

T.C.
BANDIRMA ONYEDİ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TARIMDA VE İLAÇLAMADA DRONE VE PÜSKÜRTME SİSTEMLERİ
UYGULAMALARI

YETİŞ ÜNAL

Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Mekatronik Mühendisliği Programı

AĞUSTOS 2024

T.C.
BANDIRMA ONYEDİ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TARIMDA VE İLAÇLAMADA DRONE VE PÜSKÜRTME SİSTEMLERİ
UYGULAMALARI

Yetiş ÜNAL

DANIŞMAN
Dr. Öğr. Üyesi Muhammed MİLANİ

Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Mekatronik Mühendisliği Programı

AĞUSTOS 2024

ONAY

Yetiş Ünal tarafından hazırlanan “**Tarımda ve İlaçlamada Drone ve Püskürtme Sistemleri Uygulamaları**” adlı tez çalışması 22/07/2024 tarihinde yapılan sınavla aşağıdaki jüri tarafından oybirliği ile Bandırma Onyedİ Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Dr. Öğr. Üyesi Muhammed MİLANİ
(Danışman)

Dr. Öğr. Üyesi Katira SOLEYMAN ZADEH ROUHRAZİ
(Üye)

Dr. Öğr. Üyesi İnan KAZANCI
(Üye)

Bu tezin kabulü, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun .../.../...gün ve .../... sayılı kararı ile onaylanmıştır.

Doç. Dr. Abdullah YEŞİL
Enstitü Müdürü

BANDIRMA ONYEDİ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS TEZ ÇALIŞMASI
ETİK BEYANI

Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre hazırlamış olduğum “**Tarımda ve İlaçlamada Drone ve Püskürtme Sistemleri Uygulamaları**” adlı tezimin özgün bir çalışma olduğunu, tez hazırlanırken tüm aşamalarda bilimsel etik ilkelerine uygun davrandığımı, tez kapsamında sunulan tüm verileri bilimsel etik ilkelerine uygun elde ettiğimi, tezde faydalandığım tüm eserlere atıf yaptığımı ve kaynaklar kısmında bu eserleri gösterdiğimi beyan ederim. 14/08/2024

Yetiş ÜNAL
imza

ÖNSÖZ

Tarım, insanlık için önemli bir faaliyet alanı olmakla birlikte, tarım dışı diğer alanlara hammadde sağlaması, milli kaynak ve istihdama desteği nedeniyle de stratejik bir faaliyet alanıdır. Tarımda verimin yüksek olması için ürünlerin en uygun şartlarda gelişimi sağlanmalıdır. Uygun koşulların oluşmasında hastalık, zararlı ve yabancı otlar ile yapılan mücadelenin önemli bir yeri bulunmaktadır. Teknolojinin devamlı gelişmesiyle ortaya çıkan yeni teknikler veya cihazların tarımda kullanılması tarımsal uygulamaları daha kolay ve etkin kılarak verimi artırmaktadır. Son yıllardaki en yeni teknolojik gelişmelerden biri olan drone'lar tarımda kullanımı başlanmıştır. Bu tarım drone'ları tarım alanının hiçbir insan müdahalesi olmadan planlanmış bir şekilde drone'lar tarafından ilaçlanmasını, mahsul durumunun haritalanmasını, sağlık durumlarının değerlendirilmesi imkânı sunmaktadır. Tarım dronu ve ilaçlama mekanizması tasarımı ile uygulama güvenliği ve verimi sağlanmaktadır. İlaçlama uygulamasında kullanılan suya duyarlı kağıtlar görüntü işleme programı ile analiz edilerek tasarlanan tarım dronu ve ilaçlama mekanizmasının optimum uçuş parametreleri belirlenir. Bu belirlen parametreler aracılığı ile ilaçlamada uygulamasında iyileştirmeler gerçekleştirilir.

Bu tez çalışması sırasında, tez konusunun belirlenmesinden başlayarak son aşamaya kadar destek olan danışman hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Muhammed MİLANİ 'e şükranlarımı sunarım.

