havuzlama ve tam bağlı katmanlardan oluşmaktadır. Çalışmanın test edilmesi için kayısı meyvesinin hastalıklarından oluşan görüntüleri kaydedilip veri seti oluşturulmuştur. Geliştirdikleri derin ağı modelinin diğer geleneksel algoritmalara göre %98 doğruluk oranı ile daha iyi sonuçlar verdiğini gözlemlemişlerdir.

(Cömert vd. 2018) yapmış oldukları çalışmada elmalardan alınan görüntüler üzerinde evrişimsel sinir ağı modellerinden biri olan Faster R-CNN modeli kullanılarak elmaların çürük ve sağlam olacak şekilde sınıflandırma işlemini gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada 1200 adet elma görüntüsünü kullanmışlardır ve görüntülere histogram eşitleme, kenar bulma ve morfolojik işlemler gibi görüntü işleme teknikleri uygulamışlardır. Geliştirmiş oldukları model ile %84,95 oranında doğruluk payına sahip sınıflandırma işlemi uygulamışlardır.

(Toraman 2018) yapmış olduğu çalışmada İHA kullanarak çekilen görüntüler üzerinde yayaların tespiti amacı ile uygulama gerçekleştirmişlerdir. Yayaların tespiti için derin

öğrenme yöntemi kullanmışlardır. Eğitim sırasında yaşanan zorluklardan biri olan görüntü sayısının az olmasından dolayı başarılı bir eğitimin gerçekleşmemesidir. Bu sebeple görüntü çoğaltma işlemi kullanarak eğitim işlemini başarılı bir şekilde tamamlamıştır. Derin öğrenme metodu olarak AlexNet ve VGG16 modellerini kullanmıştır. Elde edilen görüntüleri destek vektör makineleri ile %99 oranında doğru sınıflandırmıştır.

(Aslan 2021) yapmış olduğu çalışmada şeftali ağaçlarında görülen monilya ve koşnili hastalıklarının tespitini yapmıştır. Tarımsal ürünlerin verimliliğinin artırılması için bitkiler üzerinde bulunan hastalıkların erken tespit edilmesinin öneminden bahsetmiştir. Tespit modeli olarak AlexNet modelini kullanmıştır ve %98,30 doğruluk oranında yüksek başarıda sonuç elde etmiştir.

(Çağıl ve Yıldırım 2020) yapmış oldukları çalışmada bir montaj parçasının adetini derin öğrenme ve görüntü işleme ile birlikte tespit etmek üzere çalışma yapmışlardır. Çalışmada görüntülerin etiketlenmesi sonrasında YOLO eğitim modeli ile Google Colab ortamında eğitimi gerçekleştirmişlerdir. Bununla birlikte OpenCV kütüphanesi kullanarak kameraya erişim ve sayma işlemini yapmışlardır. Derin öğrenme ve görüntü işleme yöntemlerinin birlikte kullanılması sonucunda %84 oranında doğruluk sonucuna ulaşmışlardır.

(Mazzia vd. 2020) yapmış oldukları çalışmada gerçek zamanlı olarak meyve bahçelerinde bulunan elmaların tespitini yapmışlardır. Tespit işlemi için derin öğrenme modellerinden birisi olan YOLO V3-tiny modelini kullanmışlardır. Modelin çalıştırılması ve gerçek zamanlı tespit işlemi için bilgisayar yerine Raspberry Pi 3 B+ ve NVIDIA Jetson Nano geliştirme kiti kullanarak tespit işlemini gerçekleştirmişlerdir. Görüntülerin toplanması için hazır veri seti kullanmışlardır. Tespit işlemlerinde doğruluk değeri olarak %83 seviyesinde başarı görmüşlerdir.

(Tian vd. 2019) yapmış oldukları çalışmada meyve bahçelerinde elmaların tespiti amacı ile derin öğrenme metodunu kullanmışlardır ve elmaların büyüme aşamalarını değerlendirmeyi planlamışlardır. Eğitim modeli olarak YOLO V3 modelini

kullanmışlardır ve meyve ağaçları içerisinde elma tespiti için YOLO V3 modelinin kullanılabileceğini önermişlerdir.

(Wu vd. 2021) yapmış oldukları çalışmada çam ağaçlarının solgunluğunun erken tespitinin çok önemli olduğunu söylemişlerdir. Çalışmada çok sayıda görüntü toplayabilmek için insansız hava araçları kullanmışlardır. Eğitim modeli olarak YOLO V3 modeli ve Faster-CNN modelini kullanarak karşılaştırmasını yapmışlardır.

Literatür araştırmasında görüldüğü gibi insansız hava aracı kullanılarak derin öğrenme yöntemi ile tarımsal ilaçlama yapan bir sistem tasarımına yönelik yapılan çalışmalar oldukça sınırlı sayıdadır. İlaçlama amaçlı olarak tasarlanan drone sistemi tarımsal alanda kullanılmaktadır. Ülkemizde tarım faaliyetleri yaygın bir şekilde gerçekleştirildiğinden dolayı oldukça yüksek kullanım potansiyeline sahiptir.

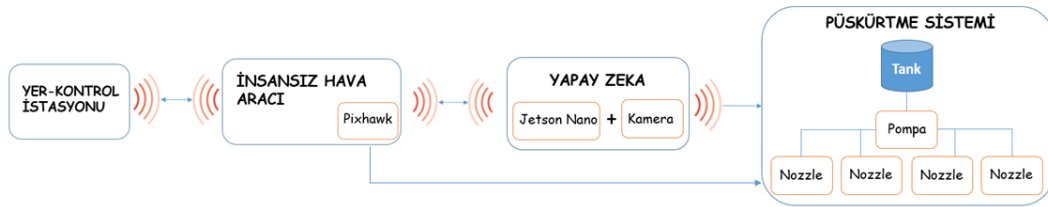
3. MATERYAL ve METOT

Çalışma kapsamında geliştirilen sistem tarım alanında ilaçlama amaçlı olarak kullanılmaktadır. Drone'un bütünleşik yapısı elektronik ve mekanik bileşenlerden oluşmaktadır. Elektronik sistemin sorunsuz çalışabilmesi için öncelikle mekanik yapısının tasarımının ve analizinin hatasız yapılması gerekmektedir. Bu amaçla tasarlanan sistemin mekanik kısmı SOLIDWORKS programı kullanılarak modellenmiştir. Mekanik ve elektriksel altyapıyı etkileyen en önemli bileşen, kullanılacak olan tarım ilacının hacim miktarıdır. Proje kapsamında ilaçlama amaçlı kullanılabilecek ilacın hacmi 5 litre olarak belirlendiğinden dolayı drone sisteminin belirlenen ilaç miktarını kaldırabilecek mekanik ve elektronik sistem bileşenlerinden oluşturulması gerekmektedir.

Drone'un mekanik tasarımı gerçekleştirildikten sonra elektriksel olarak gerekli sistem ekipmanları program üzerinde oluşturulan modele yerleştirilerek sistemin bütünü elde edilmiştir. Bu işlemdeki amaç sistemin ağırlık merkezinin belirlenerek drone sisteminin dengesini bozabilecek etmenlerin ortadan kaldırılmasıdır. Drone sisteminin mekanik tasarımı gerçekleştirildikten sonra elektronik tasarım aşamasına geçilmiştir. Elektronik tasarım aşamasında drone sisteminin kontrolünde kullanılacak birimler yapılandırılmıştır. Sistemin kontrol yapısı iki temel birimden oluşturulmuştur. Drone sisteminin stabil uçabilmesi için kullanılan Pixhawk ile yapay zekâ tabanlı kontrolün gerçekleştirildiği Jetson Nano kontrol sistemleri kullanılmaktadır.

Drone sisteminin kararlı bir şekilde uçuş görevini yerine getirmesine yönelik testler gerçekleştirilmiştir. Sistem kararlı bir şekilde uçuş aşamasına geçtikten sonra koordinat atama yöntemi kullanılarak derin öğrenme yöntemi olmadan ilaçlama uygulaması gerçekleştirilmiştir. Bu aşamadan sonra derin öğrenme tabanlı kontrol sistemi uygulamasının hazırlık aşamaları gerçekleştirilmiştir. Öncelikle kiraz ağacının tespit edilmesine yönelik eğitim ve test amaçlı kullanılacak veri seti oluşturulmuştur. Veri seti kullanılarak oluşturulan eğitim modeli ile nesne tespitine yönelik yazılım tabanlı görüntü işleme çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Böylelikle, ilaçlama drone sistemi tarafından ilaçlanacak olan kiraz ağaçları noktasal olarak tespit edilebilmektedir.

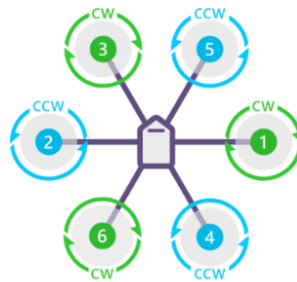
Tasarlanan bu çalışma ile bitkilerin ve ağaçların korunması amacıyla “Tarım Alanında İlaçlamaya Yönelik Yapay Zekâ Tabanlı Drone Tasarımı ve Uygulaması” adlı proje geliştirilmiştir. İlaçlama uygulamalarında traktör ve insan müdahalesi ile ilaçlama yöntemine nazaran drone’ların gelişmesi zirai alanlarda drone’ların kullanımını artırmaktadır. Drone’ların tarımda kullanılması çiftçiye zamandan tasarruf, bitki kalitesi, maliyet vb. etkenler ile fayda sağlamaktadır. Tasarlanması düşünülen drone sistemi Şekil 3.1’de görüldüğü gibi drone’un kontrollerinin yapılmasını ve uçuş anında gözlemlenebilmesini sağlayan yer kontrol istasyonundan, drone’un uçabilmesi için gerekli İHA bileşenlerinden, kiraz ağaçlarının sınıflandırılması için yapay zekâ sisteminden ve püskürtme işleminin çalışmasını sağlayan püskürtme sisteminden oluşan dört ana bileşenden oluşmaktadır.



Şekil 3.1 Tasarlanan drone sisteminin genel blok diyagramı.

3.1 Hexacopter Gövde Yapısı

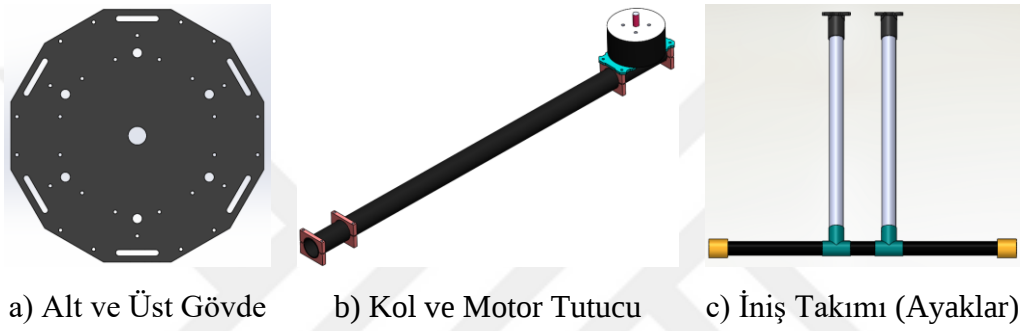
İHA’nın tasarımı yapılırken üretim amacı, boyutu ve maliyeti gibi bileşenlere dikkat edilmiştir. Gerçekleştirilen drone sistemi içerisinde 5 litre ilaç taşınacağı için Hexacopter modelinin kullanılması tercih edilmiştir. Üretiminin zorlu ve maliyetinin yüksek olması sebebi ile Octocopter (sekiz motorlu) gövdesi tercih edilmemiştir. Şekil 3.2’de örnek bir Hexacopter yapısı görülmektedir.



Şekil 3.2 Hexacopter yapısı.

3.2 Drone'un Mekanik Yapısı

Tasarlanan drone 5 litre yük taşıdığı için drone'un yerde iken devrilmeden durabilmesi amacıyla dört adet ayak ile drone'un iniş ve yerde duruşu güçlendirilmiştir. Yapılan titreşim ve statik analizlerden faydalanılarak drone'un kol yapısında çapı 25 mm olan karbonfiber boruların kullanılması uygun görülmüştür. Kollar boru kelepçesi sayesinde gövdeye cıvata ile sabitlenmiştir. Resim 3.1 ile drone'un mekanik kısımları görülmektedir.



Resim 3.1 Tasarlanan drone'un mekanik kısımları.

İlaçlama drone'u olarak kullanılan Hexacopter drone'un modellenmesi Resim 3.2'de görüldüğü üzere SOLIDWORKS programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.



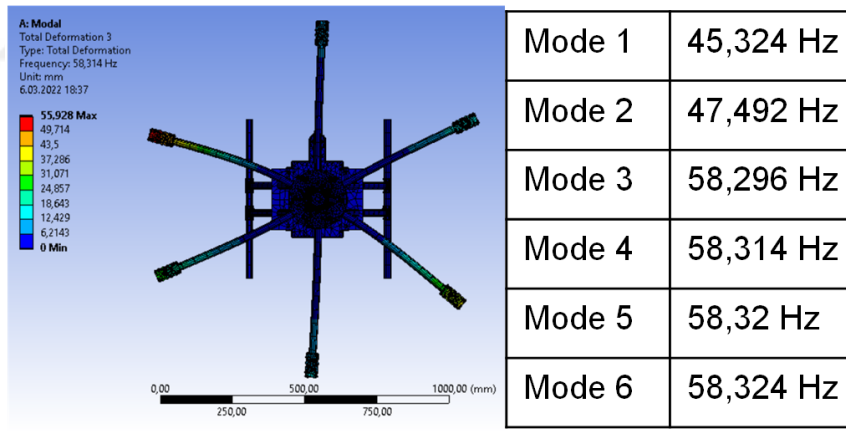
Resim 3.2 Gerçekleştirilen drone'un 3D görünümü.

3.3 Drone'un Gövde Analizi

Tasarımı SOLIDWORKS programında modellenen drone'un analizleri ANSYS programında gerçekleştirilmiştir. Drone modal ve statik analiz metotları kullanılarak teste

tabii tutulmuştur. Gerçekleştirilen analiz sonucunda modelin yapısal analizleri, gerilme ve emniyet katsayısı gibi değerlerin belirlenmesi ile mekanik bileşenlerin güvenilirliği ve dayanımı görülmüştür. Belirlenen değerler gözlemlenerek mekanik bileşenler üzerindeki hatalar tespit edilmiştir. Gerekli iyileştirmeler yapılarak üretim maliyeti aşağı çekilmiştir.

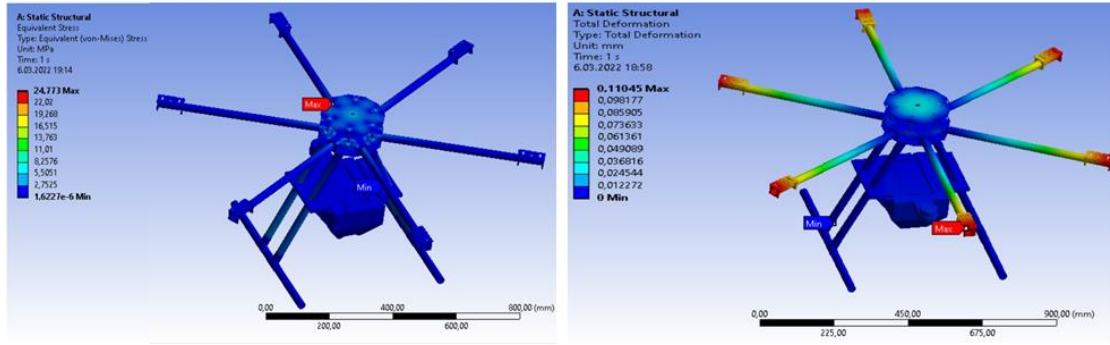
Gövde üzerinde motorun vermiş olduğu dış kuvvetler gövdede titreşime neden olmaktadır. Modal analiz sayesinde mekanik bileşenler üzerindeki titreşimler hesaplanabilmektedir. Analiz sırasında mekanik yapının titreşim analizi yapılacağından dolayı elektronik bileşenlerin bulunmaması gerekmektedir. Analiz sonucunda x, y ve z eksenlerinde oluşan titreşimler eksi ve artı yönde olacak şekilde hesaplanarak toplamda 6 mod ile incelenmiştir. Analiz sayesinde tasarlanan modelin farklı frekans değerlerindeki titreşim modlarına verdiği tepkiler gözlemlenmiştir. Şekil 3.3 ile drone tasarımının modal analiz sonucu ve farklı frekans değerlerine verdiği tepkiler görülmektedir. Modal analiz sonucu incelendiğinde oluşan titreşimlerin gövdeye büyük bir oranda sorun çıkarmadığı ve modellenen tasarımın uygunluğu görülmüştür.



Şekil 3.3 Modal (Titreşim) analiz sonuçları.

Gerçekleştirilen diğer bir analiz yöntemi olan statik analiz ile drone'un mekanik bileşenleri üzerindeki hasar kriterleri, emniyet katsayısı ve gerilim faktörleri incelenebilmektedir. Yapılan analiz sonucunda modele statik analiz olarak Van Mises, toplam deformasyon ve emniyet katsayısı testleri uygulanmıştır. Statik analiz kullanılarak sisteme bir yük tanımlaması yapılabilmektedir. Test sırasında mekanik bileşenlere drone'un toplam ağırlığının (12 kg) üç katı (36 kg=353,16 N) kuvvet -Z yönünde

uygulanmıştır. Bu sayede drone'un zorlu şartlar altındaki dayanımı test edilmiştir. Resim 3.3 incelendiğinde, mekanik bileşenler üzerinde 24,7743 MPa gerilme olduğu görülmektedir. Gerilmelerin sadece orta ve üst plakada düşük oranda gerçekleştiği gözlemlenmiştir. Emniyet katsayısı malzemenin akma mukavemetinin (250 MPa) gerilme oranına bölünmesi sonucunda 10,092 MPa olarak bulunmuştur. Bu değerden de anlaşılacağı üzere drone'un mekanik yapısının mevcut kalkış ağırlığının yaklaşık 10 katı büyüklüğüne (120 kg'a kadar) dayanabileceği yapılan analiz sonucunda görülmektedir. Modele toplam deformasyon testi yapıldığı zaman kollar ve orta bölmede 0,11 mm deformasyon olduğu gözlemlenmiştir. Mevcut ağırlığın 12 kg olduğu göz önünde bulundurulduğunda mekanik yapıda drone'un çalışmasını olumsuz yönde etkileyebilecek bir deformasyonun olması beklenmemektedir.



Resim 3.3 Yapısal analiz, Van Mises ve toplam deformasyon.

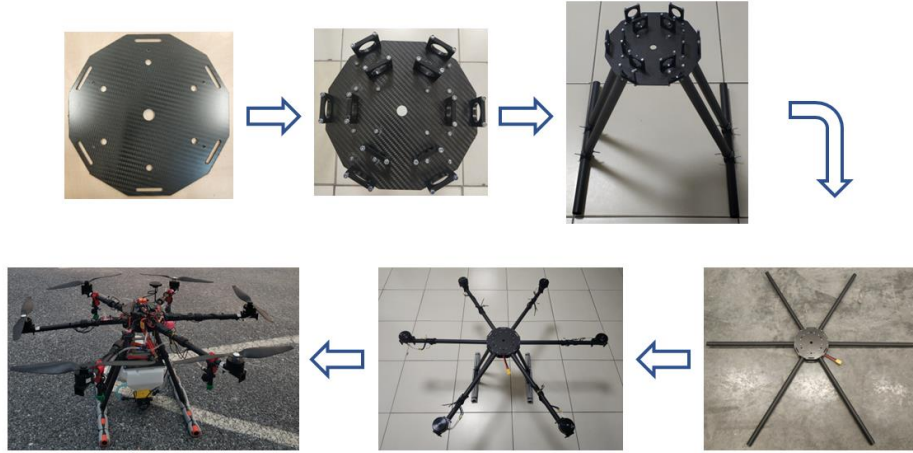
3.4 Drone'un Gövde Üretimi

Drone'un tasarımı Hexacopter modelinin 60 derece açı ile 6 kola sahip olması nedeniyle altıgene benzeyen gövdelerden oluşturulmuştur. Drone'da bulunan elektronik sistem ekipmanlarının düzenli bir şekilde yerleştirilebilmesi için gövde yapısı alt, orta ve üst olmak üzere üç katmandan oluşacak şekilde tasarlanmıştır. Drone'larda aerodinamik etkinin önemi çok yüksek olduğu için tasarım yapılırken ağırlık merkezinin ortada olmasına dikkat edilmiştir.

Drone'un ana gövdesi karbon fiber malzemeden üretilmiştir. Gövde bileşenlerinin üretilmesi için karbonfiber plakalar CNC Router 'da belirlenen çizimlere göre kesilmiştir. Ana gövde dışındaki diğer bileşenlerin üretilmesi 3D yazıcı kullanılarak PLA filament ile

gerçekleştirilmiştir. Karbon fiber çok güçlü bir malzeme yapısı olmakla birlikte aynı zamanda çok hafif bir yapıya sahiptir. Böylelikle uçaklar, multikopterler, otomobiller ve rüzgâr türbinleri gibi birçok uygulamada daha fazla enerji verimliliği sağlamaktadır. Karbon fiberin mukavemet oranı çelikten 50 kat daha yüksektir (Uz 2019). Bu özelliklerinden dolayı sistemin dayanıklılığını arttırmak amaçlı karbon fiber tabanlı gövde tasarımı tercih edilmiştir.

Tasarlanan drone'un toplam ağırlığı ilaç ağırlığı ile birlikte yaklaşık 12 kg olarak ölçülmüştür. Drone sistemi içerisinde itki kuvvetini karşılayabilmek amacıyla 20x55 inç pervane kullanılmıştır. 20x55 inç pervane kullanımından dolayı, pervanelerin mekanik olarak birbirine çarpırmaması gerektiği için gövde çapı 1150 mm olarak üretilmiştir. Şekil 3.4 incelendiğinde tasarlanan drone'un üretimi bir numaradan altı numaraya doğru gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.4 Drone'un gövde üretiminin kronolojik olarak sıralaması.

3.5 Drone'un İtki ve Performans Hesapları

Drone'un itki değerini fırçasız motor, pervane, Li-Po pil ve ESC belirlemektedir. Malzeme seçimi yapılırken ilk olarak tahmini ağırlık ve frame boyutunun belirlenmesi gerekmektedir. Tasarlanan drone'un verimli bir şekilde uçuş gerçekleştirebilmesi için toplam itki değerinin drone'un toplam ağırlığının yaklaşık iki katı olması gerekmektedir. Tasarlanan drone'un ağırlığı 12 kg olarak düşünüldüğü için itki değerinin toplamda ağırlık değerinin iki katı olan 24 kg olması gerekmektedir. Motor başına düşen itki değeri Denklem 3.1 ile hesaplandığında 4 kg olarak bulunmuştur.

$$Motor\ başına\ düşen\ itki\ değeri = \frac{Toplam\ Ağırlık * 2}{Motor\ Sayısı} \quad (3.1)$$

Hesaplanan sonuca göre kullanılacak olan motorun yaklaşık olarak 4000 g itki (Thrust) değerini sağlaması gerekmektedir. Çizelge 3.1 ile EaglePower EA60 350 Kv fırçasız motorun özellikleri incelendiğinde 6S Li-Po pil ve 20x55 pervane ölçülerinde 5843 g itki sağladığı görülmektedir. Yapılan hesaba göre kullanılan itki bileşenlerinin gerekli itkiyi sağladığı görülmektedir.

Çizelge 3.1 EaglePower EA60 350 Kv fırçasız motorun özellikleri

Motor Tipi		Lityum Batarya				Tavsiye Edilen Ağırlık		
						4	6	8
						Motorlu	Motorlu	Motorlu
EA 350kv		6S				10,6-12,8 kg	16-19,5 kg	21,5-26 kg
Akım (A)	6	12	18	24	30	36	42	48
İtki	1486	2306	3024	3639	4285	4715	5238	5843
Kuvveti (g)								
Güç (W)	133,2	266,4	399,6	532,8	666	799,2	932,4	1065,6
Verimlilik	11,156	8,656	7,568	6,830	6,434	5,900	5,618	5,483

Kullanılan malzemelerin belirlenmesi ile internet platformu üzerinde bulunan Ecalc.ch simülatörü kullanılarak tasarlanan drone'un itki analizi Resim 3.4'de görülmektedir. Resim 3.4 incelendiği zaman uçuş süresi olarak yaklaşık 12 dakika, itki ağırlık değerinin 2,2 kat elektriksel gücün ise gerekli ihtiyacı karşıladığı görülmektedir.



Resim 3.4 Ecalc.ch internet simülatörü kullanılarak itki analizi.

Tasarlanan drone sistemi içerisinde kullanılan bileşenlerin ağırlık bilgileri detaylı bir şekilde Çizelge 3.2 ile verilmektedir.

Çizelge 3.2 Kullanılan bileşenlerin ağırlığı.

No	Malzeme Adı	Ağırlık (g)	Adet	Toplam Ağırlık(g)
1	Pixhawk Cube	75	1	75
2	Here3 GPS	48	1	48
3	Logitech Kamera	162	1	162
4	EaglePower Fırçasız Motor	275	6	1650
5	Pervane 2055	61	6	366
6	Jetson Nano 4GB	90		90
7	Li-Po Pil 22000mAh 6S 25C	2000	1	2000
8	Güç Dağıtım Kartı	71	1	71
9	Skywalker 80A ESC	82	6	492
10	Telemetri Modülü	20	1	20
11	Püskürtme Sistemi	388	1	388
12	FS-İA10B Kumanda Alıcı	20	1	20
13	Pixhawk Titreşim Sönümleyici	23	1	23
14	Su Tankı	428	1	428
15	Ek Malzemeler (Vida vb.)	60	1	60
16	Gövde Ağırlığı	1200	1	1200
17	İlaç Ağırlığı	5000	1	5000
Toplam:				12140

Denklem 3.2 ile tasarlanan drone'un taşıyabileceği faydalı yük 11058 g olarak bulunmuştur. Yapılması amaçlanan ilaçlama uygulaması kapsamında 5 litre ilaç taşıma işleminin rahatlıkla gerçekleştirilebileceği anlaşılmaktadır.

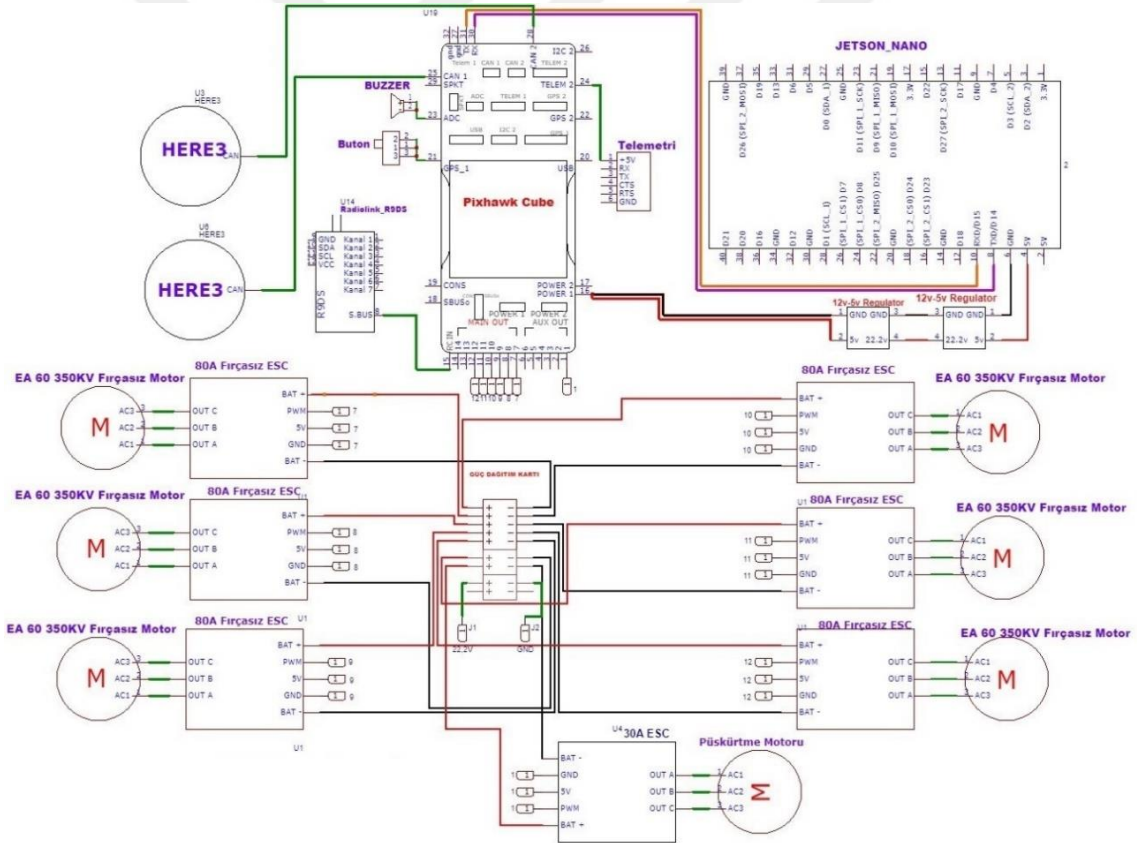
$$\begin{aligned} \text{Toplam itki} &= \text{Motorun maksimum itki değeri} * \text{Motor Sayısı} \\ \text{Faydalı yük} &= \text{Toplam itki} - \text{Toplam Ağırlık} * 2 \end{aligned} \quad (3.2)$$

3.6 Drone'un Elektronik Yapısı

Gerçekleştirilen ilaçlama dronunda taşınacak ilaç kapasitesi 5 litre olarak üretim yapılmıştır. Bu ilaç ağırlığının dengeli bir şekilde taşınması Hexacopter gövde yapısına sahip bir drone tipi ile gerçekleştirilebileceği öngörülmüştür. Bu nedenle 6 kollu bir drone tasarım modeli seçilmesi düşünülmüştür. Hexacopter multicopter yapısında herhangi bir motora bir zarar geldiği zaman drone diğer 5 motoru kullanarak kendini güvenli bir şekilde indirebilme şansına sahiptir.

Drone'un kontrolcüsü için Pixhawk Cube uçuş kontrolcüsü tercih edilmiştir. Pixhawk diğer uçuş kontrolörlerine göre uygun maliyet, performans ve kullanım kolaylığı bakımından diğer kontrolcülerden öne çıkmaktadır. Pixhawk uçuş kontrolcüsü içerisinde jiroskop, ivmeölçer ve barometre gibi birden fazla sensör bulundurmaktadır. Yapay zekâ sisteminin çalıştırılması için 4 GB Jetson Nano geliştirme kiti tercih edilmiştir. Drone'un mekanik enerjisini oluşturmak için EaglePower EA60 350 Kv fırçasız motor kullanılmıştır. Fırçasız motorların sürülebilmesi için Elektronik Hız Denetleyicisi (ESC)'e ihtiyaç duyulmaktadır. Motorların maksimum güçte çekmiş olduğu akım 48 A seviyesindedir ve motorların kontrolü için SKYWALKER 80 A ESC tercih edilmiştir. Motordan alınan mekanik enerji sayesinde yükselme ve iniş için 20x55 inç uzunluğunda karbonfiber gövdeye sahip pervane kullanılmıştır. Drone içerisinde kullanılan elektronik malzemelerin enerji ihtiyacını karşılamak için 6S (22,2V) 22000 mAh değerine sahip Li-Po pil kullanılmıştır. Otonom uçuş uygulamasında konum bilgisinin hassasiyetini artırmak için harici olarak Here3 GPS modülü kullanılmıştır. Uçuş işlemi sırasında verilerin yer istasyonu ile izlenebilmesi için uçtan uca şifrelemeli V5 1000 MW telemetri modülü kullanılmaktadır. Yükseklik, hız ve konum gibi birçok veri Mission Planner yer

istasyonu üzerinden görülebilmektedir. Pixhawk kontrolcüsü 5V gerilim seviyesinde çalışmaktadır bu sebeple Li-Po pilden sağlanan 22,2V gerilimin düşürülmesi gerekmektedir. Güç modülü kullanılarak pilden gelen gerilim değeri 5V'a düşürülerek kontrolcünün çalışması sağlanmıştır. Drone'un otonom uçuşu sırasında beklenmedik bir durum oluşması anında pilot kumanda ile uçuş modunu değiştirerek kontrolü kendisine alabilmektedir. Kumanda ile drone manuel olarak kontrol edilebilmektedir. Drone'un manuel kontrolü için 16 kanala sahip RadioMaster TX16S modeline sahip kumanda kullanılmakta olup alıcı devresi için FS-İA10B alıcı kullanılmıştır. Püskürtme sisteminin çalışması için gerekli olan pompa için 5 litre HobbyWing marka fırçasız pompa kullanılmıştır. Gerçekleştirilen drone içerisinde kullanılan elektronik bileşenlerin bağlantı şeması Resim 3.5'de görülmektedir.



Resim 3.5 Tasarlanan drone'un elektronik şeması.

3.6.1 Pixhawk Uçuş Kontrolcüsü

Pixhawk üzerinde 32 bit tabanlı ARM Cortex işlemci (STM32F427) bulunduran uçuş kontrolcüsüdür. Açık kaynak olarak sunulmakta ve yer istasyonu olarak “Mission Planner” yazılımı ile aktif olarak çalışabilmektedir. Pixhawk içerisinde jiroskop, ivmeölçer ve barometre gibi birden fazla sensör bulundurmaktadır. Bu sensörler ile konum, yön ve yükseklik vb. değerleri yer istasyonu programında canlı olarak görülebilmekte ve drone’un kontrolü için bu sensörler kullanılabilir. Drone’un kontrolü Resim 3.6’da görüldüğü gibi Pixhawk Cube tarafından yönetilmekte olup drone’un hareketi için gerekli tüm ayarlamalar Pixhawk kontrolcüsü ile ayarlanmaktadır.



Resim 3.6 Pixhawk Cube kontrolcüsü.

3.6.2 Safety Switch – Buzzer

Pixhawk uçuş kontrolcüsü içerisinde Resim 3.7’de görüldüğü gibi harici olarak güvenlik switch’i ve buzzer bulunmaktadır. Emniyet switchi’nin görevi uçuş için gerekli onayın verildiğini ve İHA’nın uçuşa hazır olduğunu belirtmektir. Buzzer’ın görevi ise açılış, arıza ve onay gibi çeşitli durumlarda sesli uyarı vermektir.



Resim 3.7 Safety Switch – Buzzer.

3.6.3 Güç Modülü

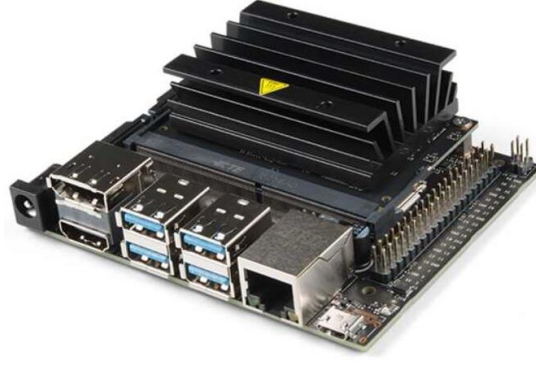
Pixhawk kontrolcüsü 5V gerilim seviyesinde çalışmaktadır bu sebeple Li-Po pilden sağlanan 22,2V gerilimin düşürülmesi gerekmektedir. Güç modülü kullanılarak pilden gelen gerilim değeri 5V'a düşürülerek kontrolcünün çalışması sağlanmaktadır. Resim 3.8'de sistem içerisinde kullanılan güç modülü görülmektedir.



Resim 3.8 Güç modülü (Power Module).

3.6.4 Jetson Nano Geliştirme Kiti

Modern yapay zekâ algoritmalarını çalıştırabilmek için 4 çekirdek 64 bit ARM CPU (Merkezi İşlem Birimi) ve 128 bit NVIDIA GPU (Grafik İşlem Birimi) özelliklerine sahip bir bilgisayar olarak üretilmiştir. Jetson Nano geliştirme kiti sayesinde derin öğrenme, bilgisayarla görme ve görüntü işleme uygulamaları verimli bir şekilde uygulanabilmektedir (Yavaş 2019). Tasarlanan drone da yapay zekâ desteği ile kiraz ağacının tespiti yapılmaktadır. Görüntü tespit işlemleri için yüksek kalite GPU gerektiğinden görüntü işleme işlemleri bilgisayar ortamında yapılması gerekmektedir. Yüksek GPU içermesi sebebiyle Resim 3.9'da görülen Jetson Nano geliştirme kitinin kullanılması uygun görülmüştür. Jetson Nano üzerinde 40 pinden oluşan GPIO (Genel amaçlı giriş çıkış) pinleri bulunmaktadır bu sayede üzerine çeşitli elektronik komponentler eklenebilmektedir. Jetson Nano'nun beslenmesi için iki yöntem bulunmaktadır bunlardan birincisi USB (Evrensel seri veri yolu) kullanılarak ikincisi ise jack girişi kullanılarak gerçekleştirilmektedir.



Resim 3.9 Jetson Nano yapay zekâ bilgisayarı.

3.6.5 Kamera

Drone sistemi içerisinde anlık olarak görüntünün alınabilmesi için kameraya ihtiyaç duyulmaktadır. HD (Yüksek Çözünürlük) çözünürlük sunabilmesi ve uygun maliyetli olması sebebi ile Resim 3.10’da görüldüğü gibi Logitech C920 model kamera kullanılmıştır. Üzerinde bulunan USB kablosu ile Jetson Nano geliştirme kiti bağlanmaktadır.



Resim 3.10 Logitech C920 kamera.

3.6.6 Motor ve Pervane

Hexacopter modeli üzerinde 6 adet motor bulunmaktadır. Kaldırılması gereken yük miktarının fazla olduğu uygulamalarda Hexacopter modeli tercih edilmektedir. Drone’larda, fırçasız motorlar yüksek performans değerleri ile ön plana çıktıklarından dolayı yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Yüksek moment ve eylemsizlik gerektiren uygulamalarda, dış rotorlu tipi olan fırçasız doğru akım motorları kullanılmaktadır (Tiryaki vd. 2016).

Tasarlanan drone'un toplam ağırlığı yaklaşık olarak 12 kg olarak hesaplanmıştır. Drone'un verimli bir kalkış yapabilmesi için yukarı yönde yaklaşık 2 kat itki kuvvet değeri uygulaması gerekmektedir. Motor başına düşen itki kuvvet değeri Denklem 3.1'de 4 kg olarak bulunmuştur.

Bu değerler dikkate alındığında her bir motorun 4 kg'dan fazla itki kuvvetinin olması gerektiğinden Resim 3.11'de görüldüğü gibi EaglePower EA60 350 Kv fırçasız motor kullanılması uygun görülmüştür. EaglePower EA60 350 Kv motorun özellikleri Tablo 3.1'de incelendiğinde 5,8 kg itki kuvveti sağladığı görülmüştür.

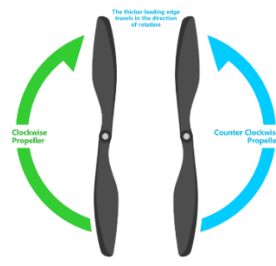


Resim 3.11 EaglePower EA60 350 Kv fırçasız motor.

Motorlardan elde edilen itme kuvveti sayesinde pervaneler aracılığı ile drone'un yükselmesi ya da alçalması sağlanmaktadır. Tasarlanan drone'un Hexacopter yapısına sahip olması nedeniyle 6 adet pervane kullanılmaktadır. Pervane boyutları arttıkça motorun itki kuvveti artmaktadır. Frame (gövde)'in boyutu 1150 mm olması sebebiyle Resim 3.12'a da görüldüğü gibi 20 inç karbonfiber pervane kullanılması uygun görülmüştür. Pervanelerin drone üzerine montajı yapılırken pervane yönlerine dikkat edilmelidir. Pervane yönleri Resim 3.12.b'de görülmektedir.



a)

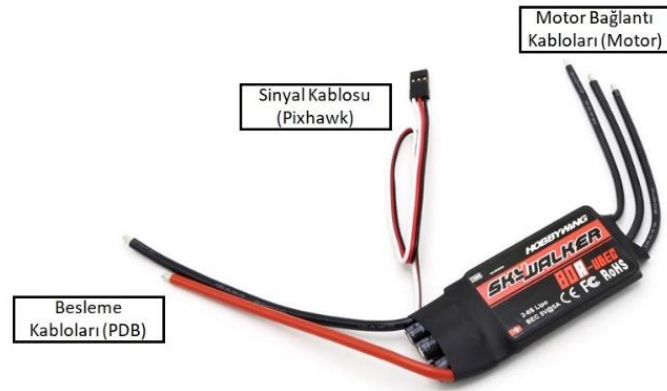


b)

Resim 3.12 Karbonfiber pervane ve pervane dönüş yönleri.

3.6.7 ESC (Elektronik Hız Denetleyicisi)

Fırçasız motorlar doğrudan kullanılamazlar ve sürücü devresine ihtiyaç duyarlar. Bu nedenle sürücü olarak SKYWALKER 80 A ESC kullanılmaktadır. ESC seçimi yapılırken ESC'nin 6S Li-Po pili desteklemesi ve ESC'den geçebilecek akım değerinin motorun çekebileceği maksimum akımdan fazla olması gerekmektedir. Kullanılan motor maksimum 48 A akım çekmektedir fakat ısınma problemi ve motorun yüksek akım çekme riski düşünülerek 80 A ESC tercih edilmiştir. Şekil 3.5'de görüldüğü gibi ESC'nin bir ucu güç dağıtım kartına diğer uçları ise motor uçlarına bağlanmaktadır. ESC üzerinde bulunan bir diğer uç olan sinyal kablosu Pixhawk kontrolcüsü üzerinde bulunan motor pinlerine bağlanmaktadır.



Şekil 3.5 SKYWALKER 80 A ESC.

3.6.8 Güç Dağıtım Kartı (PDB)

Drone'un pilden gelen gücünü altı adet ESC'e aktarmak için Resim 3.13'de görülen güç dağıtım kartı (Power Distribution Board – PDB) kullanılmaktadır. Güç dağıtım kartı içerisinde pil enerji girişi ve güç çıkışları bulunmaktadır. Li-Po pil güç dağıtım kartı üzerinde bulunan güç girişine ESC'ler ise güç çıkışlarına ayrı ayrı bağlanmaktadır. Bu sayede Li-Po pilden alınan enerji tüm ESC'lere eşit bir şekilde aktarılmaktadır.



Resim 3.13 Güç dağıtım kartı.

3.6.9 Li-Po (Lityum Polimer) Batarya

Drone'un enerji ihtiyacını karşılamak amacıyla 6S (22,2V) Li-Po batarya kullanılmaktadır. Li-Po bataryalar özellikle nikel temelli olanlara göre çok daha hafif olmakla birlikte her boyutta ve şekilde yapılabilmektedir. Ayrıca diğer pil türlerine göre yüksek kapasiteleri, yüksek enerji yoğunluğuna sahip olmaları, yüksek deşarj oranları ve kendiliğinden deşarj olma oranlarının düşük olması gibi avantajlara da sahiptirler (Gelen ve Tüfekçioğlu 2020). Li-Po piller anlık olarak yüksek akım sağlayabilmektedirler ve defalarca şarj edilebilir olduklarından dolayı uzaktan kumandalı arabalar, sabit kanatlı uçaklar ve dronlarda yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Drone'un güç ihtiyacı için Resim 3.14'de görüldüğü gibi Tattu marka 6S 22000 mAh 25C modeli kullanılmaktadır. 6S değeri pilin 6 adet 3,7V değerine sahip hücrelerden oluştuğunu ifade etmektedir. Ayrıca 22000 mAh 25C değerlerinden de 1 saat boyunca sabit olarak 22 A, anlık olarak da 550 A çekilebileceği anlaşılmaktadır.



Resim 3.14 TATTU 6S 22000 mAh 25C Li-Po Pil.

Li-Po pilin denge durumundaki uçuş süresinin bulunabilmesi için matematiksel hesaplamalar yapılabilmektedir. Denklem 3.3 ile pilin denge durumundaki uçuş süresi 12 dakika olarak hesaplanmıştır. Uçuş süresinin bulunması için sunulabilecek toplam akım değerinin çekilen toplam akıma bölünmesi ile bulunmaktadır. Li-Po pillerin hücrelerinin zarar görmemesi amacı ile pilin %80'i kullanılmaktadır.

$$\begin{aligned}
 \text{Sunulabilecek toplam akım} &= \text{Pil Kapasitesi} \times 60 \times \%80 \\
 \text{Motorların denge durum. gerekli itki} &= \frac{\text{Kalkış ağırlığı}}{\text{Motor Sayısı}} \\
 \text{Motor çekt. toplam akı} &= \text{Motor sayısı} \times \text{Denge duru. akım} \\
 \text{Uçuş Süresi} &= \frac{\text{Sunulabilecek toplam akım}}{\text{Motorların talep ettiği toplam akım}}
 \end{aligned} \tag{3.3}$$

Motorun özellik tablosuna bakıldığında maksimum 48 A çektiği görülmektedir. Altı motor için toplam 288 A akım çekilebilecek bir pil seçilmesi gerektiğinden Denklem 3.4 bağıntısından C değeri çekilecek olursa C değeri 13 olarak bulunur. Li-Po pil seçimi yaparken C değerinin 13'dan büyük olması gerektiğinden 25 C değeri uygun görülmüştür.

$$C \text{ Değeri} = \frac{\text{Çekilen toplam akım}}{\text{Pil Kapasitesi}} \tag{3.4}$$

3.6.10 GPS Modülü

GPS uydulardan alınan radyo sinyalleri ile her türlü şartta doğru ve ekonomik olarak üç boyutta konum belirleme sistemidir (Karaali ve Yıldırım 1996). GPS modülü uydular arası haberleşme ile yüksek doğrulukta konum tespiti yapabilmektedir. Pixhawk uçuş kontrolcüsü içerisinde bir adet GPS modülü bulunmaktadır. Ayrıca Pixhawk kontrolcüsüne ilave GPS modülü eklenebilmektedir. Bu özelliğinden faydalanılarak konum tespitindeki hata oranı daha düşük olan Resim 3.15'de görülen Here3 GPS modülü kullanılmaktadır. GPS modülü üzerinde bulunan ok yönü drone'un ön tarafını göstermektedir. GPS modülü yerleştirilirken Pixhawk Cube uçuş kontrolcüsü ile aynı yöne bakacak şekilde konumlandırılmalıdır.



Resim 3.15 Here3 GPS modülü.

3.6.11 Telemetri Modülü

Telemetri kablosuz haberleşme gerektiren uygulamalarda kullanılmaktadır. Alıcı ve verici şeklinde olup iki cihaz arasında veri akışı sağlarlar. Telemetri modülü drone üzerindeki vericiden gelen yükseklik, hız, konum vb. verileri “Mission Planner” olarak ifade edilen yer istasyonuna aktarmak amacıyla kullanılmaktadır. Tasarlanan drone için Resim 3.16’da görülen V5 marka 433 MHz 1000 MW gücünde telemetri modülü kullanılmaktadır.



Resim 3.16 V5 433 MHz 1000 MW Telemetri modülü.

3.6.12 Kumanda ve Alıcı

Drone’un insan kontrolünde uçurulabilmesi amacıyla bir kumandaya ve kumandanın gönderdiği verileri karşılamak üzere bir alıcıya ihtiyaç vardır. Kumanda ve alıcı radyo kontrollü haberleşme sağlamaktadırlar. Otonom uçuş sırasında beklenmedik bir sorun ile

karşılaşılması durumunda drone'un kumanda ile güvenli bir şekilde indirilmesi sağlanabilmektedir. Kumanda ve alıcı sistemi PWM sinyali temelli bir kontrol yapısına sahiptir. Drone sistemi içerisinde Resim 3.17'de görüldüğü gibi 16 kanallı Radiomaster TX16S kumanda alıcı olarak ise 10 kanallı FS-IA10B alıcı kullanılmıştır. Kumanda alıcısı üzerinde bulunan SBUS hattı Pixhawk kontrolcüsü üzerinde bulunan RC_IN pinine bağlanmaktadır.



Resim 3.17 RadioMaster TX16S kumanda ve FS-IA10B kumanda alıcısı.

3.6.13 Mission Planner Yer İstasyonu

Pixhawk kontrolcüsünün programlanması ve içerisine firmware yüklenmesi vb. işlemler Resim 3.18'te görülen Mission Planner yer istasyonu aracılığı ile gerçekleştirilmektedir. Mission Planner programı üzerinden 57600 Baud Rate hızında Telemetry kullanarak ya da USB kablo vasıtasıyla drone ile haberleşme sağlanabilmektedir. Drone'a ait GPS sinyal seviyesi, yükseklik, hız, konum ve batarya seviyesi gibi değerler kablosuz olarak radyo sinyalleri ile elde edilebilmektedir. Mission Planner yer istasyonu otonom uçuş için uygulama imkânı sağlamaktadır. Bu özelliği sayesinde drone çizilen rotada hareketini gerçekleştirerek verilen görevleri etkin bir biçimde yerine getirebilmektedir.



Resim 3.18 Mission Planner Yer İstasyonu.

3.6.14 Failsafe – Arıza Sistemi

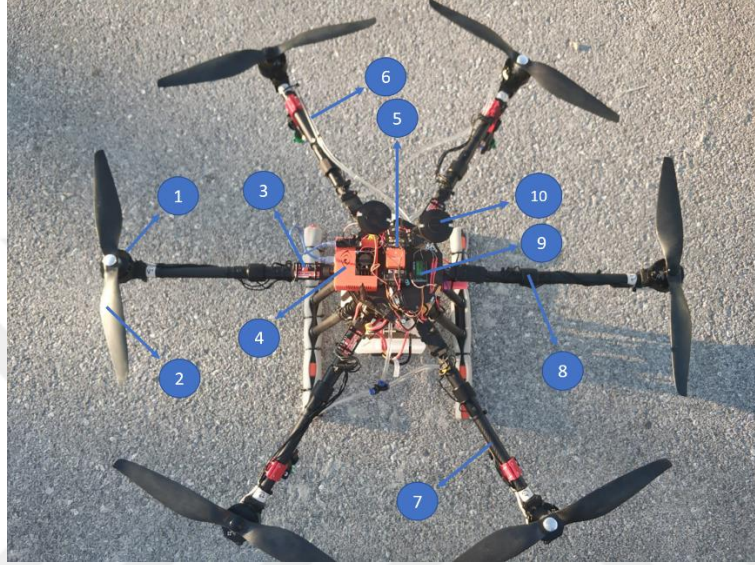
Drone'un uçuşu sırasında sistem içerisinde herhangi bir arıza olduğu zaman Resim 3.19'da görüldüğü gibi Failsafe arıza sistemi devreye girmektedir. Pixhawk kontrolcüsü içerisinde çeşitli Failsafe durumlarında alınacak önlemler programlanmıştır. Sistem kumanda, sensör vb. genel bir arızadan dolayı Failsafe durumuna düşerse drone'un o anki konumunda yere iniş modu olan "LAND" modu ile yere inmektedir. Eğer batarya arıza sistemi çalışırsa drone eve dönebilecek seviyede bataryaya sahip ise eve dön komutu "RTL" moduna eğer yeterli seviyede değil ise "LAND" moduna geçerek iniş yapmaktadır.