Yüksek lisans serüvenime başlamanın konusunda beni cesaretlendiren ve bu süreçte her daim yanımda olan eşim Dr.Ayşegül ÜNAL'a, hayatım boyunca hep yanımda olan annem, babam ve kardeşime teşekkür ederim.

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TARIMDA VE İLAÇLAMADA DRONE VE PÜSKÜRTME SİSTEMLERİ UYGULAMALARI

Yetiş ÜNAL

Bandırma Onyediy Eylül Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Muhammed MİLANİ

Ağustos 2024, 57 sayfa

Nüfus giderek artış göstermektedir ve buna bağlı olarak gıda arzında artış oluşmaktadır. Bu artıştan sebebi ile gıda arzını karşılayabilmek için tarımsal alanlarda ürün verimliliğinin yükseltilmesi gerekmektedir. Tarımsal ürünlerin verimliliğini yükseltmek için bitkileri olumsuz yönde etkileyecek böcek ve haşere gibi etkenleri temizlemek gerekmektedir. Bu zararlı organizmaların temizlenmesi için kimyasal ilaçlamaya gerek duyulmaktadır. Tarımsal ürünlerde kimyasal ilaçlamanın ürün verimini %60 yükselttiğini yapılan çalışmalar ile görülmektedir. İlaçlama işlemleri elektromekanik sistemler kullanılarak, manuel püskürtme kullanılarak ve insansız hava araçları ile yapılan ilaçlamadan meydana gelmektedir. Bu ilaçlama işlemleri incelendiğinde manuel püskürtmenin en büyük dezavantajı, bu gübreleri püskürten insana solunum hastalıkları, kalp hastalıkları vb. sağlık sorununa sebep olmaktadır. Bu sebep ilaçlamanın dengeli ve mümkün olduğunca insan gücü olmadan gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Bu riskten uzak durmak ve pestisitleri eşit bir şekilde püskürtmek için tarımsal alanların ilaçlanması bir drone tarafından yapılabilmektedir. Drone'lar manuel işlemlere kıyasla kısa sürede verimli bir ilaçlama yapabilmektedir.

Dönüştürülmüş tarım drone'ları ve ilaçlama mekanizmaları kullanışsız, güvensiz gibi problemlere ilaveten ilaçlama mekanizmasının montajında sorunlar oluşturmaktadır. Uygulama amaçları göz önüne alınarak tamamen özgün olarak tasarlanan tarım dronu ile bu sorunlar ortadan kaldırılmıştır. Drone ve ilaçlama mekanizması arasında bütünlük sağlanmış ve mekanizmanın montajı güvenli bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Bu durum tarım dronu'nun daha kullanışlı ve güvenli olmasını sağlamıştır.

İlaç püskürtme mesafesi ve drone hızı ilaçlama verimini etkileyen önemli parametrelerdir. Tasarlanan tarım drone ve ilaçlama mekanizmasının optimum uçuş parametrelerinin bulunması için suya duyarlı kağıtlar kullanılmıştır. Bu kağıtlar tarım alanında belirli aralıklarla yerleştirilmiş sonrasında gerçek ortamda farklı hız ve yükseklikte ilaçlama işlemleri gerçekleştirilmiştir. Bu işlemler sonrası tarım alanından toplanan suya duyarlı kâğıtlar görüntü işleme programı ile analiz edilerek ilaçlamanın hangi hız ve yükseklikte istenilen seviyede gerçekleştiği tespit edilmiştir. Bu işlemler sonucunda optimum uçuş parametreleri (yükseklik, hız gibi) belirlenmiştir. Belirlenen optimum uçuş parametreleri ile ilaçlama uygulaması iyileştirilmiş ve verimli olarak gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmada tarım drone ve püskürtme sisteminin tasarımı, bu tasarımın optimum uçuş parametrelerin bulunması yöntemlerinden ağırlıklı olarak bahsedilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Tarım Dronu Tasarımı, İlaç Püskürtme Sistemi tasarımı, Optimum Uçuş Parametreleri, Tarım Dronu Geleceği