Resim 3.19 FAILSAFE (Arıza) ekranı.

3.6.15 Elektronik Malzemelerin Gövde Üzerine Yerleşimi

Drone'un üretimi sonrasında gerçekleştirilen mekanik gövdenin üzerine elektronik bileşenlerin yerleşiminde ağırlık merkezi ve stabilite oldukça önemlidir. Şekil 3.6 ile elektronik bileşenlerin gövde üzerine yerleşimi üst görünüş ile verilmektedir.



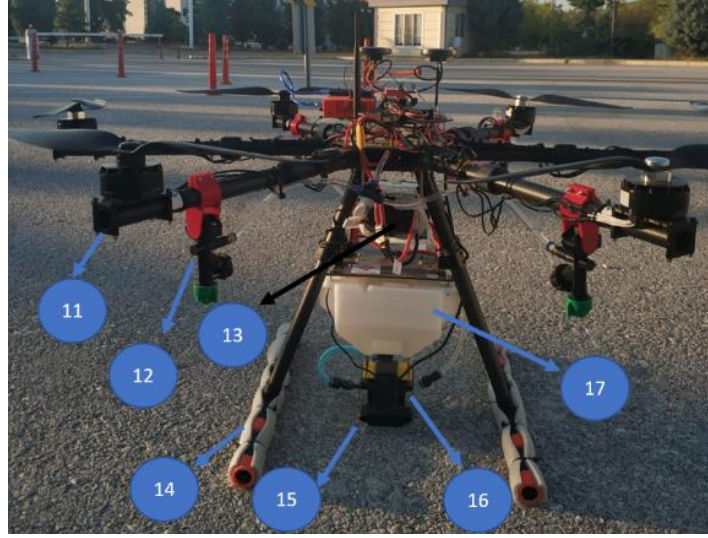
Şekil 3.6 Elektronik bileşenlerin gövde üzerine yerleşimi üst görünüş.

Drone içerisinde kullanılan elektronik bileşenlerin açıklaması Çizelge 3.3'te detaylı bir şekilde verilmiştir.

Çizelge 3.3 Elektronik malzemelerin açıklaması üst görünüş.

1) Fırçasız Motor	6) Hortum
2) 2055 Pervane	7) Karbonfiber Boru
3) SKYWALKER 80 A ESC	8) Katlanır Kol Mekanizması
4) Jetson Nano 4 GB	9) Kumanda Alıcısı FS-İA10B
5) Pixhawk Cube Uçuş Kontrolcüsü	10) Here3 GPS

Şekil 3.7'de elektronik bileşenlerin gövde üzerine yerleşimi ön görünüş ile verilmiştir.



Şekil 3.7 Elektronik bileşenlerin gövde üzerine yerleşiminin ön görünüşten incelenmesi.

Drone içerisinde kullanılan elektronik bileşenlerin açıklaması Çizelge 3.4’te detaylı bir şekilde verilmiştir.

Çizelge 3.4 Elektronik malzemelerin açıklamasının ön görünüşten incelenmesi.

11) Boru Kelepçesi	15) Kamera Logitech C920
12) Püskürtme Nozzle	16) Pompa
13) Li-Po Pil 6S 22Ah	17) 5L İlaç Tankı
14) Ayak	

3.7 Katlanır Kol Mekanizması

Geliştirilen drone sisteminin gövde uzunluğu 1150 mm olması sebebi ile bir noktadan bir noktaya transfer işleminde taşıma zorluğu yaşanmaktadır. Normal zamanlarda çok yer kaplaması ve taşıma işlemlerinde arabaya sığmaması sebebi ile drone sistemine Resim 3.20’de görülen katlanır kol mekanizması eklenmiştir. Katlanır kol mekanizması normal durumunda iki boruyu uç uca ekleyerek drone’un kollarının açık ve düz bir şekilde durmasını sağlamaktadır. Taşıma durumunda üzerindeki kapak gevşetilerek mekanizma açık hale getirilmektedir ve mekanizmanın açık halinde motor bölümünün olduğu kısımdaki boru 90 derece aşağı açılmaktadır. Bu sayede drone’un taşıma kolaylığı artmıştır ve drone içerisine kolaylıkla sığabilecek hale gelmiştir.



Resim 3.20 Katlanır kol mekanizması.

Katlanır kol mekanizması tarım dronlarında kullanıldığı için sağlam olması sebebi malzeme yapısı alüminyum alaşımdan oluşmaktadır ve ağırlığı 80 g'dır. Katlanır kol mekanizmasının drone üzerindeki yerleşimi ve mekanizmanın açık ve kapalı durumu Resim 3.21'de görülmektedir.



Resim 3.21 Katlanır kol mekanizmasının açık ve kapalı durumu.

3.8 Püskürtme Sistemi

Püskürtme sistemi Şekil 3.8'de görüldüğü gibi 22,2V gerilim ile çalışmakta olan pompa, plastik ilaçlama tankı, püskürtme nozulları ve hortumdan oluşmaktadır. Püskürtme sistemi otonom(sürekli) ilaçlama yöntemi kullanıldığı zaman Pixhawk kontrolcüsü ile yapay zekâ tabanlı ilaçlama yöntemi kullanıldığı zaman Jetson Nano geliştirme kiti ile kullanılmaktadır. Pompanın çalışması ile pompa ilaç tankından ilaç çekerek ilacın nozullara iletilmesi sağlanmaktadır. Bu şekilde püskürtme işlemi yapılarak belirlenen alan ilaçlanmaktadır.



Şekil 3.8 Püskürtme sistemi malzemeleri ve bağlantı yapısı.

Püskürtme işlemi pompanın basınçlı sıvıyı nozullara iletmesi sonucunda yapılmaktadır. Tasarlanan drone üzerinde püskürtme nozulu olarak ticari tarım dronlarında kullanılan VP 110 015 modeli kullanılmıştır. Burada 110 değeri nozulun püskürtme açısını, 015 değeri ise nozulun değişen akış miktarını belirtmektedir. Çizelge 3.5 ile drone içerisinde kullanılan nozula ait basınç ve akış oranı bilgileri görülmektedir.

Çizelge 3.5 Nozul çalışma bilgileri.

Nozul Model	Basınç (MPa)	Akış Oranı (L/dk)
VP110 015	0,2	0,45
	0,3	0,55
	0,4	0,63
	0,5	0,71

Drone ilaçlama sisteminde bulunan ilaç püskürtme sistemi hem koordinat atama yöntemi kullanılarak yapılan ilaçlamada hem de yapay zekâ tabanlı gerçekleştirilen ilaçlamada kullanılacak ortak birimdir. Koordinat atama yöntemi kullanılarak yapılan ilaçlamada püskürtme sistemi Pixhawk kontrolör kartından, yapay zekâ tabanlı gerçekleştirilen ilaçlamada ise Jetson Nano geliştirme kiti aracılığı ile kontrol edilmektedir. Pompa Çizelge 3.6’da görüldüğü üzere dakikada 5 litre akış seviyesine sahiptir ve içerisinde fırçasız motor bulunmaktadır. Bu sebeple motor’un içerisinde ESC devresi bulunmaktadır. Gerekli elektronik montajlar yapıldıktan sonra Mission Planner yer istasyonu ile püskürtme sisteminin parametre ayarları yapılmıştır. Pompanın çalışabilmesi için uçuş sonrasında kumandadan tanımlanmış olan switch’in aktif edilerek püskürtmeye izin verilmesi gerekmektedir.

Çizelge 3.6 Püskürtme pompası çalışma bilgileri.

Çalışma Gerilimi:	12-14S (DC44-60V)
Çalışma Akımı:	<2 A
Ağırlık:	388 g
Su Giriş Çapı:	10,5 mm
Su Çıkış Çapı:	6,5 mm
Güç:	60 W
Açılış Akışı:	5 L/dk
Boyut:	123*76*52 mm
Çalışma Basıncı:	0,35 MPa
Koruma Seviyesi:	IP67
Sabit PWM Değeri:	110-1940 US

3.8.1 Püskürtme Sisteminin Kontrolü

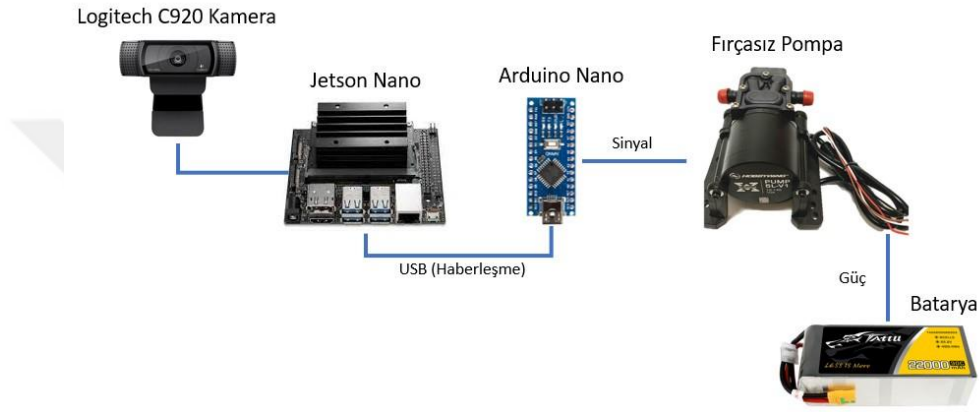
Püskürtme sistemi otonom ilaçlama yönteminde Pixhawk kontrolcüsü tarafından çalışırken yapay zekâ tabanlı ilaçlama yönteminde Jetson Nano geliştirme kiti tarafından çalışmaktadır. Otonom ilaçlama yönteminde kullanılan Pixhawk kontrolcüsü üzerinde PWM çıkışları bulunmaktadır. Bu yöntemde pompanın bağlantısı Şekil 3.9’da görüldüğü gibi AUX1 portuna yapılmaktadır.



Şekil 3.9 Püskürtme sisteminin otonom ilaçlama yöntemindeki bağlantı şeması.

Jetson Nano bilgisayarında PWM üretici olmadığı için fırçasız pompanın kontrolü doğrudan gerçekleştirilememektedir. Pompanın kontrol edilebilmesi için PWM sürücü

devresi gerekmektedir. Arduino Nano mikrodnetleyicisi içerisinde PWM sürücü barındırdığı için pompanın kontrolü Arduino Nano tarafından gerçekleştirilmektedir. Yapay zekâ sistemi kiraz ağacını tespit ettiği durumda Jetson Nano geliştirme kiti Arduino Nano mikrodnetleyicisine pompayı çalıştırması gerektiğini bildirmektedir. Jetson Nano ve Arduino Nano birbiri arasında seri haberleşme protokolünü kullanarak veri transferi yapmaktadır. Püskürtme sisteminin yapay zekâ kontrolünde çalışması için kullanılan bağlantı yöntemi Şekil 3.10 ile detaylı bir şekilde görülmektedir.



Şekil 3.10 Püskürtme sisteminin yapay zekâ kontrolünde çalışması için kurulan bağlantı şeması.

Jetson Nano geliştirme kiti kiraz ağacının tespitinin yapıldığı durumda “1” değerini tespit yapılmadığı durumda ise “0” değerini Arduino mikrodnetleyicisine göndermektedir. Arduino mikrodnetleyicisi gelen verileri sürekli takip ederek “1” değeri geldiği durumda pompayı çalıştırmakta “0” geldiği durumda ise pompanın çalışmasını sonlandırmaktadır.

3.9 Yapay Zekâ ile Tespit Sistemi

Gerçekleştirilmesi düşünülen projenin en önemli kısımlarından biri de derin öğrenme kısmıdır. Drone üzerinde yer alan tespit sistemi belirli bölgede meyve ağacını tespit ederek o alanda ilaçlama işleminin yapılmasını hedeflemektedir. Bu işlemin başarılı şekilde sonuçlandırma kriteri çalışmaya ait derin öğrenme modelinin performansının yüksek olması ile doğru orantılıdır. Bu çalışmada önceden yapılan çalışmalardan farklı olarak ilaçlama işlemi belirli bir alanda sürekli olarak yapılmamaktadır. Derin öğrenme modeli ile kiraz ağacı tespit edildiği zaman drone’a entegre olan ilaçlama sistemi çalışmaktadır. Böylece gereksiz ilaç kullanımının önüne geçilmektedir.

Derin öğrenme işleminin uygulanması için Konvolüsyonel sinir ağı metodolojisini kullanan YOLOv5 modeli kullanılmıştır. YOLOv5 modelinin çalıştırılması için NVIDIA Jetson Nano geliştirme kiti kullanılmıştır. İlerleyen bölümde Konvolüsyonel sinir ağı, YOLO mimarisinin yapısı ve modele ait verilerin hazırlanması ve eğitim aşamaları detaylı bir şekilde açıklanmıştır.

3.9.1 Yapay Zekâ

Yapay zekâ insan hayatını kolaylaştırmak amacı ile geliştirilen, insan zekasını taklit ederek insan gibi davranabilen ve deneyimlediği tecrübeler ışığında kendini geliştirebilen sistemin bütünüdür. Yapay zekâ birden fazla alanda kullanılmakta olup karmaşık olan verileri, görüntüleri çeşitli yöntemler ile analiz ederek insanoğlu için daha anlaşılabilir hale getirmektedir. Yapay zekanın kullanıldığı alanlardan birisi de nesne tespiti uygulamalarıdır (Chandan vd. 2018). Günlük hayatımızda karışık ya da yoğun ortamlarda hareketli nesneler veya hareketli platformlarda nesne tespiti önemli yer almaktadır (Zhang 2021). Bir ortamdaki veya görüntüdeki nesnelerin doğru bir şekilde tanımlanmasına ihtiyaç duyulan birçok alan bulunmaktadır. Bu alanlar tıp, askeri, tarım ve mühendislik uygulamaları olarak gösterilebilmektedir (Ahmad vd. 2020). Nesne tespit uygulamaları için birden fazla hızlı ve başarı oranı yüksek algoritmalar geliştirilmiş ve geliştirilmeye de devam etmektedir. Nesne tespiti uygulamalarında derin öğrenmenin başarılı sonuçlar vermesi, tespit işleminin yazılım tarafından otomatik olarak yapılması ve doğruluk payının yüksek olması derin öğrenme alanına verilen önemi ve ilgiyi artırmıştır (Kim vd. 2020). Derin öğrenme uygulamalarında yaşanan büyük gelişmeler, görsel tanıma uygulamalarında insanlardan daha iyi performans verebildiğini göstermiştir.

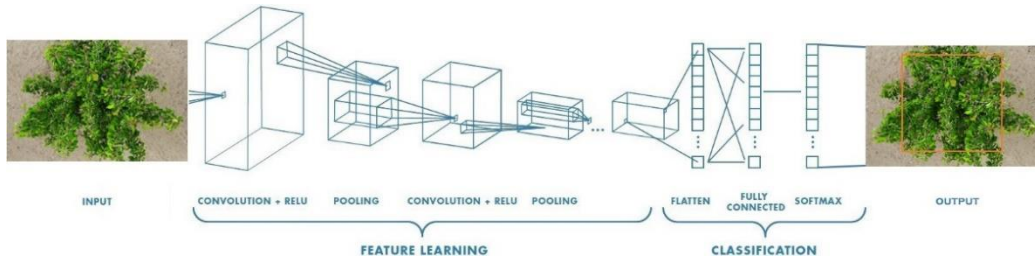
Yapay Zekânın alt kollarından biri olan derin öğrenme çok miktarda veri kullanılarak kendi kendine öğrenen çok katmanlı yapay sinir ağlarından oluşan bir grup makine öğrenmesidir. Derin öğrenme sistemi için modelin giriş kısmına görüntüler girdi olarak verilerek model çıkışında istenilen sınıfların tespit edilmesi istenmektedir. Bu işlem için son yıllarda popüler olan Konvolüsyonel sinir ağları (Convolution Neural Network-CNN) kullanılmaktadır.

3.9.2 Convolutional Neural Network (CNN)

CNN, çok boyutlu bir şekilde bulunan verileri işlemek için kullanılan bir sinir ağıdır. Nesne tanıma, sınıflandırma, ses tanıma uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır (Long vd. 2020). Geleneksel sinir ağlarından farklı olarak giriş görüntüsünden öznitelik çıkartma işlemini kendisi yapmaktadır. Derin öğrenme uygulamaları, derin evrimsel sinir ağına bağlı olan bir makine öğrenmesidir. Derin öğrenme uygulamaları pek çok uygulama alanında olduğu gibi tarım alanında da yaygın olarak kullanılmaktadır (Deng vd. 2020).

CNN oluşturmanın ilk adımı ağı mimarisini tanımlamaktır. Ağı mimarisi katmanların türlerine ve sayılarına göre değişiklik gösterebilmektedir. Katmanların türü ve sayısı uygulamaya göre farklılık gösterebilmektedir. Bazı sinir ağlarının eğitilmesi, ağı karmaşık olması ve veri sayısının fazla olması nedeniyle, bilgisayar tarafından eğitiminin gerçekleştirilmesini oldukça zorlu kılmaktadır. Bu sebeple yüksek grafik işleme birimi GPU'ya ihtiyaç duyulmaktadır. Son zamanlarda üretilen yüksek GPU'ya sahip bilgisayarlar ile bu sorunlar çözüme kavuşturulmuştur.

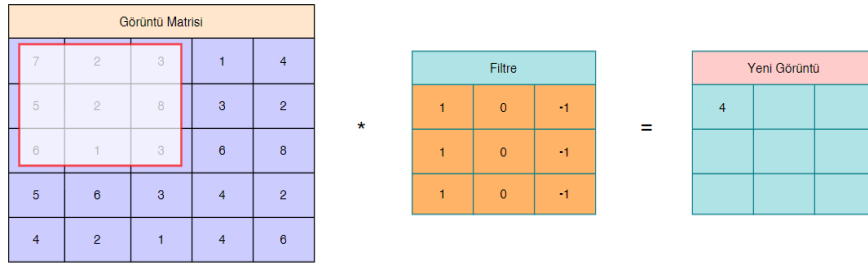
CNN Şekil 3.11'de görüldüğü gibi ileri beslemeli bir yapıya sahiptir (Liu vd. 2020). Giriş, konvolüsyon katmanı, havuzlama katmanı, ReLU (Doğrultucu Lineer Birim) katmanı, tam bağlı katmanlar ve çıkış birimlerinden oluşmaktadır (Mittal vd. 2019). CNN mimarisi içerisinde görüntü ilk olarak parçalara ayrılmaktadır ve her parça üzerinde filtre uygulanmaktadır. Filtre işleminden sonra görüntü boyutunda küçültme yapılmaktadır. Bu yapılan işlemler sonucunda elde edilen pikseller tek boyutlu vektörler haline getirilerek tam bağlantılı katman veya katmanlara girdi olarak verilerek sınıflandırma işlemi gerçekleştirilmektedir.



Şekil 3.11 CNN mimarisi.

3.9.2.1 Konvolüsyon Katmanı

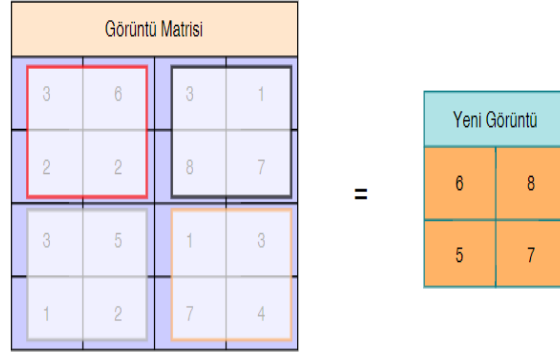
Konvolüsyon katmanı evrişimsel sinir ağının çekirdeği olarak görev yapmaktadır. Konvolüsyon işlemi 3x3, 5x5, 7x7 şeklinde küçük boyutlu filtrelerin görüntü matrisinin tamamı üzerinde gezdirilmesi ile oluşmaktadır. Bu şekilde görüntü üzerinde daha belirgin özniteliklerin oluşmasını sağlayarak yeni bir görüntü elde edilmektedir (Nguyen vd. 2019). Yeni görüntünün oluşumu görüntü matrisinin değerleri ile filtre matrisinin çarpılması sonucu oluşmaktadır. Şekil 3.12 ile konvolüsyon katmanının uygulanması detaylı bir şekilde görülmektedir.



Şekil 3.12 Konvolüsyon katmanının uygulanması.

3.9.2.2 Havuzlama Katmanı

Havuzlama katmanı genellikle konvolüsyon işlemi sonrasında olan bir katmandır (Castelluccio vd. 2015). Ağ mimarisi içerisinde boyut azaltmak için kullanılmaktadır. Boyut azaltma işlemi bazı bilgilerin kaybolmasını ve performansın düşmesini sağlamaktadır. Fakat modelin ezberlemesini önleyerek hesaplama yükünü azaltmaktadır. Havuzlama katmanında konvolüsyon katmanı gibi belirli filtreler görüntü üzerinde gezdirilmektedir. Görüntü matrisi içerisinde en büyük değer alınarak yeni görüntü matrisinin bir değeri oluşturulmaktadır. Bu şekilde görüntü matrisindeki veri miktarı azalmaktadır. Şekil 3.13 ile konvolüsyon katmanının uygulanması detaylı bir şekilde görülmektedir.



Şekil 3.13 Havuzlama katmanı uygulaması.

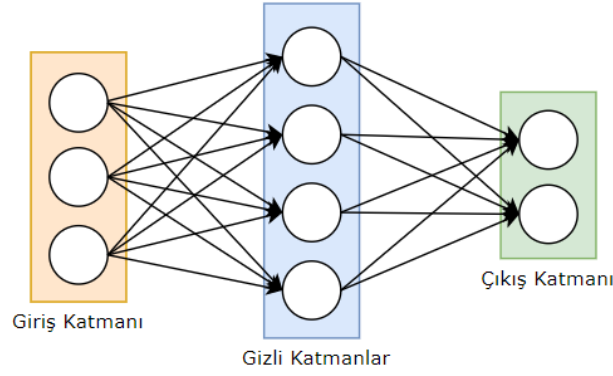
3.9.2.3 ReLU Katmanı

Aktivasyon fonksiyonunun uygulandığı katmandır. ReLU katmanında elde edilen veriler belirlenmiş olan aktivasyon fonksiyonuna tabi tutularak bir değer elde edilmesi gerçekleştirilmektedir. Aktivasyon katmanı olarak kullanılabilecek birden fazla fonksiyon vardır. Bunlardan bazıları hiperbolik tanjant, sinüs, step ve eşik değeri olarak kullanılmaktadır. Bu katmanın en önemli özelliklerinden birisi Denklem 3.5'te görüldüğü gibi giriş verisindeki negatif değerleri sıfıra çekmesidir

$$R(z) = \begin{cases} z, & z > 0 \\ 0, & z < 0 \end{cases} \quad (3.5)$$

3.9.2.4 Tam Bağlı Katman

Tam bağlı katman her bir girişin diğer tüm nöronlara bağlı olduğu bir katmandır. Bu sebeple tam bağlı katman olarak bilinmektedir. Genellikle CNN mimarisinin sonuna doğru ve sınıf skorlarını optimize etmek için kullanılmaktadır. Tam bağlı katmanın yapısı Şekil 3.14 ile görülmektedir.



Şekil 3.14 Tam bağlı katmanın yapısı.

3.9.3 CNN Mimarileri

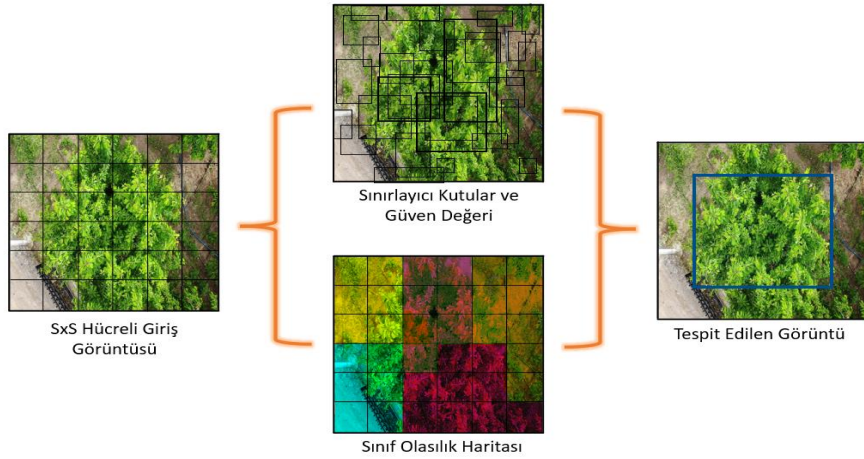
Yapay zekâ uygulamalarında genel olarak CNN mimarileri kullanılmaktadır. CNN mimarileri incelendiğinde içerisinde birçok mimari olduğu görülmüştür. Bu mimarilere örnek verecek olursak YOLO, AlexNet, DenseNet, ResNet, Faster-RCNN, GoogleNet gibi birçok mimariyi gösterebiliriz. Bir CNN'in mimarisi kullanılacak olan sınıflandırmanın performansını ve hızını etkileyen önemli faktörlerden birisidir (Cengiz 2020). Kullanılan drone sistemi içerisinde görüntüye bir kez bakarak objenin görüntü içerisindeki yerini tahmin edebilen YOLO mimarisinin diğer modellere göre hızlı ve küçük olması sebebi ile kullanımı tercih edilmiştir. YOLO mimarisinin seçilme nedenlerinden bir diğeri ise PyTorch tabanlı bir derin öğrenme sisteminin geliştirilebilmesidir. Bu sayede GPU desteği ile sınıflandırma işleminde yüksek FPS (Frame Per Second) değeri elde edilmektedir.

3.9.4 YOLO Mimarisi

Günümüzde sık kullanılan algoritmalarından bir tanesi de derin öğrenmenin alt yapısı olan YOLO algoritmasıdır (Li vd. 2019). YOLO modeli “You Only Look Once” kelimesinin baş harflerinden oluşmaktadır. Bu isim modelin bir görüntü içerisindeki nesnelerin ne olduğunu ve bir bakışta nerede olduklarını tahmin edebileceği anlamına gelmektedir. YOLO modeli sınırlayıcı kutu ve kategori olasılığını tahmin etmek için tek bir sinir ağı kullanmaktadır. Sınıflandırma işlemi için tek bir ağ kullanılması sebebi ile modelin performansı hızlı ve doğruluğu yüksektir (Du 2018). YOLO modeli nesnenin tespit

edilme işlemini regresyon problemine dönüştürmektedir. Regresyon işlemi sayesinde her bir sınıf için görüntüye ayrı ayrı işlem yapmak yerine görüntüye sadece bir kere bakılmaktadır ve girdi sadece bir kez ağ yapısından geçerek çıktının sınıfını ve koordinatlarını tahmin etmektedir (Peng vd. 2016). Görüntü içerisinde nesnelerin tespiti ve nesnelerin görüntü içerisindeki konumunu öğrenmek hızlı bir şekilde gerçekleşmektedir. Bu sayede diğer nesne tespiti yapılan modeller ile karşılaştırıldığında nesnenin tespit edilme süresi büyük bir oranda kısalmaktadır.

YOLO modeli veri seti içerisinde bulunan her bir görüntüyü Şekil 3.15’de görüldüğü gibi SxS şeklinde kare hücelere bölmektedir. Bir nesnenin merkezi bir ızgara hücrelerine düşerse, o ızgara hücreleri o nesneyi algılamaktan sorumludur. Her kılavuz hücreleri, B sınırlarını ve bu kutular için güven skorunu tahmin etmektedir. Güven skoru modelin görüntü içerisinde nesne içerdiğinden ne kadar emin olduğunu ve ne kadar doğru tahmin ettiğini göstermektedir. Bölünen hücre içerisinde herhangi bir nesne yok ise bu hücrelerin güven skoru 0, herhangi bir nesne var ise güven skoru 1’dir.



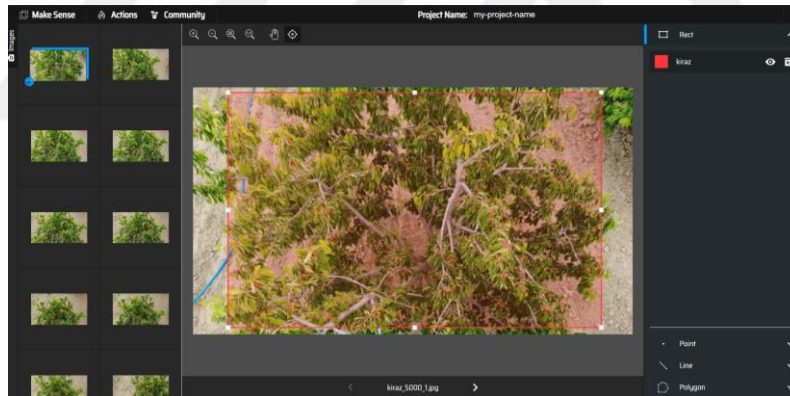
Şekil 3.15 YOLO modeli ağ yapısı.

YOLO algoritması YOLOv1, YOLOv2 şeklinde devam eden YOLOv7 ile son bulan derin öğrenme modelidir. Gerçekleştirilen bu çalışma içerisinde YOLO algoritmasının V5 modeli kullanılmıştır. YOLOv5 modeli de kendi içerisinde YOLOv5s, YOLOv5l, YOLOv5m ve YOLOv5x olarak ayrılmaktadır. Diğer modellere göre F1 skor değeri yüksek olması sebebi ile gerçek zamanlı ilaçlama çalışmasında YOLOv5s ile eğitilmiş ve geliştirilmiş olan yapay zekâ modeli kullanılmıştır.

3.9.5 Veri Setinin Hazırlanması ve Modelin Eğitilmesi

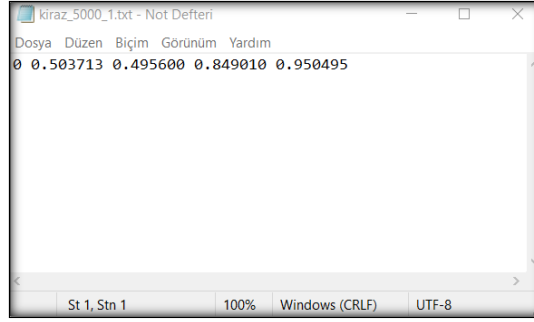
Tasarlanan drone içerisinde, gerçek zamanlı olarak kameradan alınan görüntüler derin öğrenme modelinden geçirilerek sınıflandırma işlemi yapılmaktadır. Derin öğrenme modelinin oluşturulması için yapılması gereken işlemler bulunmaktadır. Bu işlemler sırası ile verilerin toplanması, verilerin etiketlenmesi, verilerin test ve eğitim verisi olarak ayrılması ve modelin eğitimi olarak ifade edilebilir.

Verilerin toplanması için Afyonkarahisar bölgesinden DJI Mavic Air İHA ile toplanan görüntüler ve videolar kullanılmıştır. Hazırlanan veri seti içerisinde yaklaşık 3500 görüntüden oluşan kiraz ağacından oluşmaktadır. Hazırlanan verilerin etiketlenmesi için Resim 3.22’de görülen “makesense” internet platformu kullanılmıştır. Makesense platformu içerisine toplanmış olan görüntüler yüklenerek kiraz ağaçlarının resim içerisindeki alanı belirtilmektedir.



Resim 3.22 Makesense etiketleme platformu.

Etiketleme işlemi sonrasında platform görüntülerin YOLO formatında çıktısını Resim 3.23’de görüldüğü gibi .txt uzantı bir metin belgesi ile sunmaktadır. Resim 3.23 incelendiğinde belge içerisinde tek satırdan oluşan veriler bulunmaktadır. Bu veriler içerisinde etiketlenen görüntüde nesnenin koordinatları, görüntü içerisinde kaç adet sınıf bulunduğu, görüntünün genişliği ve görüntünün yüksekliği belirtilmektedir (Melek vd. 2019). YOLO formatında bulunan ilk değer görüntü içerisinde kaç adet sınıf olduğunu belirtmektedir. Sınıf sayısından sonra gelen değerler nesnenin görüntü içerisindeki koordinatlarının 0-1 arasına normalize edilmiş değerlerini vermektedir.



Resim 3.23 Etiket sonrası görüntüye ait bilgilerin çıktısı.

Modelin eğitimi sonrasında yapılacak olan testlerde eğitim oranının model üzerindeki çıkarımı da test edileceği için veriler %80 eğitim- %20 test ve %70 eğitim- %30 test olacak şekilde ayrılmıştır. Verilerin ayrılması sonrasında model eğitime tabii tutulmaktadır. Modelin eğitimi için Intel(R) Core (TM) i7-10700 CPU, 2.90GHz, 128GB Ram, NVIDIA GeForce RTX 3080 özelliklerinde donanıma sahip bilgisayar kullanılmıştır. Eğitimin uygulaması Visual Studio Code IDE ortamında gerçekleştirilmiştir.

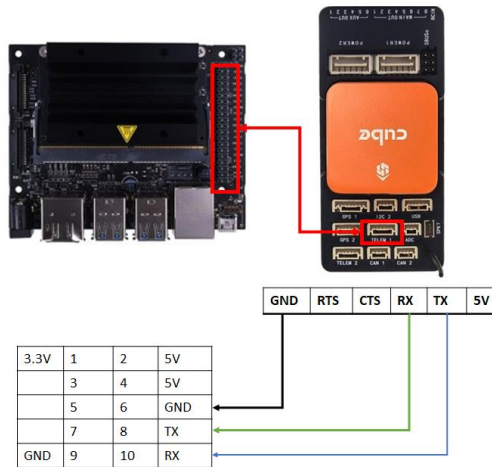
Eğitim işlemi yapılırken modele uygun öğrenme hızı, eğitim tur sayısı ve adım sayısı gibi hiper-parametreler belirlenerek eğitim başarı sonucu iyileştirilmiştir. Eğitim sonucunda elde edilen modelin başarısı test verileri kullanılarak belirlenmektedir. Test işleminin sonucuna göre eğitilmiş olan yapay zekâ modelinin başarı ve hata oranları elde edilmiştir. Eğitim sonrasında oluşturulan ağırlıklar NVIDIA firmasına ait TensorRT algoritması kullanılarak optimize edilmiştir. Yapılan optimizasyon sayesinde NVIDIA Jetson Nano geliştirme kiti modeli yüksek FPS değerlerinde çalışabilmektedir. Böylelikle kiraz ağacının hızlı bir şekilde tespiti ve sınıflandırılması gerçekleştirilmektedir. Gerçek zamanlı olarak alınan görüntüler eğitilen modelden geçirilmiştir. Resim 3.24 ile örnek bir sınıflandırma görüntüsü verilmektedir.



Resim 3.24 Kiraz ağacı sınıflandırma örneği.

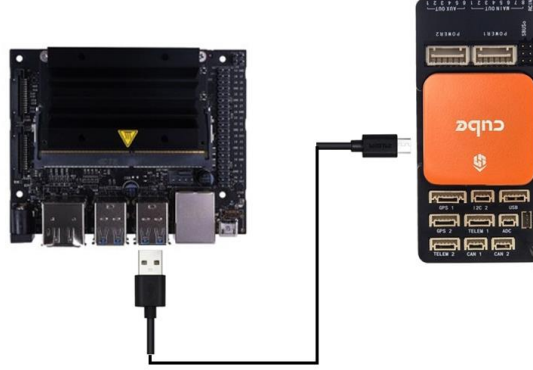
3.10 Jetson Nano ile Pixhawk Kontrolcüsünün Bağlantısı

Drone'un yapay zekâ destekli çalışması için Jetson Nano geliştirme kitinin Pixhawk kontrolcüsüne gerekli komutları göndermesi gerekmektedir. Gerekli haberleşmenin yapılması için seri haberleşme protokolü kullanılmaktadır. Pixhawk ve Jetson Nano arasındaki bağlantı iki farklı şekilde yapılabilmektedir. Bunlardan birincisi Şekil 3.16'da görüldüğü gibi Jetson Nano geliştirme kitinin GPIO pinleri ile Pixhawk kontrolcüsünün üzerinde bulunan TELEM1 portu ile yapılmaktadır. Bu kablolama yöntemi kullanıldığında haberleşmeyi sağlayan port /dev/ttyTHS1 portudur.



Şekil 3.16 Jetson Nano ve Pixhawk haberleşme bağlantısı.

Diğer bağlantı yöntemi ise Şekil 3.17’de görüldüğü gibi Pixhawk kontrolcüsü ve Jetson Nano geliştirme kiti birbirine USB kablo kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Bu kablolama yöntemi kullanıldığında haberleşmeyi sağlayan port `/dev/ttyACM0` portudur.



Şekil 3.17 Jetson Nano – Pixhawk USB kablo bağlantısı.

3.11 DroneKit Kütüphanesi

DroneKit kütüphanesi Mavlink protokolü üzerinden araçlar ile iletişim kurarak Python uygulamalarının çalıştırılmasına olanak sağlamaktadır. Bu sayede Python kodunun çalıştırılabileceği Raspberry ya da Jetson Nano gibi bir geliştirme kiti sayesinde yazılan yapay zekâ, görüntü işleme vb. uygulamalar drone ile bütünleşik olarak çalışabilmektedir. DroneKit kütüphanesi içerisinde bulunan komutlar kullanılarak Python kodundaki herhangi bir çıktı durumunda drone'un durumunda değişiklik yapılarak drone'un kontrolü sağlanabilmektedir.

3.11.1 DroneKit Kütüphanesi ile Drone Sistemine Bağlantı

DroneKit kütüphanesi sayesinde gerekli kablolama yapıldıktan sonra drone sistemi içerisindeki yükseklik, hız, yön ve batarya seviyesi gibi birçok veri okunabilmekle birlikte dışarıdan Pixhawk kontrolcüsü içerisindeki parametreler değiştirilebilmektedir. EK-1’de örnek bir bağlantı komutları görülmektedir. Bağlantı komutları incelendiğinde, bir sanal çıkış portu bulunmaktadır. Sanal port sayesinde Gazebo gibi simülasyon ortamlarında testler yapılabilmektedir. Kontrolcü üzerinde işlem yapılacağı durumlarda `/dev/tty` portları kullanılmaktadır.

3.11.2 DroneKit Kütüphanesi ile Drone'un Yüksekliğinin Ayarlanması

Drone'un python dili ile kontrolünün yapılması için ilk olarak dronekit kütüphanesi drone'un arm (GPS, batarya seviyesi, switch vs.) edilebilir olup olmadığını kontrol etmektedir. Drone arm olduktan sonra uçuş modu GUIDED moduna geçirilmektedir. Mod değişikliği sonrasında “vehicle.simple_takeoff()” komutu kullanılarak istenilen yükseklik belirtilmektedir. EK-2'de drone'un istenilen yüksekliğe getirilmesi için gerekli örnek kod yapısı görülmektedir.

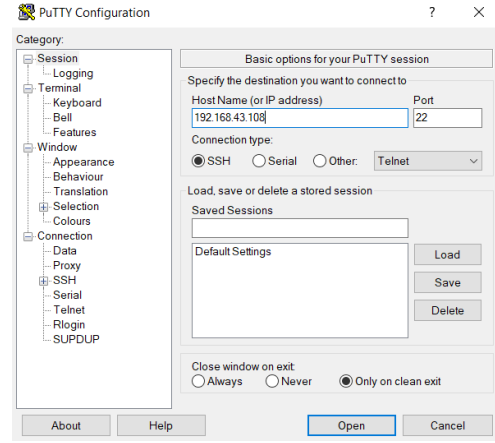
3.11.3 DroneKit Kütüphanesi ile Drone'un Gideceği Noktaların Ayarlanması

Drone'un belirlenen noktalara gidebilmesi için ilk olarak arm olması, GUIDED moduna geçmesi ve istenilen yüksekliğe gitmesi gerekmektedir. Gerekli ayarlamaların yapılması sonrasında “vehicle.simple_goto()” komutu ile belirlenen noktaya gidiş gerçekleştirilebilmektedir. Gidilecek noktanın belirlenmesi için üç parametre gerekmektedir; bunlardan birincisi lat değeri (enlem) ikincisi long değeri (boylam) üçüncüsü ise istenilen yükseklik değeridir. Gidilecek noktaların bitişi sonrasında uçuş modu RTL (“Return to Launch” – RTL) moduna geçirilerek drone'un eve dönüş konumuna veya LAND moduna geçirilerek yere güvenli inişi sağlanabilmektedir. EK-3 ile drone'un noktasal olarak ilerleyebilmesi için gerekli örnek kod yapısı görülmektedir.

3.12 Jetson Nano Bilgisayarına Uzaktan Erişim Yöntemi SSH (Secure Shell)

Jetson Nano geliştirme kitine kablosuz olarak bağlanabilmek için SSH (Secure Shell) bağlantısı kullanılmaktadır. SSH bağlantısı bir ağ üzerinden başka bir bilgisayara bağlanmak için güvenli bir yol sunan ağ protokolüdür. Bağlantı içerisinde ağ yapısı bulunduğundan dolayı iki bilgisayarında aynı ağ grubunda olması gerekmektedir. SSH bağlantısının kullanılması için farklı programlar veya komut istemcileri mevcuttur. Bunlardan bir tanesi PuTTY diğeri ise Windows komut sistemidir. Drone'un yapay zekâ kontrolünde çalıştırılabilmesi için Windows komut istemcisi üzerinden SSH bağlantı yöntemi kullanılmıştır. Resim 3.25'de örnek SSH bağlantısı görülmektedir.

```
user@user-desktop: ~  
Microsoft Windows [Version 10.0.19044.1766]  
(c) Microsoft Corporation. Tüm hakları saklıdır.  
  
C:\Users\CEMALETTIN>ssh user@192.168.43.108  
user@192.168.43.108's password:  
Welcome to Ubuntu 18.04.6 LTS (GNU/Linux 4.9.253-tegra aarch64)  
  
* Documentation:  https://help.ubuntu.com  
* Management:    https://landscape.canonical.com  
* Support:        https://ubuntu.com/advantage  
This system has been minimized by removing packages and content that are  
not required on a system that users do not log into.  
  
To restore this content, you can run the 'unminimize' command.  
  
22 updates can be applied immediately.  
18 of these updates are standard security updates.  
To see these additional updates run: apt list --upgradable  
  
Last login: Thu Aug 18 14:03:40 2022 from 192.168.43.228  
user@user-desktop:~$ pwd  
/home/user  
user@user-desktop:~$
```



- a) Windows komut istemcisi kullanarak SSH bağlantısı. b) PuTTY kullanarak SSH bağlantısı.

Resim 3.25 Jetson Nano yapay zekâ bilgisayarına uzaktan bağlantı yöntemleri.

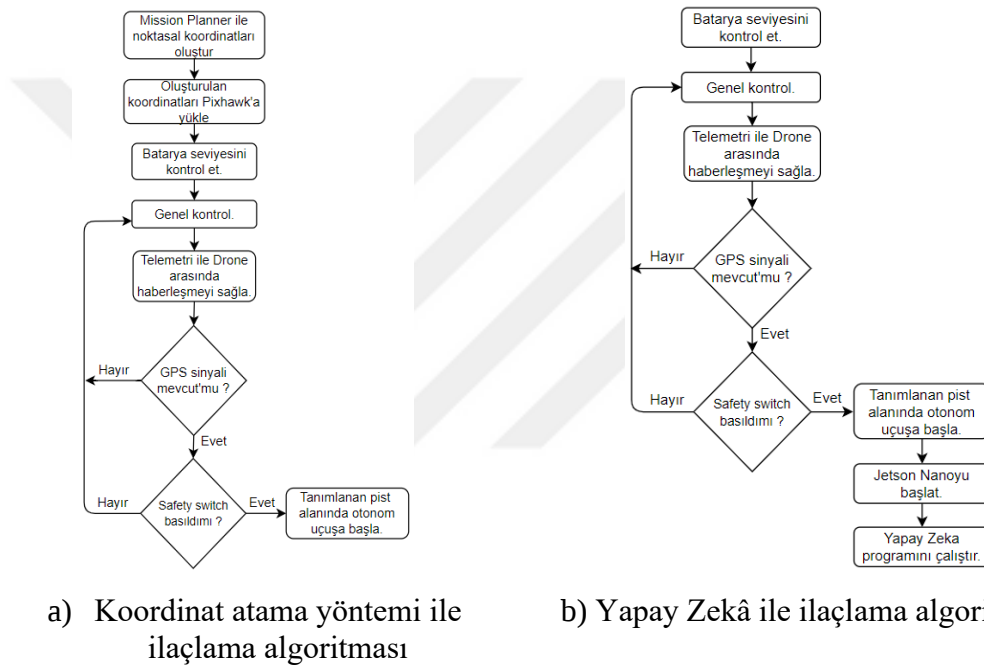
3.13 Jetson Nano Yapay Zekâ Bilgisayarına Yüklenen Gereksinimler

Jetson Nano geliştirme kitinin çalışması için içerisine Ubuntu 18.04 işletim sistemi kullanılmıştır. İşletim sisteminin kurulumu sonrasında gerekli paketlerin güncellenmesi için “sudo apt-get update && sudo apt-get upgrade” komutu kullanılmaktadır. Gerekli güncellemelerin yapılması sonrasında YOLOv5 algoritmasının çalıştırılabilmesi için EK-4’de görülen gerekli kütüphanelerin yüklenmesi gerçekleştirilmiştir.

3.14 Drone’un İlaçlama Yöntemine Göre Temel Çalışma Algoritması

İlaçlama drone’un uçuşa başlayabilmesi amacıyla bazı temel işlemlerin gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Bu işlemler Şekil 3.18’de verilen akış diyagramında görülmektedir. Drone’un sorunsuz bir uçuş gerçekleştirebilmesi için Li-Po pil hücrelerinin tam dolu (4,2V) olması gerekmektedir. Bu nedenle uçuş öncesi batarya hücreleri kontrol edilmelidir. Drone ilaçlama işlemini gerçekleştirirken bazı veriler toplanmaktadır. Aynı zamanda drone’un hareketinin gözlemlenmesi gerekmektedir bu işlemler için telemetri modülü kullanılarak bilgisayar ile haberleşme sağlanmaktadır. Drone’un kontrolörü olan Pixhawk üzerinde güvenlik amacı ile Safety Switch (Güvenlik Butonu) bulunmaktadır. Güvenlik butonu aktif edilmeden drone uçuş gerçekleştirememektedir. Güvenlik butonu aktif hale getirildiğinde drone tanımlanan pist alanında otonom(otomatik) uçuşa başlayabilmektedir.

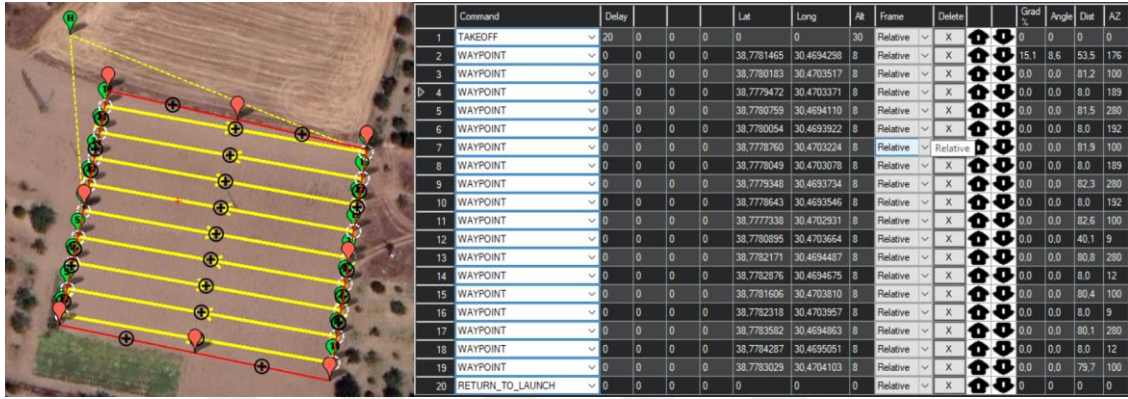
Koordinat atama yöntemi ile ilaçlama işlemi gerçekleştirilecek ise yapay zekâ bileşenlerine ihtiyaç duyulmadan otonom bir şekilde ilaçlama işlemi gerçekleştirilir. Koordinat atama yöntemi ile ilaçlama işlemi için drone sisteminin kararlı bir şekilde uçuşması ve koordinatların uçuş işleminden önce atanmış olması yeterli olacaktır. Yapay zekâ tabanlı ilaçlama işlemi için ise drone sistemi uçuşa başladıktan sonra Jetson Nano üzerinde yapay zekâ programı çalıştırılarak derin öğrenme tabanlı ilaçlama işlemleri gerçekleştirilir. Derin öğrenme tabanlı ilaçlama işleminin ve otonom ilaçlama işleminin basamakları bir sonraki başlıkta ayrıntılı bir şekilde ifade edilmiştir.



Şekil 3.18 Tasarlanan Drone'un yöntemine göre uçabilmesi için yapılan ön hazırlık aşamaları.