ABSTRACT

M.Sc. THESIS

APPLICATIONS OF DRONE AND SPRAY SYSTEM FOR PESTICIDE IN AGRICULTURE

Yetiş ÜNAL

**Bandırma Onyedi Eylül University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mechatronics Engineering**

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Muhammed MİLANİ

August 2024, 57 pages

Population is gradually increasing and accordingly there is an increase in food supply. Due to this increase, it is necessary to increase product efficiency in agricultural areas in order to meet the food supply. In order to increase the productivity of agricultural products, it is necessary to remove factors such as insects and pests that will adversely affect plants. Chemical spraying is needed to remove these harmful organisms. It is seen with the studies that chemical spraying in agricultural products increases the product yield by 60%. Spraying processes consist of spraying using electromechanical systems, using manual spraying and spraying with unmanned aerial vehicles. When these spraying processes are examined, the biggest disadvantage of manual spraying is that it causes health problems such as respiratory diseases, heart diseases, etc. to the person spraying these fertilisers. For this reason, spraying should be carried out in a balanced and as much as possible without manpower. To avoid this risk and to spray pesticides evenly, the spraying of agricultural areas can be done by a drone. Drones can perform efficient spraying in a short time compared to manual processes.

Converted agricultural drones and spraying mechanisms create problems in the assembly of the spraying mechanism in addition to problems such as impractical and unsafe. These problems

were eliminated with the agricultural drone, which was designed completely indigenously considering the application purposes. The integrity between the drone and the spraying mechanism was ensured and the assembly of the mechanism was carried out safely. This made the agricultural drone more useful and safer.

Spraying distance and drone speed are important parameters affecting spraying efficiency. Water sensitive papers were used to find the optimum flight parameters of the designed agricultural drone and spraying mechanism. These papers were placed at certain intervals in the agricultural area and then spraying operations were carried out at different speeds and heights in the real environment. After these operations, the water-sensitive papers collected from the agricultural field were analysed with the image processing and it was determined at which speed and height the spraying took place at the desired level. As a result of these processes, optimum flight parameters (such as height, speed) were determined. With the optimum flight parameters determined, the spraying application was improved and carried out efficiently.

In this study, the design of the agricultural drone and spraying system and the methods of finding the optimum flight parameters of this design are mainly mentioned.

Keywords: Agricultural Drone Design, Pesticide Spraying System Design, Optimum Flight Parameters, The Future of Agricultural Drones

İÇİNDEKİLER

ÖZET	I
ABSTRACT	III
İÇİNDEKİLER.....	V
ŞEKİL LİSTESİ	VII
TABLO LİSTESİ.....	IX
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ.....	X
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR TARAMASI.....	2
3. METARYEL VE YÖNTEM	4
3.1. TARIM DA İLAÇLAMA.....	4
3.2. İNSANSIZ HAVA ARAÇLARI (DRONE)	6
3.2.1. İnsansız Hava Araçları (Drone) Çeşitleri.....	7
3.3. TARIM DRONU	11
3.3.1. Drone Şasesi	13
3.3.2. Motor ve Pervane.....	14
3.3.3. Elektronik Hız Kontrolcüsü (ESC).....	18
3.3.4. Uçuş Kontrol Kartı.....	19
3.3.5. GPS Konumlama Sensörü	22
3.3.6. Drone Elektronik Şeması	23
3.3.7. Kumanda ve Alıcı	24
3.3.8. Telemetry.....	24
3.3.9. Batarya	25
3.3.10. Güç Modülü.....	26
3.3.11. Kamera	27
3.3.12. Görüntünün Yer İstasyonuna Aktarılması	27

3.3.13.	Yer İstasyonunda Görüntünün İzlenmesi	29
3.3.14.	Uçuş Yazılımı.....	29
3.3.15.	PID Ayarlarının Yapılması.....	35
3.4.	DRONE İLAÇLAMA MEKANİZMASI.....	36
3.4.1.	Kontrol Kartı	38
3.4.2.	Pompa ve Sürücüsü	39
3.4.3.	Nozle	40
3.4.4.	Tank.....	40
3.4.5.	İlaç Debinin Ayarlanması	41
3.5.	İLAÇLAMADA OPTİUMUM UÇUŞ PARAMETRELERİN BULUNMASI.....	41
3.6.	TARIM DRONE’NUN KARŞILAŞTIĞI ZORLUKLAR	48
3.7.	TARIM DRONU GELECEĞİ.....	49
4.	SONUÇ VE ÖNERİLER	50
5.	KAYNAKLAR.....	52
	ÖZGEÇMİŞ	57