Gerçekleştirilen ilaçlama drone'u derin öğrenme yöntemi olmadan ve derin öğrenme yöntemini kullanacak şekilde iki farklı modda ilaçlama yapabilmektedir. Derin öğrenme yöntemi kullanılmadığında sınırları belirli olan bir tarım arazisi üzerinde otonom bir şekilde uçarak ilaçlama işlemini gerçekleştirilebilmektedir. Yapay zekâ desteği olmadan gerçekleştirilen ilaçlama işleminde Pixhawk Uçuş Kontrolcüsünün otopilot özelliği kullanılmaktadır. Mission Planner programı ile GPS modülü sayesinde alınan noktasal koordinatlar drone sistemine tanımlanmaktadır. Bu noktalarda kalkış, noktalar arasında ilerleme ve iniş gibi işlemler belirlenerek uçuş güzergahı oluşturulmaktadır. Uçuş güzergahı oluşturulduktan sonra otopilot özelliği aktif hale getirilebilir. Otonom uçuş

yapılabilmesi için Resim 3.26’da görüldüğü gibi yer istasyonu üzerinde bir otonom rota çizilmesi gerekmektedir. Rotanın çizilmesi ile uçuş komutları oluşturulmaktadır. Drone’un yükselmesi için TAKEOFF, ilerleme için WAYPOINT geri eve dönüş için ise RTL komutu kullanılmaktadır. Çizilen pist kontrolcü içerisine yüklendikten sonra uçuş modu AUTO moduna çekilerek otonom uçuş başlatılmaktadır.



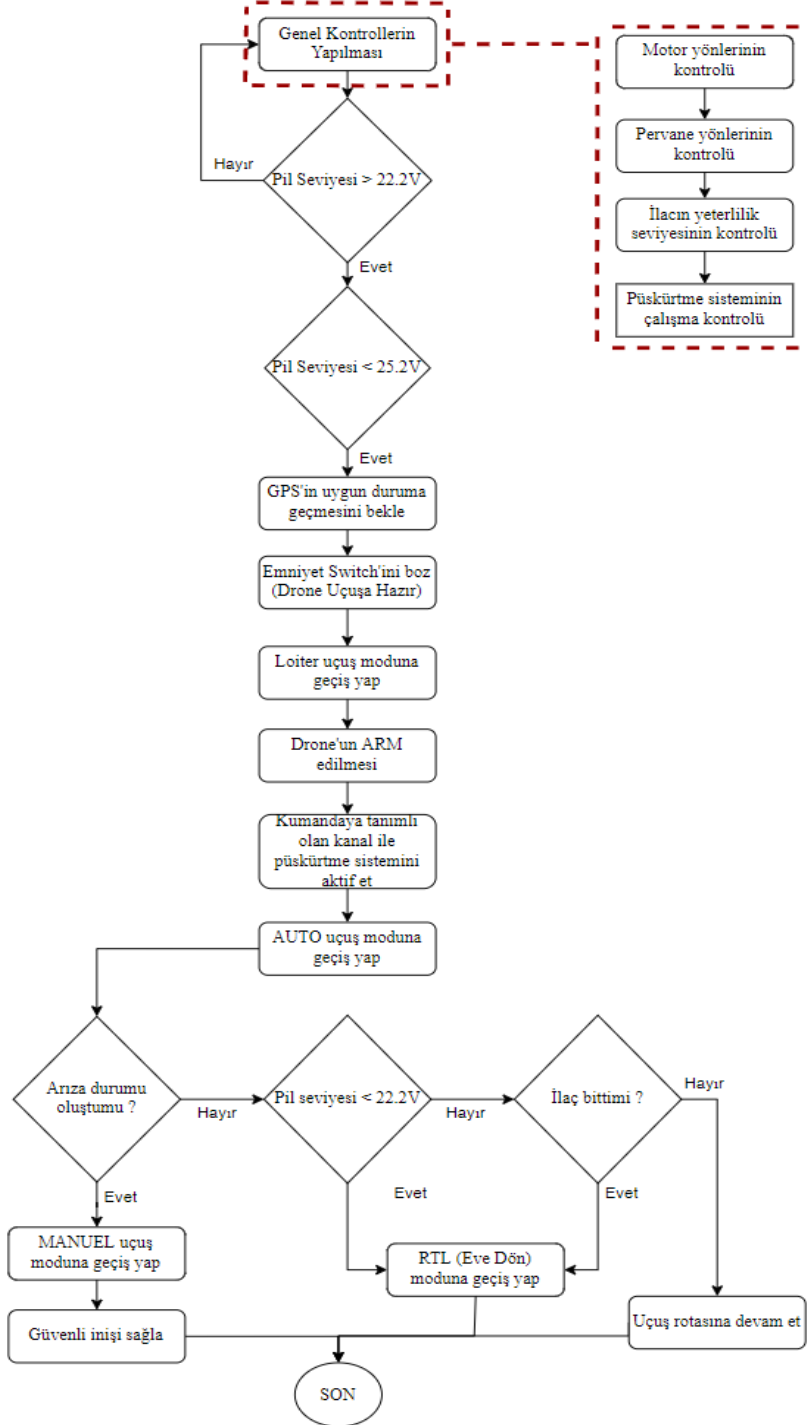
Resim 3.26 Koordinat atama yöntemi ile ilaçlama.

3.15 Drone’un Otonom (Sürekli) İlaçlama Yönteminde Kullandığı Algoritma

Drone'un uçuş öncesi işlemleri tamamlandıktan sonra Şekil 3.19’da görüldüğü üzere çeşitli işlemleri gerçekleştirerek ilaçlama işlemi yapılabilmektedir. Drone’un ilaçlama işlemini yapabilmesi için öncelikle genel kontrollerinin yapılması gerekmektedir. Genel kontrollerin gerçekleştirilmesi sonrasında bataryanın seviyesi 22V ile 25,2V aralığında olması gerekmektedir. Belirtilen bu değerler sistem içerisinde Li-Po pil kullanımından dolayı kaynaklanmaktadır. Li-Po pillerin minimum voltaj değeri hücre başına 3,7V maksimum voltaj ise 4,2V olarak belirtilmektedir. Pil seviyesinin yeterli düzeyde olması ile GPS’in uygun duruma yani uçuşa hazır hale geçmesi beklenmektedir. GPS’in uygunluğu sonrasında emniyet switch’inin pasif edilmesi gerekmektedir. Bu sayede drone’a uçuş izni verilmektedir.

Yapılan önceki işlemler drone’un uçuşa başlayabilmesi için ön adımlardır. Drone Loiter modunda arm edilerek uçuş modu AUTO moduna geçirilmektedir. Sonrasında kumandaya tanımlı olan kanal üzerinden spray modu aktif hale getirilerek püskürtme sisteminin çalışması gerçekleştirilir. Modun değişmesi ile drone çizilen uçuş pistine göre

otonom bir şekilde ilerlemektedir. Uçuş sırasında pilin veya ilacın bitmesi durumunda RTL (eve dön) modu aktif hale getirilerek drone'un güvenli inişi sağlanır. Beklenmedik bir arıza oluşması durumunda emniyet amaçlı uçuş modu Loiter moduna çekilerek manuel olarak güvenli iniş yapılması sağlanmaktadır.



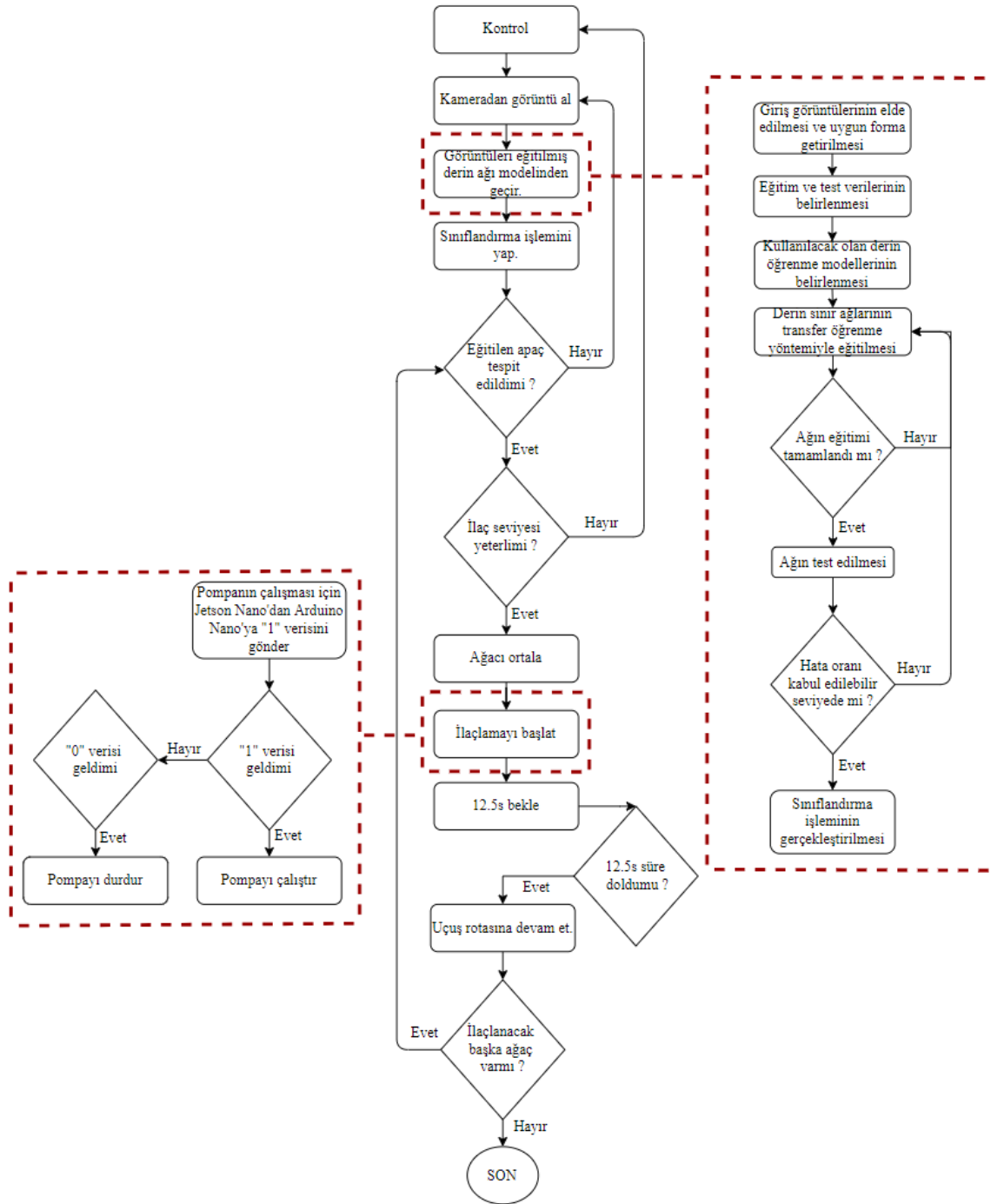
Şekil 3.19 Drone'un otonom (sürekli) ilaçlama aşamasında kullandığı akış diyagramı.

3.16 Drone'un Yapay Zekâ Tabanlı İlaçlama Yönteminde Kullandığı Algoritma

Drone'un uçuş öncesi işlemleri tamamlandıktan sonra Şekil 3.20'de görüldüğü üzere çeşitli işlemleri gerçekleştirerek ilaçlama işlemi yapılabilmektedir. Drone havalandıktan sonra üzerinde bulunan kamera ile görüntü alarak bu görüntüleri eğitilmiş CNN modelinden geçirmektedir. Görüntüler eğitilmiş derin ağ modelinden geçirildikten sonra belirlenmesi hedeflenen nesneler türlerine ve isimlerine göre sınıflandırılmaktadır. Bu aşamada hedeflenen nesne kiraz ağacı olarak tanımlanmıştır. Görüntüde eğitim aşamasında kullanılan kiraz ağacı tespit edilirse ilaç seviyesinin yeterli olup olmama durumuna göre ilaçlama işlemi yapılmaktadır. İlaç seviyesi yeterli ise ilaçlama yapılacak, yeterli değil ise kontrol aşamasına giderek ilaç tankına ilaç takviyesi yapılması gerekmektedir. Bütün işlemler tamamlandıktan sonra drone başlangıç konumuna dönerek güvenli bir iniş gerçekleştirmektedir.

Yapay zekâ tabanlı temel algoritmanın üçüncü aşamasında görüntüleri eğitilmiş derin ağ modelinden geçirme işlemi yapılmaktadır. Bu işlemin algoritması sağ tarafta kesikli çizgi içerisinde detaylı bir şekilde gösterilmiştir. Bu aşamada ilk olarak giriş görüntülerinin elde edilmesi ve bu görüntülerin sınıflarının etiketlenerek uygun forma getirilmesi işlemi gerçekleştirilmektedir. Ardından veri setinin eğitim ve test olarak ayrılması gerekmektedir. Sonraki adımda kullanılacak olan derin sinir ağı uygun hiper-parametreler belirlenerek oluşturulacaktır. Belirlenen bu parametrelere göre eğitim veri seti ile derin sinir ağında eğitim gerçekleştirilmiştir. Eğitilen derin sinir ağının başarı oranı ve hata oranı test veri seti ile kontrol edilmiştir.

İlaçlamanın başlatılması için Jetson Nano geliştirme kitinin Arduino Nano mikrodenetleyicisine “1” verisini göndermesi gerekmektedir. Arduino mikrodenetleyicisi içerisinde gelen veriler sürekli kontrol edilmektedir. Gelen veri “1” ise pompa çalışmaya başlayacak, “0” ise pompanın çalışması duracaktır.



Şekil 3.20 Drone'un yapay zekâ tabanlı ilaçlama aşamasında kullandığı akış diyagramı.

3.17 Gerçekleştirilen Drone Sistemine Ait Test Çalışmalarının Hazırlanması

Drone sistemine ait test çalışmaları Resim 3.27'da görülen bahçede gerçekleştirilmiştir. Yapılan test çalışmalarında toplam 15 ağaç üzerinde testler yapılmıştır. Bu 15 ağaçtan 6 tanesi elma ağacı 9 tanesi ise kiraz ağacıdır.

Test uygulamasının yapıldığı bahçenin ölçüleri Resim 3.27’de görüldüğü gibi 35,8 m x 50,5 m olarak ölçülmüştür ve bahçenin alanı 1815 m² olarak hesaplanmıştır. Test uygulamalarının oluşturulması için Mission Planner yer istasyonu ile bahçedeki ağaçların üzerinden ilerleyecek şekilde uçuş rotası oluşturulmuştur. Yapay zekâ sistemi sadece kiraz ağaçlarını sınıflandırdığı için sadece kiraz ağaçlarını tanımaktadır. Drone otonom uçuşunda herhangi bir kiraz ağacının üzerine geldiğinde drone ağacın üzerinde bekleyerek ilaçlama başlamaktadır. Ağacın ilaçlama işlemi bittikten sonra drone diğer ağaca doğru yönelerek döngüsüne devam etmektedir. Eğer ağaç kiraz ağacı değil ise ilaçlama yapılmamaktadır.



Resim 3.27 Test uygulamalarının yapıldığı bahçe ve çizilen rota.

4. BULGULAR

Gerçekleştirilen bu çalışmaya ait bulgular, deneysel ve gerçek zamanlı çalışma sonuçları olarak incelenmiştir. Deneysel çalışma sonuçları içerisinde yapay zekâ sisteminde kullanılan YOLOv5 modellerinin (YOLOv5m, YOLOv5s ve YOLOv5x) kendi içerisinde kesinlik, duyarlılık ve F1 puanı değişken epok sayılarında ve değişken eğitim-test oranı ile incelenmiştir. Gerçek zamanlı çalışma sonuçları içerisinde üretilen ilaçlama drone sistemi otonom ilaçlama yöntemi ve yapay zekâ tabanlı ilaçlama yöntemi toplam ilaçlama süresi, toplam uçuş süresi ve pompanın enerji (Wh) kullanımı yönünden karşılaştırılmış olup ilerleyen bölümde detaylı bir şekilde açıklanmıştır.

4.1 Deneysel Çalışma Sonuçları

YOLOv5 modellerinin sınıflandırma performansı, aşağıdaki varsayımlara dayalı olarak gerçekleşmektedir. Karşılaştırılan değerlendirme parametreleri ise kesinlik (precision), duyarlılık (recall), F1 puanı (F1 score) ve F1 puanı – güven eğrisidir.

- Gerçek Pozitifler (TP): Bunlar gerçek değeri 1 ve tahmin ettiğimiz değerin de 1 olduğu örneklerdir.
- Gerçek Negatifler (TN): Bunlar gerçek değeri 0 ve tahmin ettiğimiz değerin de 0 olduğu örneklerdir.
- Yanlış Pozitifler (FP): Bunlar gerçek değeri 0 ancak tahmin ettiğimiz değerin 1 olduğu örneklerdir.
- Yanlış Negatifler (FN): Bunlar gerçek değeri 1 ancak tahmin ettiğimiz değerin 0 olduğu örneklerdir.

Kesinlik, duyarlılık, F1 Puanı değerleri aşağıdaki denklemler ile belirlenmiştir.

$$Kesinlik (Precision) = \frac{TP}{TP + FP} \quad (4.1)$$

$$Duyarlılık (Recall) = \frac{TP}{TP + FN} \quad (4.2)$$

$$F1 Puanı (F1 Score) = \frac{2 * Kesinlik * Duyarlılık}{Kesinlik + Duyarlılık} \quad (4.3)$$

YOLOv5 versiyonlarının kesinlik (precision), duyarlılık (recall), F1 Puanı (F1 score) değerlerinin performans karşılaştırmaları Çizelge 4.1’de verilmiştir. Bu değerlendirme kriterleri modellerin 70, 100 ve 150 epok çalıştırılması sonucu elde edilmiştir. Eğitim test oranının performans sonucuna etkisini görebilmek için eğitim test oranı %80 eğitim, %20 test ve %70 eğitim, %30 test olmak üzere iki farklı şekilde kullanılmıştır. Şekil 4.1’de kesinlik ve duyarlılık değerlendirme parametrelerinin grafikleri verilmiştir. Veri sayısının %70 eğitim, %30 test ve %80 eğitim, %20 test olarak 70, 100 ve 150 epok çalıştırılması sonucu grafikler elde edilmiştir.



Eğitim
Test
Oranı,
Epok
Sayısı

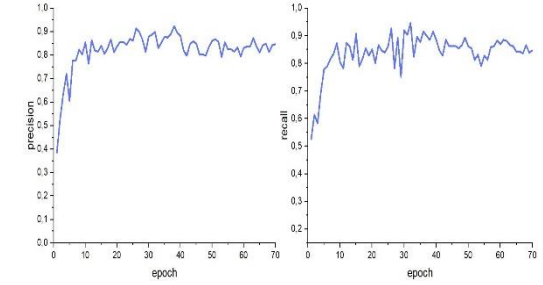
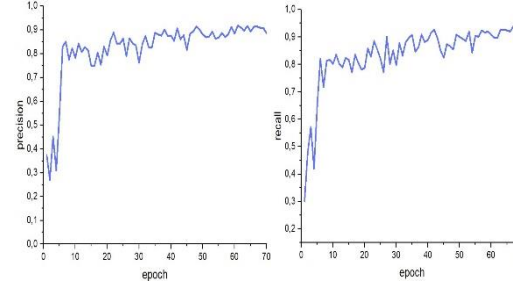
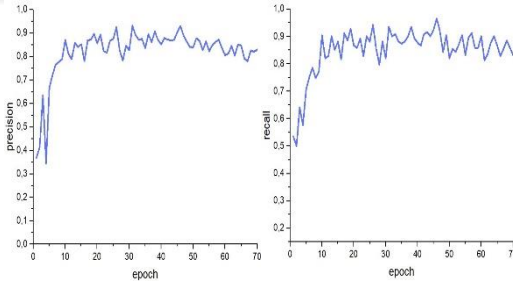
YOLOv5m

YOLOv5s

YOLOv5x

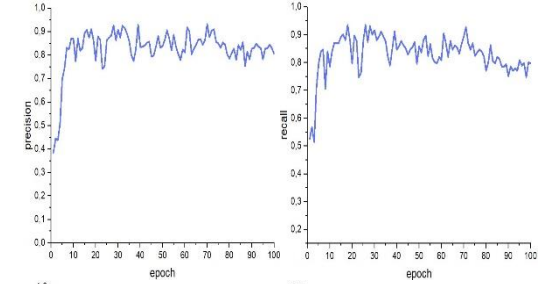
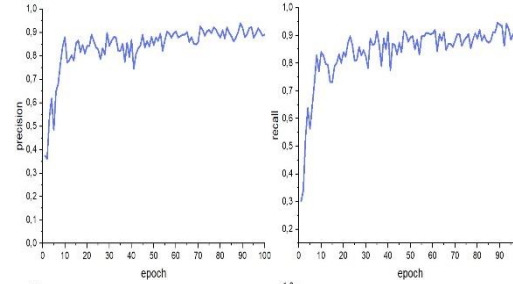
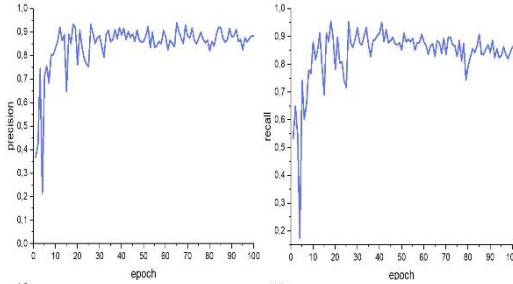
70-30

70



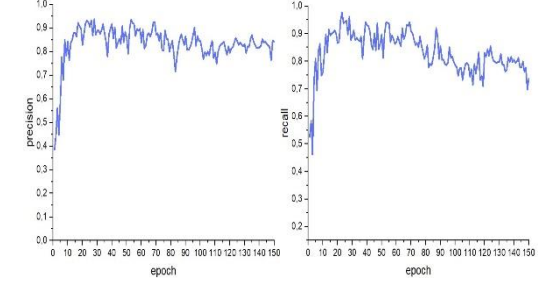
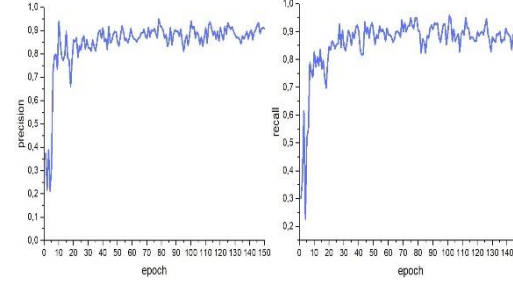
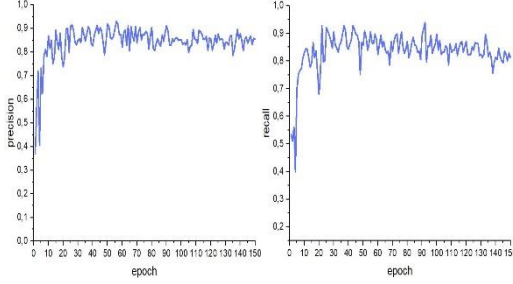
70-30

100



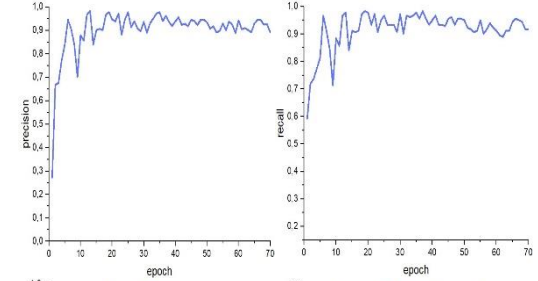
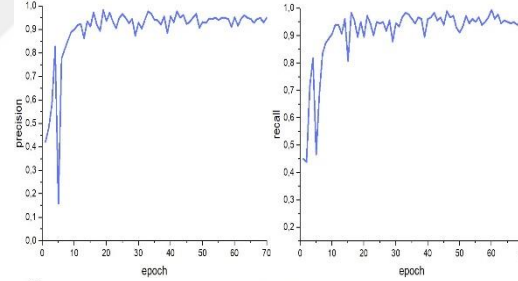
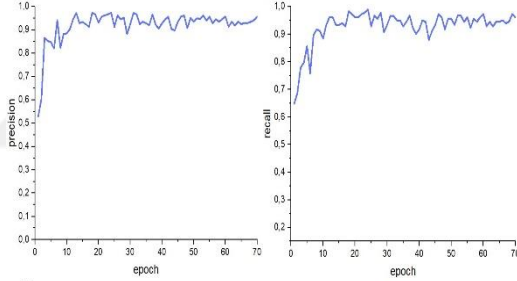
70-30

150

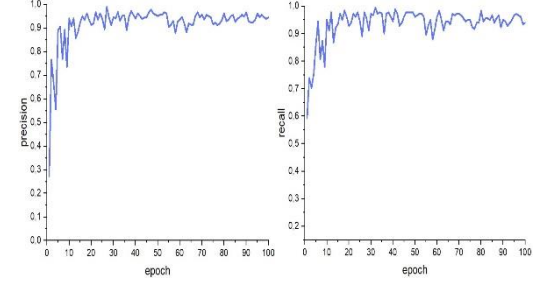
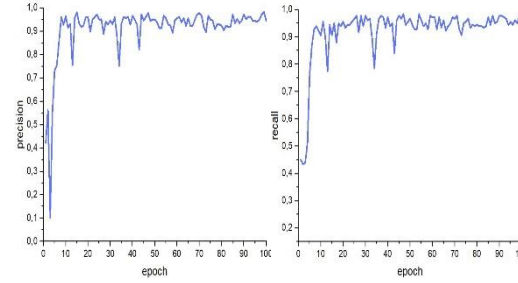
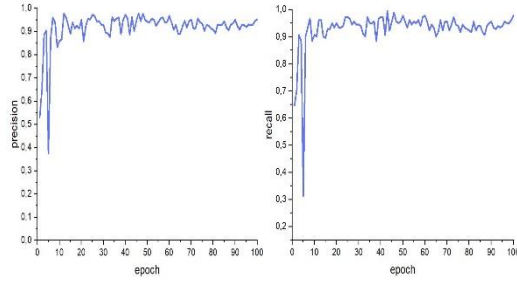


Şekil 4.1 YOLOv5 versiyonlarının farklı eğitim-test verilerine ve epok sayısına göre kesinlik ve duyarlık grafikleri.

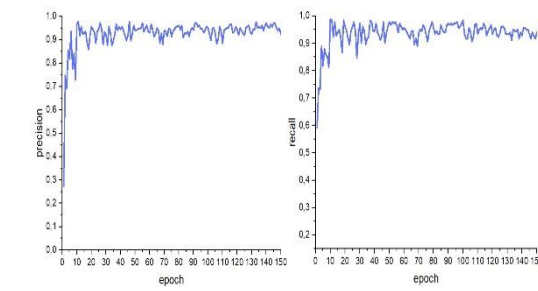
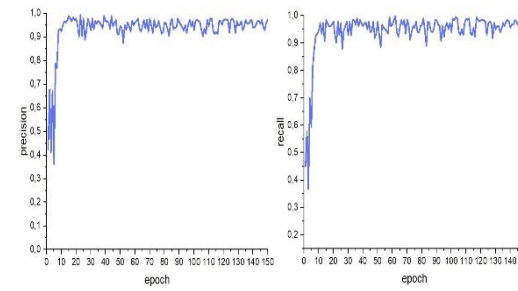
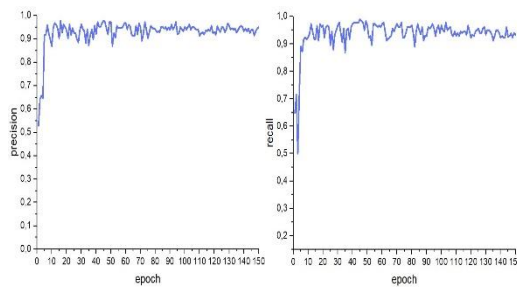
80-20
70



80-20
100



80-20
150



Şekil 4.1 (Devam) YOLOv5 versiyonlarının farklı eğitim-test verilerine ve epok sayısına göre kesinlik ve duyarlık grafikleri.

Şekil 4.1 detaylı incelendiğinde 70, 100 ve 150 epok çalıştırılarak YOLOv5 versiyonlarının kesinlik ve duyarlılık grafikleri görülmektedir. Burada başlangıçtan son epok değerine doğru yükselen bir eğri görülmektedir. Farklı eğitim ve test oranlarına göre incelendiğinde oldukça yüksek kesinlik ve duyarlılık değerlerine ulaşıldığı söylenebilir. 70 epok sayısında grafiklerdeki dalgalanmanın daha çok olduğu görülmektedir. Epok sayısının artmasıyla birlikte daha sabit sonuçlar ortaya çıkmaktadır. Bundan dolayı 70, 100 ve 150 epok sayısından 100 epok değerlikli modelin seçilmesi daha uygun olacaktır. Her bir çalışmadaki net kesinlik ve duyarlılık değerleri Çizelge 4.1’de verilmektedir. Bu iki değerlendirme parametresinden yola çıkılarak F1 puanı hesaplanarak verilmektedir.

Çizelge 4.1 YOLOv5 versiyonlarının farklı test oranları ve farklı epok sayılarına göre kesinlik ve duyarlılık değerleri

Eğitim/Test Oranı	Epok Sayısı	Model	Kesinlik	Duyarlılık	F1 Puanı
70/30	70	YOLOv5m	0,870	0,916	0,892
		YOLOv5s	0,893	0,924	0,908
		YOLOv5x	0,900	0,889	0,894
	100	YOLOv5m	0,899	0,885	0,891
		YOLOv5s	0,894	0,905	0,899
		YOLOv5x	0,925	0,893	0,908
	150	YOLOv5m	0,893	0,893	0,893
		YOLOv5s	0,858	0,901	0,878
		YOLOv5x	0,898	0,943	0,919
80/20	70	YOLOv5m	0,932	0,972	0,951
		YOLOv5s	0,947	0,972	0,959
		YOLOv5x	0,945	0,951	0,947
	100	YOLOv5m	0,945	0,945	0,945
		YOLOv5s	0,983	0,978	0,980
		YOLOv5x	0,946	0,973	0,959
	150	YOLOv5m	0,945	0,951	0,947
		YOLOv5s	0,973	0,984	0,978
		YOLOv5x	0,972	0,973	0,972

Elde edilen F1 puanlarına bakıldığında, %70 eğitim ve %30 ile test yapılan çalışmalarda 70 epokta en başarılı versiyon YOLOv5s versiyonu olurken 100 ve 150 epokta YOLOv5x versiyonu daha başarılı sonuç göstermiştir. %80 eğitim ve %20’lik test çalışmasında ise 70, 100 ve 150 epokta en başarılı versiyon YOLOv5s versiyonudur. Çalışmanın geneline bakacak olduğumuzda ise en başarılı F1 skor değeri %80 eğitim ve %20’lik test çalışmasındaki 100 epok değerinde YOLOv5s versiyonunda %98,048 ile görülmüştür. Kesinlik ve duyarlılık arasındaki denge F1 puanı – güven değeri kullanılarak ifade edilebilmektedir. Aşağıda ilgili eğriler verilerek ve tasarım noktaları belirlenmektedir.

YOLOv5 versiyonlarının F1 puanı-güven eğrisini Şekil 4.2’de gösterilmektedir.

Eğitim
ve Test
Oranı,
Epok
Sayısı

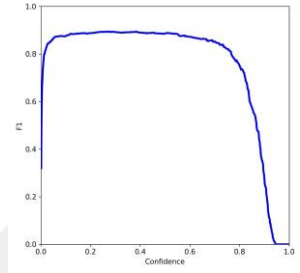
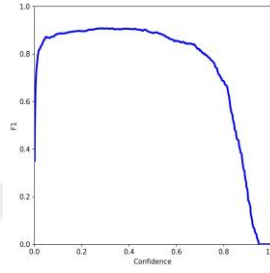
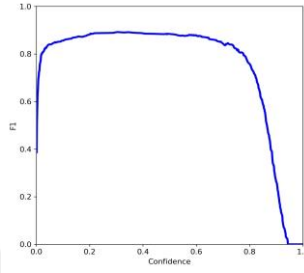
YOLOv5m

YOLOv5s

YOLOv5x

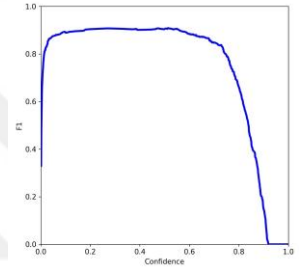
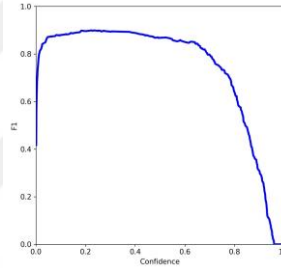
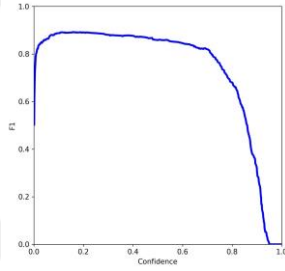
70-30

70



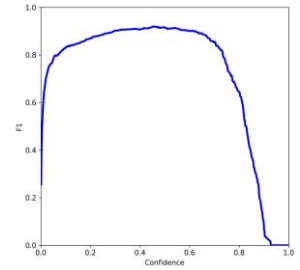
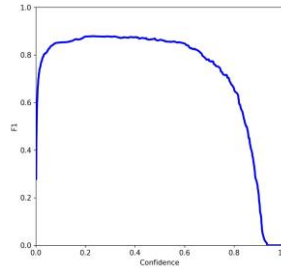
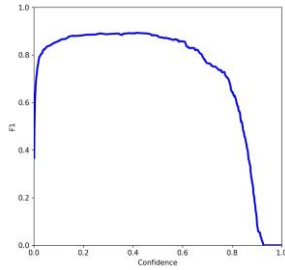
70-30

100



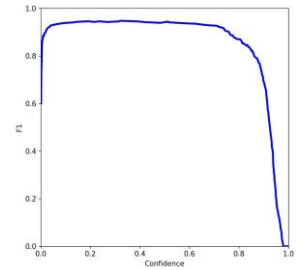
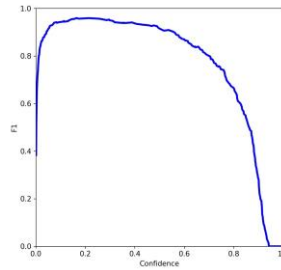
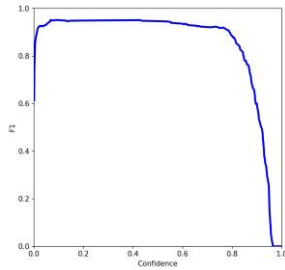
70-30

150



80-20

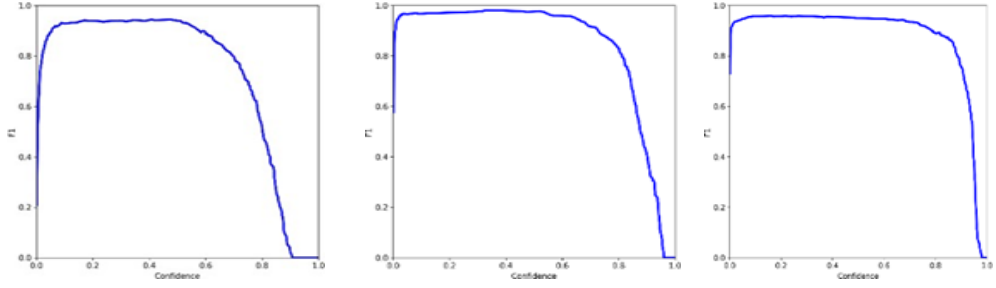
70



Şekil 4.2 YOLOv5 versiyonlarının farklı eğitim ve test verilerine göre ve epok sayısına göre F1-puanı – güven eğrisi.

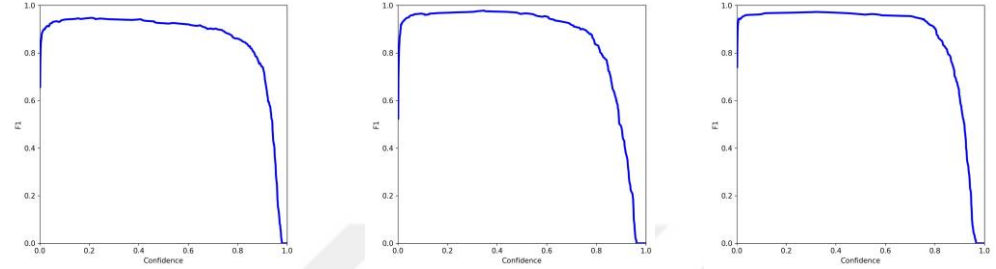
80-20

100



80-20

150



Şekil 4.2 (Devam) YOLOv5 versiyonlarının farklı eğitim ve test verilerine göre ve epok sayısına göre F1-puanı – güven eğrisi.

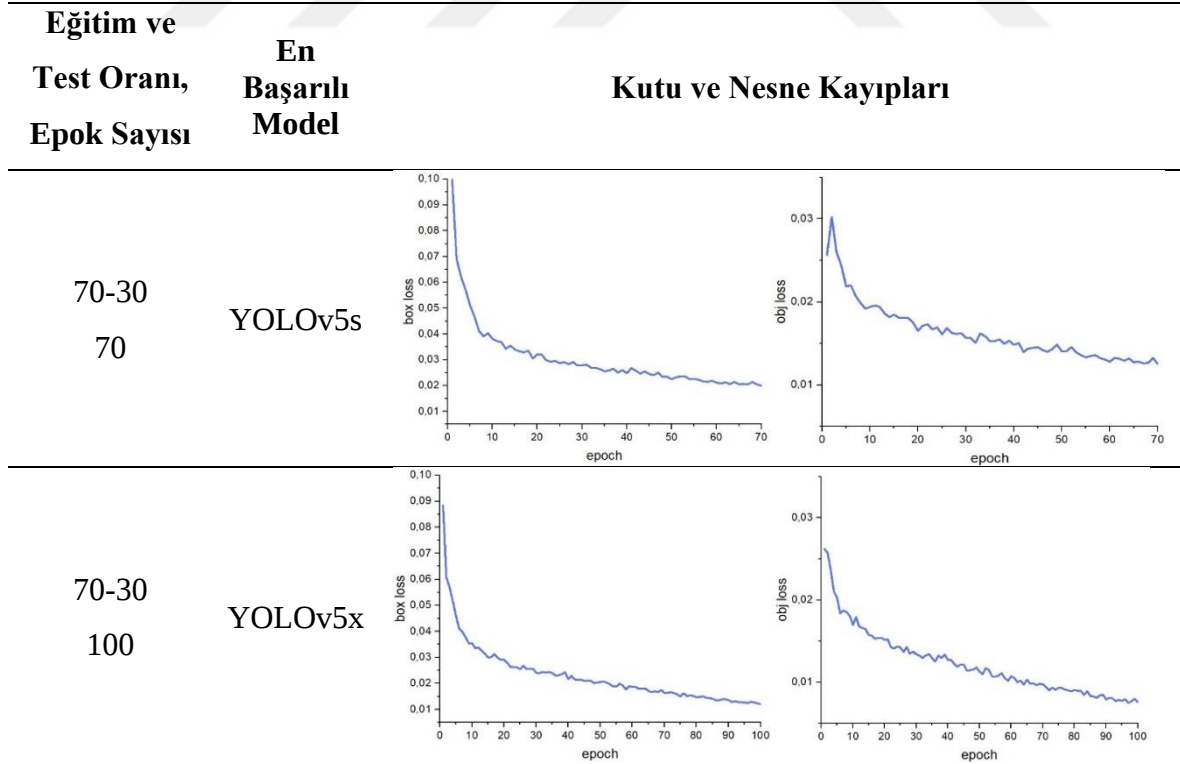
Bir sınıflandırıcının F1 puanı, kesinliğin ve duyarlılığın ağırlıklı harmonik ortalamasıdır. Bu, her iki ölçümün de aynı öneme sahip olduğu anlamına gelir. F1 puan – güven eğrilerinin verildiği Şekil 4.1 incelendiğinde 70, 100 ve 150 epok çalışmalarının sonuçları görülmektedir. Bu eğrilerde F1 puanının en yüksek olduğu nokta güven değerini vermektedir. Her bir epokta ve testte F1 skor değeri en yüksek olan modelin F1 skoru ve güven değeri Çizelge 4.2’de verilmiştir. Şekil 4.2 ve Çizelge 4.2 birbirleriyle ilişkili görsel ve sayısal verilerdir. Çoğu durumda daha yüksek bir güven değeri arzu edilir. Örneğin %80 eğitim %20 test görüntüsünden oluşan 100 epok değerinde çalıştırılan YOLOv5s ele alındığında 0,980 F1 skor değeri için 0,431 güven değeri seçilmektedir. Fakat güven değeri yaklaşık olarak 0,60’lık güven değerinden itibaren ciddi bir F1 puan düşüşünü göstermektedir. Bundan dolayı güven değerinin 0,60 seçilmesi de uygun olabilmektedir. Yine aynı şekilde %70 eğitim %30 test görüntüsünden oluşan 100 epok değerinde çalıştırılan YOLOv5x ele alındığında 0,908 F1 skor değeri için 0,514 güven değeri seçilmektedir. Şekil 1’de ilgili grafik incelendiğinde 0,80 güven değerinden sonra F1 skor değeri maksimum değerinden ciddi orandan uzaklaşmaktadır. Bu durumdan ötürü bu model için güven değeri 0,80 olarak alınmasında hiçbir problem olmayacaktır. Yaklaşık 0,80 değerinden başlayarak duyarlılık değeri düşmeye başlar ve kesinlik değeri hala kabaca maksimum değerdedir. Karşılaştırılan modeller ele alınınca maksimum F1

puan değerini görüp ardından kısa bir süre sonra ciddi azalışa geçen modeller tercih edilmemelidir. %80 eğitim %20 test verisinden oluşan 70 epok çalıştırılan YOLOv5s bu duruma örnek olarak gösterilebilir. Diğer modellerde ise bu durum çok keskin bir şekilde görülmemektedir.

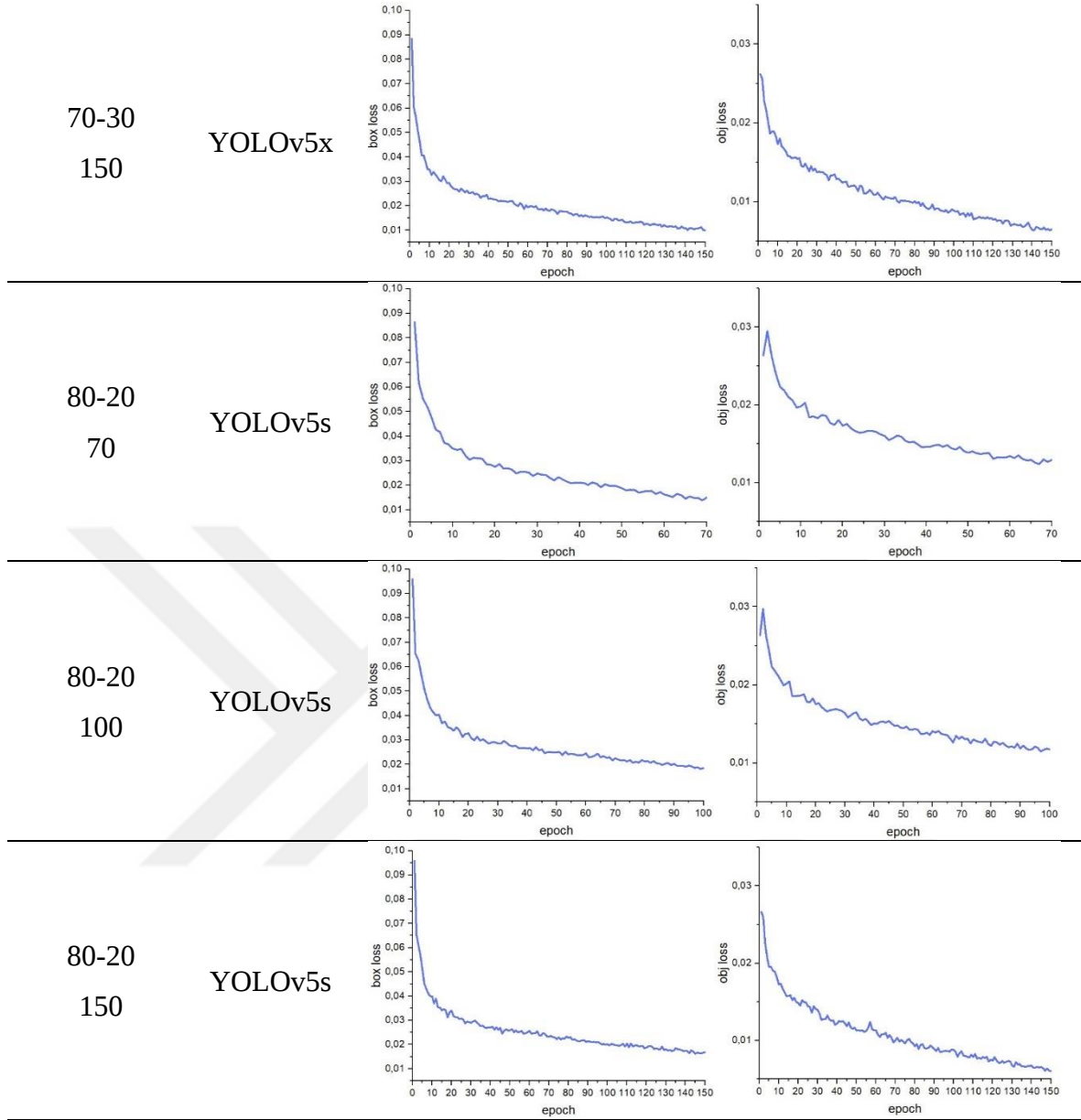
Çizelge 4.2 Her bir epok ta ve testte F1 skor değeri en yüksek olan modelin F1 skor değeri ve güven değeri

Eğitim – Test Oranı	Epok Sayısı	En Başarılı Model	F1 Skor	Güven Değeri
70-30	70	YOLOv5s	0,908	0,389
	100	YOLOv5x	0,908	0,514
	150	YOLOv5x	0,920	0,452
80-20	70	YOLOv5s	0,959	0,464
	100	YOLOv5s	0,980	0,431
	150	YOLOv5s	0,978	0,547

Eğitimde meydana gelen kayıplar model performansını etkileyen durumlardır. %70 eğitim %30 test ve %80 eğitim %20 test çalışmalarında 70, 100 ve 150 epok değerlerinde üstün olan YOLOv5 modelinin kutu ve nesne kayıpları Şekil 4.3’te verilmiştir.



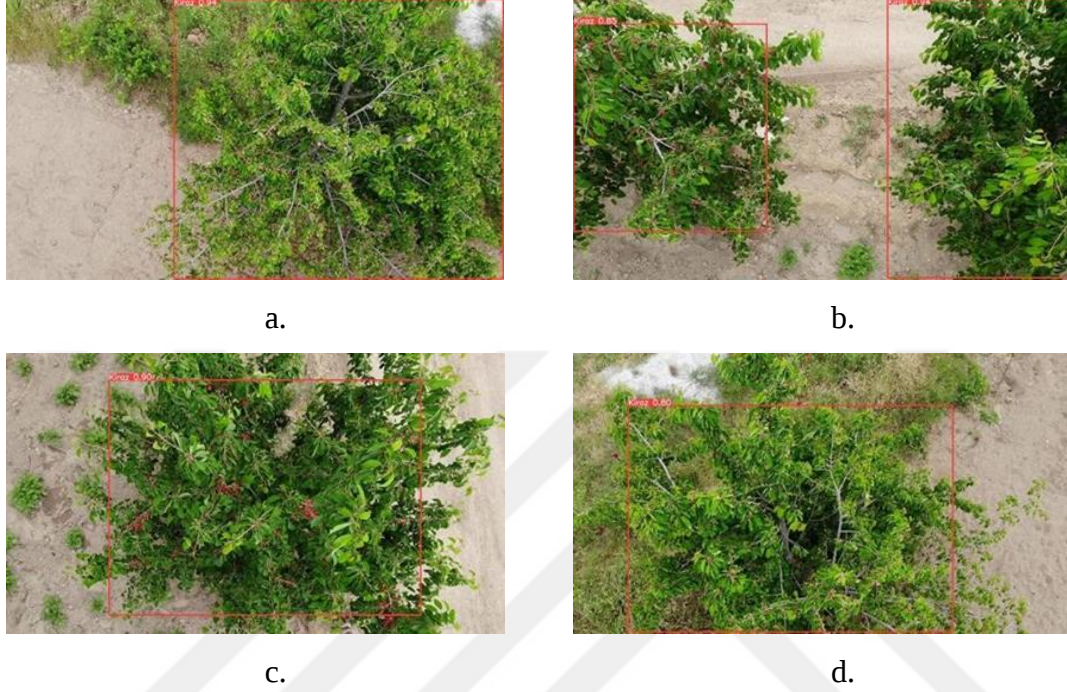
Şekil 4.3 YOLOv5 modellerinin farklı epok değerlerine göre kutu ve nesne kayıpları.



Şekil 4.3 (Devam) YOLOv5 modellerinin farklı epok değerlerine göre kutu ve nesne kayıpları.

Kutu kaybı, algoritmanın bir nesnenin merkezini ne kadar iyi bulabildiğini ve tahmin edilen sınırlayıcı kutunun bir nesneyi ne kadar iyi kapladığını gösterir. Nesnelik; esasen bir nesnenin önerilen bir ilgi bölgesinde var olma olasılığının bir ölçüsüdür. Nesnelik yüksekse bu görüntü penceresinin muhtemelen bir nesne içerdiği anlamına gelmektedir. Bu yüzden bu iki kaybın da düşük olması beklenmektedir. Şekil 4.3 incelendiğinde 70, 100 ve 150 epok değerlerinde çalıştırılan modeller başlangıçtan son epok değerlerine doğru azalarak devam etmiştir. Belirli noktalardan sonra azalış eğilimi sabitlenmeye dönmektedir. Şekil 4.3'te verilen modellerden %70 eğitim %30 test veri dağılımında 100 ve 150 epok çalıştırılan YOLOv5x modeli ve %70 eğitim %30 test veri dağılımında 150

epok çalıştırılan YOLOv5s modeli diğerlerine göre bir nebze daha iyi sonuç vermiştir. YOLOv5 versiyonlarının kiraz ağaçlarının tespitinde yüksek performans gösterdiği Resim 4.1 (a, b, c ve d) incelendiğinde görülmektedir.



Resim 4.1 (a, b, c, d) YOLOv5 modelleri ile tespit edilen bazı görüntüler.