ŞEKİL LİSTESİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 3-1: Tarım alanı ilaçlama	4
Şekil 3-2: Günümüzde kullanılan ilaçlama yöntemleri.....	5
Şekil 3-3: Drone	6
Şekil 3-4: Kanat sayısına göre İha sınıflandırması.....	7
Şekil 3-5: Tek motorlu iha	8
Şekil 3-6: İki motorlu iha	8
Şekil 3-7: Üç motorlu iha	9
Şekil 3-8: Dört motorlu iha	9
Şekil 3-9: Altı motorlu iha	10
Şekil 3-10: Sekiz motorlu iha	11
Şekil 3-11: Tarım dronu.....	12
Şekil 3-12: Tarım dronu tasarımı	13
Şekil 3-13: Tarım dronu teknik resmi	13
Şekil 3-14: Drone motor 700kv.....	15
Şekil 3-15: 12 inç fiber karbon pervane	16
Şekil 3-16: Pervane balans aparatı	16
Şekil 3-17: Motor itme kuvveti deney seti	18
Şekil 3-18: Hava aracının temel hareketleri	18
Şekil 3-19: Motor kontrol kartı	19
Şekil 3-20: Drone kontrol kartı pixhawk.....	20
Şekil 3-21: Pixhawk kontrol kartı portu	21
Şekil 3-22: Kontrol sistemi blok diyagramı.....	22
Şekil 3-23: GPS modülü	22
Şekil 3-24: Drone elektronik şeması.....	23
Şekil 3-25: Drone kumandası	24
Şekil 3-26: Telemetri modülü	25
Şekil 3-27: Lipo pil.....	26
Şekil 3-28: Güç modülü.....	27
Şekil 3-29: Kamera	27

Şekil 3-30: Görüntü aktarma modülü	28
Şekil 3-31: Kamera- video transmitter bağlantı şeması	28
Şekil 3-32: Yer istasyonu ekran.....	29
Şekil 3-33: Uçuş yazılımı mission planner.....	30
Şekil 3-34: Mission planner kontrol yazılımı yükleme.....	30
Şekil 3-35: İvme ölçer ve pusula kalibrasyonu	31
Şekil 3-36: Kumanda kalibrasyonu	32
Şekil 3-37: Esc kalibrasyonu.....	32
Şekil 3-38: Uçuş modu atamaları	33
Şekil 3-39: Güvenlik önlemleri	34
Şekil 3-40: Motor testi	34
Şekil 3-41: PID ayarları	36
Şekil 3-42: İlaçlama mekanizması blog diyagramı.....	37
Şekil 3-43: Püskürtme sistemi malzemeleri ve bağlantı yapısı.	37
Şekil 3-44: Arduino nano	38
Şekil 3-45: İlaçlama mekanizması pompa	39
Şekil 3-46: İlaçlama mekanizması pompa sürücüsü	39
Şekil 3-47: VP 110 015 modeli nozle	40
Şekil 3-48: İlaçlama mekanizması tank	41
Şekil 3-49: PWM - voltaj dönüştürücü kartı	41
Şekil 3-50: Suya duyarlı kağıtların temsili dayılımı.....	43
Şekil 3-51: Suya duyarlı kâğıtların yerleşimi.....	43
Şekil 3-52: Test sonucu suya duyarlı kâğıt.....	44
Şekil 3-53: Imagej programına atılan dijital görüntü.....	45
Şekil 3-54: Imagej programında görüntünün siyah-beyaz olması.....	45
Şekil 3-55: Imagej programının kalibrasyon ayarının yapılması	46
Şekil 3-56: Imagej programında damlacıkların netleştirilmesi	46
Şekil 3-57: Imagej programında görüntü analizi için ayarların yapılması.....	47
Şekil 3-58: Imagej programında elde edilen damlacık sayısı ve alanları	47
Şekil 3-59: Imagej programında elde edilen damlacık alanlarının toplanması.....	48

TABLO LİSTESİ

<u>Tablo</u>	<u>Sayfa</u>
Tablo 3-1: Drone'nun tarımda sağladığı avantajlar ve dezavantajlar	12
Tablo 3-2: Fırçasız motorlar avantajları ve dezavantajları	14
Tablo 3-3: SunnySky marka X3508S-16 teknik özellikleri	15
Tablo 3-4: Drone ağırlığı.....	17
Tablo 3-5: ESC bilgileri	19
Tablo 3-6: GPS modülü teknik özellikleri.....	23
Tablo 3-7: Lipo özellikleri.....	26
Tablo 3-8: Nozul çalışma değerleri	40
Tablo 3-9: Test değerleri.....	42
Tablo 3-10: Uygulanan parametre değişkenleri	44

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler	Açıklama
σ	: Sigmoid
Σ	: Toplam Formülü
%	: Yüzde
t	: Zaman
V	: Volt
A	: Amper
a	: İvme

Kısaltmalar	Açıklama
Gps	: Global positioning system
gr	: Gram
İha	: İnsansız hava aracı
kg	: Kilogram
m	: Metre
mm	: Milimetre
Mhz	: Megahertz
ml	: Mililitre
Mp	: Megapixel
Gb	: Gigabyte
Ort	: Ortalama
Esc	: Elektronik hız kontrol
Mah	: Mili amper saat
Cw	: Saat yönü
Ccw	: Saat yönü tersi
Osd	: On screen display

1. GİRİŞ

Son yıllardaki drone teknolojisi çok fazla gelişmiş ve tarım alanında da kullanılmaya başlanmıştır [1]. Drone teknolojisi her geçen gün farklı sektörlerle girerek üretim alanını genişletmekte ve piyasadaki ekonomik payını attırmaktadır. 2023 sonunda drone pazar büyüklüğünün 50 milyar dolara ulaşması öngörülmektedir [2]. İnsansız hava araçlarına ilaveten bitkilerin fiziksel durumlarını ve genotipleri gösteren, tarım alanı koşullarındaki etkinin tespitinde ve ne tür bir genden geldiğinin tespitini yapan robotlarda mevcuttur [3]. Kamera görüntüleri ile tarım arazilerindeki mahsulün durumu ve haşere kontrolü yapılmaktadır. GPS ile donatılan drone'lar tarım üretiminde kolaylıklar sunmaktadır [4]. Eski tarım uygulamalarında ihtiyaç duyulan teknolojik yenilikler nedeni ile drone teknolojisi tarım alanında popüler hale gelmiştir. Drone'ların alçak irtifada uçuş yapabilmesi, dikey olarak yerden iniş kalkış yapabiliyor olması popüler olmalarında önemli etkindir. Üzerine yerleştirilen yüksek çözünürlüklü kamera lar ve veri aktarma sistemleri sayesinde kullanıcıya anlık görüntü aktarabilme ve görüntüye göre hedef belirleme komut verme imkânı sunmaktadırlar [5]. Tarım alanında ilaçlama ürünlerin kalitesi için büyük öneme sahiptir. İlaçlama için haşere analizi yapılması ve bu analize göre ilaç türüne ve miktarına karar verilmesi gerekmektedir. Drone üzerindeki kamera görüntülerinin analizi yapılarak haşere miktarı ve cinsi belirlenebilir [6]. Bu veriler doğrultusunda drone üzerine yerleştirilen ilaç püskürtme sistemleri sayesinde doğru ilaçlama yapılarak ürün kalitesi artırılabilir. Bu ilaçlama havadan yapıldığında işlemi hızlandırmakta ve tarım alanındaki mahsule zarar vermemektedir. Bu havadan ilaçlamanın olumsuz çevresel sonuçlara ilişkin yaygın bir endişe olmasına rağmen bu yöntem diğer geleneksel yöntemlere rağmen büyük avantaj sağlamaktadır. Ancak olumsuz hava şartlarına (rüzgârın hızı, yönü vb.) bağlı olarak ilaçlama istenen hedeflere ulaşmaya bilir. Yakın çevredeki hedef dışındaki tarım alanlarda ilaçlanabilir. Bu olumsuz hava şartlarına bağlı olarak değişen ilaçlama miktarı ve mesafesi ayarlanarak hedeften sapma engellenebilir [7]. Bu işlemler ve arzu edilenler uzaktan kontrollü bir drone ile yapılabilir. Tarımsal alanlar drone ile ilaçlanarak ürün kalitesinin artırır, verimi olumlu yönde etkiler. Aynı zamanda insan faktörüne bu sistemde çok fazla ihtiyaç duyulmaması nedeni ile iş yükü azalmış ve ilaçlamada meydana gelen insan hastalıkları ve zehirlenmeleri önlemektedir. Tarım alanının hangi rotayı takip ederek ilaçlama yapacağı öncesinden belirlenerek rota drone üzerine yüklenir. Sonuç olarak bu tezin amacı gps ile harita üzerinden rota planlaması yapılarak ilaç püskürtme sistemleri ile donatılmış drone vasıtasıyla, değişken bozucu etkilere (hava şartları) cevap verebilen tarım alanında ilaçlama uygulamalarını araştırmaktır.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Pharne ve arkadaşları, gerçekleştirmiş olduğu çalışmada tarım ürünlerine pestisit püskürtmek için drone ile bütünleşik püskürtme sistemi oluşturmuşlardır. Arduino programlama dilinin çalıştığı bu uygulamada drone'a entegre ilaçlama deposunda yer alan pestisit ilacı ile zararlı organizmaları kontrol altına almak ya da zararlarını en aza indirmek hedeflenmiştir. İlaçlama depo sistemine entegre olan nozullar yardımıyla ekin bölgesi püskürtme işlemi uygulanmıştır. Pestisit israfına engel olmak için ilaçlama deposuna eşit bir basınç uygulanacağı ve bu sebeple pestisit ekinlerin üzerine doğru püskürtüleceği ifade edilmiştir [8].