Farklı zamanlarda ve farklı bölgelerden elde edilen ağaç görüntüleri ile eğitim gerçekleştirilmiştir. Eğitilmiş modeller eğitimde hiç kullanılmayan görüntüler ile test edilmiştir. Resim 4.1’de test sonucunda elde edilen görüntülerden bazıları verilmiştir. Drone kamerası tarafından çekilen görüntüler detaylı olarak incelendiğinde, yapay zekanın kiraz ağaçlarını dikdörtgen çerçeve içerisine aldığı görülmektedir. Ayrıca yapay zekanın tespit edebilme değerleri dikdörtgen çerçevenin içerisinde yer almaktadır. Şekil 4.4.a ve 4.4.b kirazların olmaya başladığı döneme aittir. Şekil 4.4.c kirazların olgunlaştığı dönemden alınan bir görüntüdür. Şekil 4.4.d ise kiraz meyveleri toplandıktan sonraki çekilen görüntüdür. Yapay zekâ sisteminin gerçek zamanlı yapılacak olan test aşamasında nasıl tepkiler vereceği deneysel çalışma aşamasında test edilmiştir. Modelin test edilmesi için veri seti içerisinde bulunmayan kiraz ağaçları Resim 4.2’te görüldüğü gibi anlık olarak kameraya gösterilerek modelin vereceği tepkiler gözlemlenmiştir ve bu testler sonucunda gerçek zamanlı çalışma aşamasına geçilmiştir.



Resim 4.2 Yapay zekâ sisteminin deneysel çalışma aşamasında testlerinin yapılması.

4.2 Gerçek Zamanlı Çalışma Sonuçları

Literatür incelemesi yapıldığında ağaçlara sıvı olarak püskürtme yöntemi ile ilaçların, sıvı gübrelerin ve farklı minerallerin uygulanabildiği anlaşılmaktadır. Bu bakış açısı ile yaklaşıldığında tasarlanan ilaçlama drone'u ile sıvı gübreleme ve sıvı haldeki farklı besin katkı maddelerinin de bitki ve ağaçlara yönelik uygulanabileceği görülmektedir. Deneysel çalışma ilaçlama konsepti üzerinden oluşturulmuştur ancak istenilirse gübreleme ve farklı besin türlerinin de ağaçlara uygulanması geliştirilen sistem ile rahatlıkla gerçekleştirilebilecektir. Kiraz ağacına yönelik uygulanması gereken ilaç miktarı belirlenirken ağacın yaşı ve meyve cinsinin karakteristik özelliği göz önünde bulundurularak miktarların belirlendiği gözlemlenmiştir. Kiraz meyvesi sert çekirdekli bir meyvedir. İlaçlama uygulamalarında sert çekirdekli meyve grubuna uygulanan ilaçlama yöntemlerinin kiraz ağaçları için de uygulandığı yapılan araştırmalar sonucunda anlaşılmıştır. Deneysel çalışmaların gerçekleştirildiği bahçedeki ağaçlar yaklaşık 3-5 yaş aralığına sahip olan ağaçlardan oluşmaktadır. Ağaçların yaşları da göz önünde bulundurulduğunda kiraz ağacı için uygulanacak ilaç su karışımı miktarının kullanılan ilacın su içerisindeki derişimine göre değiştiği görülmektedir (Balcı ve Durmuşoğlu 2011). Kiraz sineği ve kırmızı örümcek gibi zararlı organizmaların ilaçlanmasında kullanılan Spinosad marka ilacın üretici firmanın belirtmesi üzerine 100 litre suya 12,5 ml karıştırılması ile oluşturulabileceği ifade edilmektedir. Bu bilgiler ışığında 5 litre su içerisine 0,625 ml ilaç karıştırılarak bir ilaç karışımı oluşturulmuştur. Ortalama olarak 0,3 litre ile 0,5 litre ilaç karışımının ağaçlara uygulanmasının yeterli olacağı oluşturulan su ilaç karışımının konsantrasyonu göz önünde bulundurularak belirlenmiştir.

Ağaçlar için gerekli ilaçlamanın yapılması için gereken süre Denklem 4.4 ile bulunabilmektedir. Pompanın çalışma basıncı 0.35 MPa (Çizelge 3.6) olduğu için nozul akış oranı 0,6 l/dk olarak alınmıştır. Drone sisteminin içerisinde dört nozul bulunmaktadır. İlaçlanacak ağaçlar 3-5 yaş aralığına sahip ağaçlardan oluştuğundan dolayı istenilen ilaçlama miktarı 0,5 litre olarak belirlenmiştir.

$$\text{Toplam akış oranı} = \text{Nozul akış oranı} * \text{Nozul sayısı}$$

$$\text{Gerekli ilaçlama süresi} = \frac{\text{İstenilen litre} * 60s}{\text{Toplam akış oranı}} \quad (4.4)$$

Denklem 4.4 ile yapılan hesaplama incelendiğinde 0,35 MPa pompa basıncı 0,6 nozul akış oranı ve dört adet nozul için her ağaca 12,5 sn ilaçlama yapıldığında toplamda ağaç başına 0,5l ilaçlama yapılmaktadır. Deneysel uygulamalardaki ağaçlar 3-5 yaş aralığına sahip ağaçlardan oluşmaktadır. Bu yaş aralığındaki kiraz ağaçlarına 0,5 litre ilaç yeterli olduğu literatürde görülmüştür. Yaş olarak daha büyük ağaçların ilaçlanması istendiğinde ilaçlama süresinin artırılması gerekmektedir.

Gerçek zamanlı çalışma iki farklı şekilde gerçekleştirilmiştir. Bunlardan birincisi otonom olarak sürekli ilaçlama diğeri ise yapay zekâ tabanlı ilaçlamadır. İki farklı ilaçlama yöntemi için toplam ilaçlama süreleri, pompanın enerji kullanımı ve toplam uçuş süreleri incelenmiştir. Şekil 4.4 ile drone'un deneysel çalışmalarda izlemiş olduğu rota görülmektedir.

Yapay zekâ tabanlı ilaçlama ve otonom ilaçlama yönteminde pompanın tüketmiş olduğu enerji kullanımı Denklem 4.7 ile hesaplanmıştır. Drone sistemi içerisinde kullanılan pompanın gücü 60 W, Jetson Nano'nun gücü ise 5 W olduğu için hesaplama bu değerlere göre yapılmıştır. Yapay zekâ tabanlı ilaçlamada 2,65 Wh otonom ilaçlamada ise 4 Wh enerji kullanılmaktadır. Otonom uçuş yönteminde Jetson Nano geliştirme kiti devre dışı olduğu için hesaplama dahil edilmemiş olup yapay zekâ tabanlı uçuş yönteminde Jetson Nano geliştirme kiti kullanıldığı için hesaplama Jetson Nano geliştirme kitinin harcamış olduğu enerji de dahil edilmiştir.

$$\begin{aligned}
 \text{Otonom uçuş pompa enerji kullanımı} &= \frac{\text{Pompanın gücü} \times \text{Süre (dk)}}{60} \\
 \text{Yapay Z.tab.uçuş pompa enerji kul.} &= \text{Jetson N.enerji kul} + \text{Pompa Güç Tüket} \\
 \text{Jetson Nano enerji kullanımı} &= \frac{\text{Jetson nano güç} \times \text{Süre (dk)}}{60} \\
 \text{Pompa enerji kullanımı} &= \frac{\text{Pompanın gücü} \times \text{Süre (dk)}}{60}
 \end{aligned} \tag{4.7}$$

İlaçlama türü otonom ilaçlama ve yapay zekâ tabanlı ilaçlama yöntemi toplam ilaçlama süresi, pompa enerji kullanımı ve toplam uçuş süresi parametrelerinde karşılaştırılmış olup detaylı bilgi Çizelge 4.3'de görülmektedir.

Çizelge 4.3 İlaçlama Türlerinin Karşılaştırılması.

İlaçlama Türü	Toplam İlaçlama Süresi (Ağaç Başına 12,5 s)	Pompa Enerji Kullanımı (Wh)	Toplam Uçuş Süresi
Otonom İlaçlama (Pompa Sürekli Açık)	4 dk	4 Wh	4 dk
İlaçlama Türü	Toplam İlaçlama Süresi (Ağaç Başına 12,5 s)	Pompa + Jetson Nano Enerji Kullanımı (Wh)	Toplam Uçuş Süresi
Yapay Zekâ Tabanlı İlaçlama	1,87 dk	2,03 Wh	2,45 dk

Not: Deneysel Uygulamalar 9 Kiraz ve 6 Elma Ağacından oluşan bahçede yapılmıştır. Yapay zekâ tabanlı ilaçlamada 9 ağacın ilaçlandığı durum varsayılarak toplam ilaçlama süresi hesaplanmıştır.

Çizelge 4.3 incelendiğinde ilaçlama süresinin otonom ilaçlamada 4 dakika yapay zekâ tabanlı ilaçlamada ise 1,87 dakika olduğu bulunmuştur. Yapay zekâ tabanlı ilaçlama yönteminde kiraz ağaçlarının sınıflandırması sonucu ilaçlama yapıldığından dolayı sadece kiraz ağaçları ilaçlanmıştır. Otonom ilaçlama yönteminde herhangi bir sınıflandırma olmadan doğrudan ilaçlama yapıldığı için otonom ilaçlama yönteminde Denklem 4.8’de görüldüğü gibi %53 daha fazla ilaçlama süresi bulunmuştur.

$$\frac{\text{Otonom ilaç. süresi} - \text{Yapay zeka tab. ilaçlama süresi}}{\text{Otonom ilaçlama süresi}} \quad (4.8)$$

İlaçlama türlerinin karşılaştırmasında yapılan karşılaştırmalardan bir diğeri ise pompanın kullanmış olduğu enerjidir. Otonom ilaçlama yönteminde pompa toplamda 4 Wh yapay zekâ tabanlı ilaçlama yönteminde ise 2,03 Wh enerji harcamaktadır. Denklem 4.9 incelendiğinde otonom ilaçlama yönteminde pompanın yapay zekâ tabanlı ilaçlama yöntemine göre %50 daha fazla enerji sarfettiği görülmektedir.

$$\frac{\text{Otonom ilaç. pompa enerji kull.} - \text{Y. zeka tab. pompa enerji kullanımı}}{\text{Otonom ilaç. pompa enerji kullanım}} \quad (4.9)$$

5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Yapılan bu çalışma ile otonom ilaçlama (sürekli) ve yapay zekâ tabanlı ilaçlama arasındaki farklılıklar ortaya koyulmuştur. Yapay zekâ tabanlı ilaçlama yönteminde, yapay zekâ sisteminde kiraz ağaçlarının sınıflandırması yapıldığı için sistem sadece kiraz ağaçlarını tanımaktadır. Yapay zekâ tabanlı ilaçlama yönteminde püskürtme sistemi kiraz ağacını gördüğünde çalışmakta diğer durumlarda ise çalışmamaktadır. Bu nedenle yapay zekâ tabanlı ilaçlama sistemi kullanıldığında otonom ilaçlama sistemine göre %53 ilaç tasarrufu sağlamaktadır. Harcanan enerji açısından incelendiğinde yapay zekâ tabanlı ilaçlama ile otonom ilaçlamaya göre %50 daha az enerji harcanmış olduğu tespit edilmiştir. İlaçlama pompasının daha az çalışmasından ve uçuş süresinin daha kısa sürmesinden dolayı enerji daha verimli kullanılmıştır. Enerji açısından elde edilen tasarruf özellikle tekrarlı uygulamalarda ya da daha büyük alanların ilaçlanacağı durumlarda drone'un daha fazla havada kalmasına yönelik katkıda bulunacaktır.

Yapılan deneysel çalışmalarda yapay zekâ tabanlı drone sistemi dokuz kiraz ağacından üç tanesini tanımayarak ilaç püskürtme işlemini gerçekleştirmemiştir. Elma ağaçlarının bulunduğu koordinattan geçerken de ilaçlama sistemi çalışmamış ve elma ağaçlarına uygulanmamıştır. Bu ağacın tanımama durumu ağacın üzerine düşen gölge ve ışık konsantrasyonunun diğer ağaçlardan farklı olmasından kaynaklanmaktadır. Bu sorunun giderilmesi için veri setinin artırılması ve kiraz ağaçlarının resimlerinin farklı renk tonları ile verilerin çoğaltılarak tekrardan eğitim yapılması gerekmektedir.

İlerleyen bölümde yapay zekâ uygulamalarının tarım alanında kullanıldığı çalışmalar, drone sistemlerinin tarım alanında kullanıldığı çalışmalar ve yapay zekâ tabanlı drone sistemlerinin tarım alanında kullanıldığı çalışmalar incelenmiştir.

Teknolojinin gelişmesi ile hayatımıza giren yapay zekâ uygulamaları tarım alanında birçok uygulama ile karşımıza çıkmaktadır. Tarım alanında çok sayıda problemin çözümü için yapay zekâ sistemlerinden faydalanılabilmektedir. Örnek olarak elma ağaçlarında elma meyvesinin tespiti için (Kang ve Chen 2020) gerçekleştirmiş oldukları çalışmada LedNet modelini kullanarak %85 doğrulukta tespit yapmışlardır. Diğer bir çalışmada

kayısı meyvesi üzerindeki hastalık tespiti için Evrişimsel Sinir Ağı (ESA) modellerinden olan AlexNet, VGG16 ve VGG19 modelleri kullanılmıştır (Türkoğlu ve Hanbay 2018). Kayısı ağacındaki hastalığın tespiti için 960 görüntüden oluşan hastalıklı ağaç görüntüsü kullanılarak en yüksek doğruluk Vgg16 modeli ile gerçekleştirilmiştir. (Aksoy vd. 2020) Elma meyvesindeki hastalıkların tespiti için AlexNet, DenseNet-121, ResNet-34, VGG16-BN ve SqueezeNet1_0 mimarilerini kullanarak karışıklık matrisi sayesinde en iyi modelin duyarlılık, özgüllük, doğruluk ve F1-skor için sırasıyla %97,64, %99,54, %99,52, %98,62 değerleri ile ResNet-34 modeli olduğunu belirtmişlerdir. Yapay zekâ uygulamaları meyvelerin hastalık tespitinde kullanılabildiği gibi robotik uygulamalarda da kullanılabilmektedir. Elma ağacı üzerindeki elma meyvelerinin tespit edilerek hasat robotu tarafından toplanılması (Kuznetsova vd. 2020) tarafından YOLOv3 modeli kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Elma meyvesinin tespiti için 878 elmadan oluşan veri seti kullanılarak %91 doğruluk elde edilmiştir. Kiraz ağaçlarının gelişimini takip ederek ürün verimliliğini artırmak için yapılan çalışmalardan birisinde YOLOv4 ve YOLOv4-dense modeli kullanılmıştır (Gai vd. 2020). Yapılan çalışmada sırası ile %70 ve %85 doğruluk oranı elde edilmiştir.

Bu alanda yapılan çalışmalar incelendiğinde (Kang ve Chen 2020) LedNet mimarisi ile %85 doğruluk, (Aksoy vd. 2020) ResNet-34 mimarisi ile %98,62, (Gai vd. 2020) çalışmalarında YOLOv4 mimarisi ile %70 doğruluk YOLOv4-dense mimarisi ile %85 doğruluk elde etmişlerdir. Çalışmamızda diğer mimarilere göre hızlı ve doğruluğu yüksek olması nedeni ile YOLOv5 mimarisi tercih edilmiştir. Modelin eğitimi test edildiğinde %98 doğruluk elde edilmiştir. Diğer çalışmalara göre doğruluğunun yüksek olması nedeni ile tespit işlemi için YOLOv5 mimarisi kullanılabilir.

Drone sistemlerinin tarım alanında kullanıldığı çalışmalar incelendiğinde; drone'ların tarım alanında ilaçlama, gübreleme, görüntüleme ve haritalama amaçlı kullanıldıkları görülmüştür (Akkamış ve Çalışkan 2020). Tarım alanlarında ürünlerin veriminin artırılması için pestisit adı verilen kimyasal ilaçlar kullanılmak zorundadır. Tarımsal alanların ilaçlanması traktör ve insan kontrolünde ilaçlama yapılmaktadır. Çalışmalar incelendiğinde traktör ile ilaçlama yönteminde; traktörün tekerlek izi ile araziye zarar verdiği, insan kontrolünde yapılan ilaçlamada ise insan sağlığı büyük bir oranda olumsuz

bir şekilde etkilenmektedir (Ezin 2021). (Ay ve İnce 2015) yapmış olduğu çalışmada tarımsal alanların ilaçlanması için 10 litre ilaç kapasiteli Hexacopter gövde yapısına sahip ilaçlama drone üretmiştir. Drone ile yapılan ilaçlama yöntemi diğer ilaçlama yöntemlerine göre kıyaslandığında ilaçlama süresinin %63 daha kısa sürdüğü ve zamandan tasarruf edildiği görülmüştür. Drone sistemleri yüksekten uçabilmeleri, ilaçlama süresinin kısa sürmesi ve insan sağlığına herhangi bir olumsuz tehlike oluşturmadığı için tarım alanlarının ilaçlanmasında drone'lar kullanılabilir. (Uz 2019) yapmış olduğu çalışmada 500 ml ilaç taşıma kapasitesine ve 9 dakika uçuş süresine sahip ilaçlama drone sistemi geliştirmiştir. (Garre ve Harish 2018) tarımsal alanlarda ilaçlama amaçlı 5 litre ilaç kapasitesine sahip otonom uçuş yapabilen 1300 mm uzunluğunda Quadcopter drone geliştirmişlerdir. (Hussain vd. 2019) ağırlık taşıma uygulamalarında Hexacopter (altı motorlu) gövde modelini önermişlerdir ve üretmiş oldukları ilaçlama drone sisteminde altı motor kullanmışlardır. Drone sistemini farklı yükseklik ve farklı pompa basınç değerlerinde test ederek en uygun ilaçlama yönteminin %50 pompa basıncı ile 1,5-2 m yüksekliğinde yapılmasını önermişlerdir. Drone sistemleri içerisinde bulunan ilaç tankı sayesinde ilaçlama gerçekleştirilebildiği gibi gübreleme uygulaması da yapılabilir. Gübreleme işlemi katı halde yapılabilir gibi sıvı halde de yapılabilir. Yapılan çalışmalar incelendiğinde sıvı gübrenin de ilaç gibi püskürtülerek uygulanabildiği görülmüştür (Susitra vd. 2020). Bu çalışmada gübreleme amacı ile 1 kg yük taşıma kapasitesine ve 15 dakika uçuş süresine sahip Hexacopter drone geliştirilmiştir.

Bu alanda üretilen drone sistemli çalışmalar incelendiğinde (Ezin 2021) 10 litre ilaç kapasitesine sahip Hexacopter modeli, Uz (2019) 500 ml ilaç kapasitesine ve 9 dakika uçuş süresine sahip Hexacopter modeli, (Garre ve Harish 2018) 5 litre ilaç kapasiteli Quadcopter modeli, (Susitra vd. 2020) 1 kg yük taşıma kapasiteli ve 15 dakika uçuş süresine sahip Hexacopter modeli üretmişlerdir.

Çalışmamızda ilaçlama amaçlı 5 litre ilaç kapasitesine sahip 12 dakika uçuş gerçekleştirebilen Hexacopter modeline sahip drone sistemi üretilmiştir. Diğer çalışmalara göre yük miktarının ve uçuş süresinin fazla olması nedeni ile yapılan bu çalışma bir adım öne çıkmaktadır.

Yapay zekâ tabanlı drone sistemlerinin tarım alanında kullanıldığı çalışmalar incelendiğinde oldukça az sayıda çalışma olduğu görülmüştür. Yapılan çalışmalardan birisinde, dolma biber sebzesinin bir drone tarafından ilaçlanması amacı ile YOLOv3 mimarisi kullanılmış olup sistem gerçek zamanlı olarak Raspberry Pi bilgisayarında test edilmiştir. Yapılan test sonuçlarında sistemin ilaçlama drone sistemlerine entegre edilerek kamera sayesinde gerçek zamanlı olarak dolma biber sebzelerinin tespit edilerek ilaçlanabileceğini savunmuştur (Prakash vd. 2018). (Khan vd. 2020) İlaçlama drone sistemlerinin kullanılması sayesinde hassas tarımda ilerleme yaşanacağını ve kimyasal ilaç yönünden tasarruf edileceğini savunmuşlardır. Çalışmalarında drone sistemi tarafından ilaçlama yapılacak püskürtme alanlarının tespitinin yapılması için Faster R-CNN modeli kullanmışlardır. Geliştirdikleri model ekinler ve meyve bahçeleri için sırası ile %87 ve %88 doğruluk göstermiştir. Çalışmalarında kullanılan modelin püskürtme amaçlı İHA'larda kullanılabileceğini belirtmişlerdir. Bir diğer çalışmada çam ağaçlarının çam solgunluğu adında bir hastalığa yakalandığını, bu hastalığın bulaşıcı olup diğer ağaçlara da bulaşabildiğini belirtilmiştir (Deng vd. 2020). Hastalıklı ağaçların tespiti Faster R-CNN modeli ile yapılarak ağaçların koordinatları belirlenebilmektedir. Geliştirilen mimari hastalıklı ağaçların tespiti için optimizasyon kullanılmış olup %90 doğruluk değerine sahiptir. Koordinatların belirlenmesi sonucunda drone ile uzaktan gözlem yapılabileceğini savunmuşlardır.

Bu alanda yapılan çalışmalar incelendiğinde, tarım alanında herhangi bir nesnenin noktasal olarak ilaçlanması için yapay zekâ tabanlı üretilen drone sistemlerine ait herhangi bir çalışma bulunmamaktadır. Literatürdeki çalışmalar genel olarak yapay zekâ sistemlerinin drone sistemlerine entegre edilebileceği nitelikte olan çalışmalardır. Çalışmamızda kiraz ağaçlarının noktasal olarak ilaçlanması amacı ile yapay zekâ tabanlı ilaçlama drone'u üretilmiştir. Üretilen drone sistemi yapay zekâ tabanlı olması sayesinde daha az ilaç ve daha az enerji kullanarak ilaçlama işlemlerini gerçekleştirebilmektedir. Bu açıdan incelendiğinde yapılan çalışmanın diğer çalışmalara göre özgün ve yenilikçi bir çalışma olduğu anlaşılmaktadır.

Günümüzde dünya nüfusunun artmasına rağmen tarımsal arazilerde azalma yaşanmaktadır. İnsanoğlunun temel besin ihtiyacı tarım arazilerinden karşılandığı için

tarımsal arazilerden alınan ürün miktarının artırılması gerekmektedir. Tarım alanından alınacak olan ürünün kalitesinin ve miktarının artırılması için kimyasal ilaçların kullanılması gerekmektedir. Kimyasal ilaç püskürtmek için traktör ile ilaçlama, sırt çantası ile ilaçlama ve drone ile ilaçlama yöntemleri kullanılmaktadır. Traktör ile ilaçlama yönteminde traktör arazinin içerisine girmek zorunda olduğundan dolayı arazide tekerlek izi bırakmakta ve ürüne zarar vermektedir. Sırt çantası ile insan kontrolünde yapılan ilaçlama yönteminde kullanılan kimyasal ilaçlar insan sağlığını olumsuz etkilemektedir. Drone teknolojileri yüksekten uçabilmeleri, homojen ilaçlama yapılabilmesi ve ilaçlama süresinin daha kısa sürmesi avantajları ile ilaçlama uygulamalarında bir adım öne çıkmıştır. Bu çalışmada kiraz ağaçlarının yapay zekâ desteği ile otonom olarak ilaçlanabilmesi için 5 litre ilaçlama ve 12 dakika uçuş kapasitesine sahip altı motorlu (Hexacopter) drone sistemi üretilmiştir.

Drone'un tasarımı SOLIDWORKS programında modellenmiştir. Tasarım sonrasında üretim aşamasına geçilmeden önce ANSYS analiz programı ile üretim sonrasında karşılaşılabilecek sorunların önüne geçerek maliyetin düşürülmesi sağlanmıştır. Drone'un analizleri için modal ve statik analiz yöntemleri kullanılmıştır. Modal analiz diğer bir ismi ile titreşim analizi olarak geçmektedir. Gövde üzerinde motorun oluşturduğu titreşimler incelendiğinde drone'un gövde yapısına 45 Hz-58 Hz aralığında farklı frekanslar uygulanarak gövdenin vermiş olduğu tepkiler gözlemlenmiştir. Statik analiz yöntemi ile mekanik bileşenler üzerindeki hasar kriterleri, emniyet katsayısı ve gerilim faktörleri incelenebilmektedir. Test sırasında mekanik bileşenlere drone'un kalkış ağırlığı olan 12 kg yükün üç katı ($36 \text{ kg} = 353,16 \text{ N}$) kuvvet -Z yönünde uygulanmıştır. Bu sayede drone'un zorlu şartlar altındaki dayanımı test edilmiştir. Yapılan statik analiz ile mekanik bileşenler üzerinde 24,77 MPa gerilme yaşanmıştır. Gerilmeler drone gövdesinde sadece orta ve üst plakada gerçekleşmiştir. Emniyet katsayısı karbonfiber malzemesinin akma mukavemeti olan 250 MPa gerilme oranına bölünmesi ile 10,092 MPa olarak bulunmuştur. Bu değerlerden de anlaşılabileceği üzere drone'un mekanik yapısı mevcut ağırlığın yaklaşık 10 katı (120 kg) büyüklüğüne dayanabileceği anlaşılmaktadır. Yapılan analizler sonucunda drone'un mekanik yapısında herhangi olumsuz bir yapı görülmemiş olup mekanik gövdenin üretim aşamasına geçilmiştir. Drone'un gövdesinde sağlam ve hafif olması sebebi ile karbonfiber plakalar kullanılmıştır. Karbon plakaların

kesilmesi CNC Router yardımı ile belirlenen çizimlere göre yapılmıştır. Drone'un kolları için 25 mm karbonfiber borular kullanılmıştır. Gövdenin üretimi sonrasında elektronik sistem gövde üzerine monte edilerek test aşamalarına geçilmiştir.