Jannoura ve arkadaşları, Almanya'da bezelye ve yulaf tarlasında gerçekleştirdikleri çalışmada İHA ile elde edilen görüntüleri işleyerek biyokütle tahminlemesi yapmışlardır. Projede, RGB (Red, Green, Blue) sensörle donatılmış altı kollu hexakopter mevcuttur. Hava görüntüleri 1 500 m² alana sahip tarlada, hasattan hemen önce 30 metre yükseklikten ve gölgelenme etkisini azaltmak için öğlen saatinde toplanmıştır. Görüntüler üzerinden NGRDI değeri oluşturulmuştur. Bu değer ile LAI (Leaf Area Index, Yaprak Alan İndeksi) ve biyokütle arasındaki korelasyon irdelenmiştir. NGRDI değerinin biyokütle ile mantıklı bir korelasyonu olduğu ve LAI ile mantıklı bir korelasyon olmadığı anlaşılmıştır [9].

Suryawanshi ve arkadaşları, yapmış olduğu projede uzaktan kontrol edilen dört pervaneli drone'a 1000 ml kapasiteli bir ilaçlama deposu monte edilerek tarım alanının ilaçlanmasını sağlayan bir çalışma yapmıştır. Bu çalışmada karşılıklı iki uca denk gelecek şekilde iki adet nozul kullanılarak kimyasal ilacı püskürtme uygulaması gerçekleştirilmiştir [10].

Varjovi ve arkadaşları, Malatya'da kayısı bahçesinde yaptıkları çalışmada hava görüntülerinden yararlanarak rekolte tahmin sistemi yapmışlardır. 17 metre yükseklikten multikopter ve RGB sensör aracı ile elde edilen görüntülere, ağaç bölütleme ve öznetelik çıkarma çalışmaları uygulanmıştır. Görüntüler üzerindeki gölge etkisini minimize etmek için RGB renk uzayındaki görüntüler HSV (Hue, Saturation, Value) renk uzayına çevrilmiştir. Gaussian mixture model aracı ile pikseller modellenerek, görüntünün merkezinde bulunan ağaca ait olmayan pikseller yok edilmiştir. Daha sonra genişletme uygulaması yapılmıştır. Bu şekilde ağacın alanı saptanmıştır. Ağaca ait alan, katılık ve eksantriklik özellikleri yapay sinir ağına verilerek rekolte tahmini yapılmıştır. Önerilen yöntemin R² değeri, 0,77 olarak hesaplanmıştır [11].

Spoorthi ve arkadaşları, yapmış oldukları projede tarım alanının her tarafına eşit derecede ilaç püskürten drone uygulamasından ifade etmektedir. Android program ile çalışan uygulamayla uzaktan kontrol edilebilen bu sistemde tarım alanının yapısına bağlı olmaksızın Küresel

Konumlama Sistemi (GPS) kullanılarak tam olarak kontrol edilebilmektedir. Drone ilaçlama sistemi uygulaması ile tarım alanlarında ilaçlama diğer yöntemlere göre oldukça kolay olduğu sonucuna varılmıştır [12].

Ore ve arkadaşları, Brezilya’da mısır bitkisinin büyümesini gözlemlemek üzere bir çalışma yapmıştır. Sentetik Açıklıklı Radar (SAR) sensörüyle donatılmış altı kollu bir hexakopterden faydalanılmıştır. Farklı zamanlarda aynı rotadan elde edilen görüntüler geri projeksiyon algoritmasıyla işlenerek bitki büyümesi tahmini yapılmış. Elde edilen sonuçlar ile tasarlanan sistemin bitki büyüme haritalama için kullanılabileceği anlaşılmıştır [13].

Zhou ve arkadaşları, ABD’nin Florida eyaletinde yürüttükleri bir projede, beş çay bitkisine suya duyarlı kağıtları monte ederek farklı püskürtme denemeleri yapmışlardır. 0,3, 0,5 ve 0,7 m/s’lik uçuş hızlarında yapılan denemeler sonucunda uçuş hızı arttıkça kağıtlardaki kaplama alanı yüzdesinin ve damlacık yoğunluğunun azaldığını damlacık dağılım homojenliğinin ise arttığı sonucuna ulaşılmıştır [14].

Qin ve arkadaşları, çeltikte yürüttükleri bir diğer projede ise P-20 dört-rotor İHA için 1-3 arasındaki uçuş yüksekliklerini ve 2-6 m/s aralığındaki uçuş hızlarını uygulamışlardır. Çalışma sonucunda söz konusu İHA için 2 metre uçuş yüksekliğinin ve 3,7 m/s uçuş hızının optimum parametreler olduğu sonucuna bulmuşlardır [15].

Zhu ve arkadaşları, gerçekleştirdikleri projede ilaçlama uygulaması için kullanılan İnsansız Hava Aracı (UAV) hassas püskürtme için bir yazılım çalışması yapmışlardır. Farklı hava aracı ile uygulamalar sağlamışlardır. Sonuçlar püskürtme sisteminin tahıl ilaçlanması için ilaçlama verimliliğini yükseltecek hassasiyete sahip olduğunu saptanmıştır [16].

Doering ve arkadaşları, hassas tarım uygulamalarında çoklu insansız hava araçlarının tasarımı için özel bir tasarım alanı yapmışlardır. Çeşitli uygulamalar yaparak iha’ların olumsuz ve olumlu özelliklerini tespit etmeye çalışmışlardır [17].

Koç ve arkadaşları, 222 W olan bir batarya, 5 litre depo hacimli hacmi, alüminyum malzemeden üretilmiş özel bir çatı, GPS ve kamera ilgili kontrol birimlerinden oluşan bir drone tasarlayıp ilaçlama uygulamalarında kullanmıştır. 0.5 l/dk ilaçlama kapasitesine sahip olan bu drone 12.5 dk uçuş süresine sahiptir. Araştırmacı, tarla ve laboratuvar testlerini başarılı olarak gerçekleştirmiştir. Sonuçta elde edilen ölçümler sonucunda dron pervanelerinin pestisit için hava akışına destek olarak görev yaptığını, dronun hızı yükseldikçe yüzey kaplama oranının düştüğünü gözlemlemiştir [18].