Yapay zekâ sisteminin çalıştırılabilmesi için YOLOv5 mimarisi kullanılmıştır. Mimarinin gerçek zamanlı olarak çalıştırılabilmesi amacı ile NVIDIA Jetson Nano geliştirme kiti tercih edilmiştir. Mimarinin oluşturulması için veri setinin hazırlanması ve eğitim işleminin uygulanması gerekmektedir. Veri setinin hazırlanması için Afyonkarahisar bölgesinde bulunan kiraz ağaçlarına ait toplam 3500 görüntüden oluşan veri seti oluşturulmuştur. Verilerin toplanması DJI Mavic Air drone ile tarafımızca yapılmıştır. Veri setinde bulunan görüntülerin mimarinin oluşturulması için uygun forma dönüştürülmesi gerekmektedir. Bu sebeple makesense etiketleme platformu ile görüntüler tek tek etiketlenerek mimariye uygun forma dönüştürülmüştür. Verilerin etiketlenmesi sonrasında model eğitim ve test aşamasına hazır hale getirilmiştir. Oluşturulan mimarinin eğitimi Intel(R) Core (TM) i7-10700 CPU, 2,90 GHz, 128 GB Ram, NVIDIA GeForce RTX 3080 özelliklerinde donanıma sahip bilgisayar ile Visual Studio Code ortamında gerçekleştirilmiştir. Mimarinin eğitimi sonrasında test amaçları değişken eğitim-test oranına ve epok sayılarına göre karşılaştırılacağından dolayı görüntüler %80 eğitim %20 test ve %70 eğitim ve %30 test olacak şekilde iki farklı oranda bölünmüştür. Aynı şekilde epok sayıları 70, 100 ve 150'den olacak şekilde ayarlanmıştır ve farklı kombinasyonlarda eğitim gerçekleştirilmiştir. Oluşturulan YOLOv5 mimarileri (YOLOv5s, YOLOv5m ve YOLOv5l) kesinlik, duyarlılık ve F1 skorları ile test edildiğinde en yüksek değerleri YOLOv5s modeli sırası ile 0,983, 0,978 ve 0,980 değerleri elde edilmiştir.

Yapılan bu çalışmada kiraz ağaçlarının ilaçlanması için iki farklı yöntem kullanılmıştır. Bunlar otonom ilaçlama ve yapay zekâ tabanlı ilaçlama yöntemleridir. Otonom ilaçlama yönteminde drone'un yükselmesi ile püskürtme pompası ilaçlama işlemine başlamaktadır. Yapay zekâ tabanlı ilaçlama yönteminde ise püskürtme pompası sadece kiraz ağaçları tespit edildiği anda gerçekleşmektedir. Bu sayede gereksiz ilaç kullanımının önüne geçilmektedir. Aynı zamanda pompa daha az çalıştığı için bataryadan çekilen kapasite değeri daha az olduğu için drone'un uçuş süresi daha uzundur.

Gerçekleştirilen test çalışmalarındaki ağaç yapıları 3-5 yaş aralığında olduğu için ağaç başına ortalama 0,5 litre ilaç püskürtülmesi gerçekleştirilmiştir. Drone sistemi 5 litre ilaç kapasitesine sahip olduğu için tek seferde 10 ağacın ilaçlaması gerçekleştirilebilmektedir. Gerçek zamanlı yapılan test çalışmalarında kullanılan tarım arazisi içerisinde 9 kiraz 6 elma ağacından oluşan toplam 15 ağaç bulunmaktadır. Yapay zekâ sisteminin testleri gerçek zamanlı olarak yapıldığında üç kiraz ağacının kiraz ağacı olarak algılanmadığı tespit edilmiştir. Bu problem ağacın üzerine düşen gölge ve ışık konsantrasyonunun eğitim amaçlı kullanılan veri setinde ki görüntülerden farklı olmasından kaynaklanmaktadır. Uygulanan testlerde %66 doğrulukta kiraz ağaçlarının tespit işlemi gerçekleştirilerek kiraz ağaçlarının ilaçlaması yapılmıştır. Yapay zekâ tabanlı ilaçlama yönteminde sadece kiraz ağaçlarının tespit edilmesi durumunda ilaçlama gerçekleştiği için yaklaşık %53 daha az ilaç ve %50 daha az enerji kullanımı ile ilaçlama işlemi başarı ile gerçekleştirilmiştir.

6. KAYNAKLAR

- Ahmad T, Ma Y, Yahya M, Ahmad B, Nazir S, Haq A U, 2020, Object Detection Through Modified YOLO Neural Network, Scientific Programming, Article number 8403262.
- Akkamış M, Çalışkan S, 2020, İnsansız Hava Araçları ve Tarımsal Uygulamalarda Kullanımı, Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi, 2, 8–16.
- Aksoy B, Halis H D, Salman O K M, 2020, Elma Bitkisindeki Hastalıkların Yapay Zekâ Yöntemleri ile Tespiti ve Yapay Zekâ Yöntemlerinin Performanslarının Karşılaştırılması, International Journal of Engineering and Innovative Research, 2, 194–210.
- Aktaş A, Doğan B, Demir Ö, 2020, Derin öğrenme yöntemleri ile dokunsal parke yüzeyi tespiti, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 35, 1685–1700.
- Alaserhat İ, Canbay A, Tuncer S, Albayrak S, Bozbek Ö, Alıcı H, 2021, Kiraz ve vişnelerde Rhagoletis cerasi L. (Diptera: Tephritidae)’nin popülasyon yoğunluğu ile bitki fenolojisi arasındaki ilişkilerin belirlenmesi, Akademik Ziraat Dergisi, 10, 37–46.
- Aslan M, 2021, Derin Öğrenme ile Şeftali Hastalıklarının Tespiti, Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, 23, 540–546.
- Ay F, İnce G, 2015, Application of Pesticide Using Unmanned Aerial Vehicle, 23rd Signal Processing and Communications Applications Conference, 16-19 May, Malatya, Turkey, Article number 1522611.
- Ay F, İnce G, 2015, İnsansız Hava Aracı ile Tarımsal İlaçlama, IEEE, 1268–1271.
- Balcı H, Durmuşoğlu E, 2011, Organik kiraz yetiştiriciliğinde Rhagoletis cerasi Linnaeus, 1758 (Diptera: Tephritidae)’ye karşı spinosad ve kaolinin etkisi üzerine ön araştırmalar, Türk. Entomol. Bült., 1, 9–18.
- Castelluccio M, Poggi G, Sansone C, Verdoliva L, 2015, Land Use Classification in Remote Sensing Images by Convolutional Neural Networks, arXiv, Article number 1508.00092.

- Cengiz E, 2020, Yapay Zekâ Tabanlı Drone Optimizasyonu, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 62s, Ankara.
- Chandan G, Jain A, Jain H, Mohana, 2018, Real Time Object Detection and Tracking Using Deep Learning and OpenCV, International Conference on Inventive Research in Computing Applications (ICIRCA), 11-12 July, Coimbatore, India, Article number 18357982.
- Chen C C, Huang Y Y, Li Y S, Chen Y C, Chang C Y, Huang Y M, 2021, Identification of fruit tree pests with deep learning on embedded drone to achieve accurate pesticide spraying, IEEE Access, 9, 21986–21997.
- Cömert O, Hekim M, Adem K, 2019, Faster R-CNN Kullanarak Elmalarda Çürük Tespiti, Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi, 11, 335–341.
- Çağıl G, Yıldırım B, 2020, Bir Montaj Parçasının Derin Öğrenme ve Görüntü İşleme ile Tespiti, Zeki Sistemler Teori ve Uygulamaları Dergisi, 3, 31–37.
- Deng X, Tong Z, Lan Y, Huang Z, 2020, Detection and Location of Dead Trees with Pine Wilt Disease Based on Deep Learning and UAV Remote Sensing, AgriEngineering, 2, 294–207.
- Du J, 2018, Understanding of Object Detection Based on CNN Family and YOLO, Journal of Physics: Conference Series, 23–25 February, Hong Kong, Article number 012029.
- Dutta G, 2020, Application of drone in agriculture: A review, International Journal of Chemical Studies, 8, 181–187.
- Ezin S, 2021, Bağ İlaçlama Uygulamaları için Bir Drone Tasarımı, İmalatı ve Performansının Belirlenmesi, Dicle Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 55s, Diyarbakır.
- Façal B S, Costa F G, Pessin G, Ueyama J, Freitas H, Colombo A, vd., 2014, The use of unmanned aerial vehicles and wireless sensor networks for spraying pesticides, Journal of Systems Architecture, 60, 393–404.
- Gai R, Chen N, Yuan H, 2021, A detection algorithm for cherry fruits based on the improved YOLO-v4 model, Neural Computing and Applications, 1–12.

- Garre P, Harish A, 2018, Autonomous Agricultural Pesticide Spraying UAV, Materials Science and Engineering, 12–15.
- Gelen A, Tüfekcioğlu E, 2020, Lityum-Polimer Piller için Şarj ve Dengeleyici Devre Tasarımı, Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 13, 839–846.
- Gerçekcioğlu R, Soylu A, Bilgener Ş, 2018, Genel Meyvecilik Meyve Yetiştiriciliğinin Esasları, Nobel Yayınları, 368, Ankara.
- Gül S, Güzey Y Z, Yıldırım H, Keskin M, 2021, Eye of the farmer in the sky:Drones, Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi, 3, 69–77.
- Güldal H T, Özçelik A, 2022, Tarım İşletmelerinin Sermaye Yapılarının Akıllı Tarıma Uygunluğunun Değerlendirilmesi, Tarım Ekonomisi Dergisi, 28, 1–11.
- Günaydın G, 2009, Tarımda Teknoloji Kullanımı ve Bilişimi, Ekonomik Yaklaşım, 20, 89–108.
- Huang Y, Hoffmann W C, Lan Y, Wu W, Fritz B K, 2009, Development of a Spray System for an Unmanned Aerial Vehicle Platform, Applied Engineering in Agriculture, 25, 803–809.
- Hussain S, Cheema M J M, Arshad M, Ahmad A, Latif M A, Ashraf S, vd., 2019, Spray uniformity testing of unmanned aerial spraying system for precise agro-chemical applications, Pakistan Journal of Agricultural Research, 56(4), 897–903.
- İnan M, Karcı A, 2021, Tarımda Ağaç İlaçlamanın Drone’larla Yapılmasında Yeni Bir Yöntemin Geliştirilmesi ve Uygulanması, Anatolian Journal of Computer Sciences, 6, 72–89.
- Kahveci M, Can N, 2017, İnsansız Hava Araçları: Tarihçesi, Tanımı, Dünyada ve Türkiye'deki Yasal Durumu, Selçuk Üniversitesi Mühendislik Bilim ve Teknoloji Dergisi, 5, 511–535.
- Kang H, Chen C, 2020, Fast implementation of real-time fruit detection in apple orchards using deep learning, Computers and Electronics in Agriculture, 1–10.
- Kaplan M, 2019, Diyarbakır İli Bazı Kiraz Bahçelerinde Bulunan Zararlı ve Faydalı Böcek Türleri ile Bazı Önemli Zararlı Türlerin Doğada Görülme Zamanı, Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, 17, 283–289.

- Karaali C, Yıldırım Ö, 1996, Global Konum Belirleme Sistemi (GPS), Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 2, 103–108.
- Kasap İ, Kök Ş, 2019, Bazı Bitki Ekstraktlarının İki Noktalı Kırmızı örümcek, *Tetranychus urticae* Koch Üzerine İnsektisit Etkisinin Belirlenmesi, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 7, 137–144.
- Khan S, Tufail M, Khan M T, Khan Z A, Anwar S, 2021, Deep-learning-based spraying area recognition system for unmanned-aerial-vehicle-based sprayers, *Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences*, 29, 241–256.
- Kim J, Son H I, 2020, A Voronoi Diagram-Based Workspace Partition for Weak Cooperation of Multi-Robot System in Orchard, *IEEE Access*, 8, 20676–20686.
- Kim S, Park S, Na B, Yoon, 2020, Spiking-YOLO: Spiking Neural Network for Energy-Efficient Object Detection, *The Thirty-Fourth AAAI Conference on Artificial Intelligence (AAAI-20)*, 34, 11270–11277.
- Kislaya A, Goutam R, 2019, An Autonomous UAV for Pesticide Spraying, *International Journal of Trend in Scientific Research and Development*, 3, 986–990.
- Kurkute S R, Deore B D, Kasar P, Bhamare M, Sahane M, 2018, Drones for Smart Agriculture: A Technical Report, *International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology (IJRASET)*, 6, 341–346.
- Kuznetsova A, Maleva T, Soloviev V, 2020, Using YOLOv3 Algorithm with Pre- and Post-Processing for Apple Detection in Fruit-Harvesting Robot, *Agronomy*, 10, 1–19.
- Li J, Gu J, Huan Z, Wen J, 2019, Application Research of Improved YOLO V3 Algorithm in PCB Electronic Component Detection, *Applied Sciences*, <https://doi.org/10.3390/app9183750>.
- Liu M, Wang X, Zhou A, Fu X, Ma Y, Piao C, 2020, UAV-YOLO: Small Object Detection on Unmanned Aerial Vehicle Perspective, *Sensors*, <https://doi.org/10.3390/s20082238>.

- Long X, Deng K, Wang G, Zhang Y, Dang Q, Gao Y, vd., 2020, PP-YOLO: An Effective and Efficient Implementation of Object Detector, arXiv preprint arXiv:2007.12099, <https://doi.org/10.48550/arXiv.2007.12099>.
- Mazzia V, Comba L, Khaliq A, Chiaberge M, Gay P, 2020, UAV and Machine Learning Based Refinement of a Satellite-Driven Vegetation Index for Precision Agriculture, *Sensors*, <https://doi.org/10.3390/s20092530>.
- Melek C G, Sönmez E B, Albayrak S, 2019, Object Detection in Shelf Images with YOLO, *IEEE EUROCON 2019 -18th International Conference on Smart Technologies*, 01-04 July, Novi Sad, Serbia, 1-5.
- Mittal N, Vaidya A, Kapoor S, 2019, Object Detection and Classification Using Yolo, *International Journal of Scientific Research & Engineering Trends*, 5, 562–565.
- Mogili U M R, Deepak B B V L 2018, Review on Application of Drone Systems in Precision Agriculture, *Procedia Computer Science*, 133, 502–509.
- Nguyen D T, Nguyen T N, Kim H, Lee H, 2019, A High-Throughput and Power-Efficient FPGA Implementation of YOLO CNN for Object Detection, *IEEE Transactions on Very Large Scale Integration (VLSI) Systems*, 27, 1861–1873.
- Nivas R, Naveen T, Venkat T C, Rudra T K K, 2020, Automatic Spraying Of Fertilizers/Pesticides Using Drone, *Iconic Research And Engineering Journals*, 3, 124–129.
- Oğul B, 2022, Tarımsal Destekler ve Tarımsal Üretim İlişkisi: Türkiye Ekonomisi Üzerine Ampirik Bulgular, *TEAD*, 8, 44–56.
- Özgüven M M, Közkurt C, 2021, Tarım Robotları ve Akıllı Tarım Makineleri, *International Symposium of Scientific Research and Innovative Studies*, 3, 81–85.
- Özgüven M M, 2018, Hassas Tarım, *Akfon Yayınları*, 312, Ankara.
- Özgüven M M, Altaş Z, Güven D, Çam A, 2022, Tarımda Drone Kullanımı ve Geleceği, *Ordu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 12, 64–83.
- Partel V, Kakarla S C, Ampatzidis Y, 2019, Development and evaluation of a low-cost and smart technology for precision weed management utilizing artificial intelligence, *Computers and electronics in agriculture*, 157, 339–350.

- Peng Q, Luo W, Hong G, Feng M, Xia Y, Yu L, vd., 2016, Pedestrian Detection for Transformer Substation Based on Gaussian Mixture Model and YOLO, 2016 8th International Conference on Intelligent Human-Machine Systems and Cybernetics (IHMSC), 2, 562–565.
- Pharne I D, Kanase S, Patwegar S, Patil P, Por, A, Kadam Y, 2018, Agriculture Drone Sprayer, International Journal of Recent Trends in Engineering & Research (IJRTER), 4, 181–185.
- Prasad V, Jha V, Parveen M, Nandan A, Sahil M D, De M, 2018, Intelligence Agriculture Drone System, International Journal of Recent Innovation in Automobile and Agricultural Engineering 1, 22–28.
- Sali G, 2012, Agricultural Land Consumption in Developed Countries, International Association of Agricultural Economists (IAAE) Triennial Conference, 18-24 August, Foz do Iguaçu, Brazil.
- Saygılı Z, Özmen G, 2022, İnsansız Hava Araçları Sürülerinin Akıllı Hedef Tespit Yöntemi, Five Zero, 2, 13–27.
- Spoorthi S, Shadaksharapp, B, Suraj S, Manasa V K, 2017, Freyr drone: Pesticide/fertilizers spraying drone-an agricultural approach, In 2017 2nd International Conference on Computing and Communications Technologies (ICCCT), 23–24 February, Chennai, India, 252–255.
- Hussain S, Cheema M J M, Arshad M, Ahmad A, Latif M A, Ashraf S, vd., 2019, Spray Uniformity Testing of Unmanned Aerial Spraying System for precise Agro-Chemical Applications, Pak. J. Agri. Sci., 56, 897–903.
- Suryawanshi V K, Ashok J, Rajmane S A, Mali S S, 2019, Design & Development of Agricultural Fertilizer Spraying Drone with Remote Controller and Autonomous Control with low weight Aluminium Alloy frame Structure, J. Remote Sens. GIS Techno., 5, 1–8.
- Susitra D, Jebaseeli E A E, Chitturi V K, Chadalavada V, 2020, Design and development of an Hexacopter for fertilizer spraying in agriculture fields, First International Conference on Advances in Physical Sciences and Materials, 13–14 August, Coimbatore, India.

- Tian Y, Yang G, Wang Z, Wang H, Li E, Liang Z, 2019, Apple detection during different growth stages in orchards using the improved YOLO-V3 model, *Computers and Electronics in Agriculture*, 157, 417–426.
- Tiryaki H, Çağışlar A S, Akgündoğdu A, Kocaarslan İ, 2016, Elektrikli Araçlar İçin Fırçasız Doğru Akım Motorlarında Değiştirilebilir Manyetik Alan Uygulaması, *Kırıkkale Üniversitesi Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi*, 8, 37–45.
- Toraman S, 2018, Derin Öğrenme ile İnsansız Hava Aracı Görüntülerinden Yaya Tespiti, *Journal of Aviation*, 2, 64–69.
- Türkoğlu M, Hanbay D, 2018, Apricot Disease Identification based on Attributes Obtained from Deep Learning Algorithms, 2018 International Conference on Artificial Intelligence and Data Processing (IDAP), 28–30 September, Malatya, Turkey, 1–4.
- Türkoğlu M, Hanbay K, Sivrikaya I S, Hanbay D, 2020, Derin Evrimsel Sinir Ağı Kullanarak Kayısı Hastalıklarının Sınıflandırılması, *BEÜ Fen Bilimleri Dergisi*, 9, 334–345.
- Unakıtan G, Hurma H, Makaracı Z, Başaran B, Abdikoğlu D İ, Sağır F S, 2016, Trakya Bölgesinde Kiraz Üretiminin Ekonomik Analizi, *Namık Kemal Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi*, Proje No: NKUBAP.00.24.AR.13.07, 67.
- Uz U, 2019, Hexacopter Yapısında Bir İnsansız Hava Aracı ile Elektronik İlaçlama/Sulama Sisteminin Oluşturulması, *İstanbul Gelişim Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, 85s, İstanbul.
- Uzun Y, Bilban M, Arıkan H, 2018, Tarım ve Kırsal Kalkınmada Yapay Zekâ Kullanımı, VI. KOP Bölgesel Kalkınma Sempozyumu-KOPBKS, 26-28 Ekim, Konya, 1–6.
- Vandana C P, Prakash A, Bhowal A, Taj M, 2020, Drone Assisted Effective Pesticide Sprayer, *International Journal of Scientific Research in Computer Science, Engineering and Information Technology*, 363–370.
- Wang S, Li Y, Yuan, Song, L, Liu X, Liu X, 2020, Recognition of cotton growth period for precise spraying based on convolution neural network, *Information Processing in Agriculture*, 8, 219–231.

- Wu K, Bai C, Wang D, Liu Z, Huang T, Zheng H, 2021, Improved object detection algorithm of yolov3 remote sensing image, IEEE Access, 9, 113899–113900.
- Yavaş M, 2019, Paralelleştirilmiş Sistemlerde Görüntü İşleme Performans Analizi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 73s, Isparta.
- Zhang D, Wang X, Song X, 2015, New Medical Image Fusion Approach with Coding Based on SCDin Wireless Sensor Network, J Electr Eng Technol, 10, 2384–2392.
- Zhang Z, Lu X, Cao G, Yang Y, Jiao L, Liu F, 2021, ViT-YOLO:Transformer-Based YOLO for Object Detection, 2021 IEEE/CVF International Conference on Computer Vision Workshops (ICCVW), 2799–2808.

İnternet Kaynakları

1. <https://arastirma.tarimorman.gov.tr/tepge/Belgeler/PDF%20Tarim%20Ürünleri%20Piyasaları/2021-Ocak%20Tarim%20Ürünleri%20Raporu/Kiraz,%20Ocak%202021,%20Tarim%20Ürünleri%20Piyasa%20Raporu--.pdf/>, 27.08.2022

EKLER

EK 1. Dronekit ile drone arasındaki haberleşme için temel kod yapısı.

```
from dronekit import connect

# Connect to UDP endpoint.
vehicle = connect('127.0.0.1:14550', wait_ready=True)
# Use returned Vehicle object to query device state - e.g. to get the mode:
print("Mode: %s" % vehicle.mode.name)
```



EK 2. Drone'un yüksekliğinin istenilen değere ayarlanması için gerekli kod yapısı.

```
def arm_and_takeoff(aTargetAltitude):
    """
    Arms vehicle and fly to aTargetAltitude.
    """

    print("Basic pre-arm checks")
    # Don't try to arm until autopilot is ready
    while not vehicle.is_armable:
        print(" Waiting for vehicle to initialise...")
        time.sleep(1)

    print("Arming motors")
    # Copter should arm in GUIDED mode
    vehicle.mode = VehicleMode("GUIDED")
    vehicle.armed = True

    # Confirm vehicle armed before attempting to take off
    while not vehicle.armed:
        print(" Waiting for arming...")
        time.sleep(1)

    print("Taking off!")
    vehicle.simple_takeoff(aTargetAltitude) # Take off to target altitude

    # Wait until the vehicle reaches a safe height before processing the goto
    # (otherwise the command after Vehicle.simple_takeoff will execute
    # immediately).
    while True:
        print(" Altitude: ", vehicle.location.global_relative_frame.alt)
        # Break and return from function just below target altitude.
        if vehicle.location.global_relative_frame.alt >= aTargetAltitude * 0.95:
            print("Reached target altitude")
            break
        time.sleep(1)

arm_and_takeoff(10)
```

EK 3. Drone'un noktasal olarak ilerleyebilmesi için gerekli kod yapısı.

```
arm_and_takeoff(10)

print("Set default/target airspeed to 3")
vehicle.airspeed = 3

print("Going towards first point for 30 seconds ...")
point1 = LocationGlobalRelative(-35.361354, 149.165218, 20)
vehicle.simple_goto(point1)

# sleep so we can see the change in map
time.sleep(30)

print("Going towards second point for 30 seconds (groundspeed set to 10 m/s) ...")
point2 = LocationGlobalRelative(-35.363244, 149.168801, 20)
vehicle.simple_goto(point2, groundspeed=10)

# sleep so we can see the change in map
time.sleep(30)

print("Returning to Launch")
vehicle.mode = VehicleMode("RTL")

# Close vehicle object before exiting script
print("Close vehicle object")
vehicle.close()
```

EK 4. YOLOV5 Gerekli Kütüphanelerin Listesi

matplotlib>=3.2.2	# onnx>=1.9.0
numpy>=1.18.5	# onnx-simplifier>=0.4.1
opencv-python>=4.1.1	# nvidia-pyindex
Pillow>=7.1.2	# nvidia-tensorrt
PyYAML>=5.3.1	# scikit-learn<=1.1.2
requests>=2.23.0	# tensorflow>=2.4.1
scipy>=1.4.1	# tensorflowjs>=3.9.0
torch>=1.7.0	# opencvino-dev
torchvision>=0.8.1	ipython
tqdm>=4.64.0	psutil
# protobuf<=3.20.1	thop>=0.1.1
tensorboard>=2.4.1	# albumentations>=1.0.3
pandas>=1.1.4	# pycocotools>=2.0
seaborn>=0.11.0	# roboflow
# coremltools>=6.0	