3. METARYEL VE YÖNTEM

3.1. TARIM DA İLAÇLAMA

Tarım insanların yaşamını devam ettirmesi için gerekli olan bitki, meyve, sebze gibi ürünlerin yetiştirilmesini sağlayan alanlardan birisidir [19]. Tarım sektörü birçok ülkenin en önemli kaynağıdır. Beslenmeye ilaveten birçok sektörlere hammadde temini ve milli gelir sağlaması sebebi ile yaşamımız için önemli bir yer tutmaktadır. Zaman ilerledikçe nüfusun ve kentleşmenin hızla yükselmesi ile tarımsal alanlar yok olmaktadır. Bu problemin ileride beslenmemiz için gerekli olan gıda sektöründe büyük sorunlara sebep olabileceği tahmin edilmektedir [20]. Beslenme ve gıda ihtiyacının karşılanması için birim alandan elde edilen ürün miktarının yükseltilmesi sağlanmalıdır. Verimin yüksek olması için şekil 3-1’de gösterilen zirai ilaçlama önemlidir. Tarım sektöründe üretimin en önemli amacı bitkisel ve hayvansal üretimde ekonomik ve devamlı bir üretimin gerçekleşmesidir [21]. Bu sebep ışığında tarım sektöründe teknolojinin kullanılması ile tarımsal uygulamaların kolaylaştırılması ve girdi maliyetlerinin en aza indirilmesi gerekmektedir [22].



Şekil 3-1: Tarım alanı ilaçlama

İnsanlığın tarih boyunca en değerli çalışmaları tarımsal verimliliği yükseltmeye ve tarımsal uygulamalara yönelik çalışmaları olmuştur. Meteorolojik durumlar, ülkemizin engebeli topoğrafya olması ve orta kuşakta bulunması nedeni ile çeşitlilik oluşturmaktadır. Güneşlenme zamanı, doğal bitki örtüsü ve toprak yapısı bu türölülüğü meydana getiren en etkili faktörlerdir. Dört mevsimin ülkemizde oluşması tarımın da verimin yüksek ve bitki örtüsü farklılığını oluşmasında belirleyici etkindir. Engebeli topoğrafya aynı bölge de farklı mevsimleri oluşturmakta ve bu durum tarımsal farklılığı da meydana getirmektedir. Arazi yapısı ve kullanımı,

iklim arasında direk bağından dolayı Türkiye’de çeşitli ekolojik alanlarda özel tarımsal ürün üretimi sunmaktadır.

Verimli kullanmama ve genç işçi sayısında giderek düşmesi gibi sebeplerden dolayı ülkemiz tarım sektöründe girdi maliyetleri yükselmektedir. Endüstri 4.0 aracılığı ile gelen teknolojik faydaların tarım alanına uygulanması ile tarım sektöründe akıllı tarım ve dijital tarım uygulamaları oluşmaya başlamıştır. Endüstri 4.0 devriminin tarım alanında monte edilmesi ile birlikte yapay zekâ, robotik uygulamalar ve nesnelerin interneti gibi yeni teknolojiler tarım sektöründe da uygulanmaya başlanmıştır [23]. Akıllı tarım aracılığı ile alan üzerine ekim, gübreleme ve ilaçlama gibi uygulamalar otomatik olarak verimli bir şekilde yapılarak iş gücünden tasarruf gerçekleştirilmektedir. Akıllı tarım çalışmaları aracılığı ile bahçe ya da sera üzerinde bulunan sensörler ve aktüatörler kullanılarak bahçe ya da seranın durumu takibi sağlanabilir ve mobil uygulama aracılığı ile uzaktan kontrol gerçekleştirilebilir [24].

Tarımsal üretimin sürdürülebilir olması tartışmasız şarttır. Fakat dünya nüfusunun zamanla yükselmesi beraberinde gıda güvencesinde ciddi problemleri de beraberinde oluşturmuştur. Verimli tarım alanlarının doğru kullanılmaması, tarım alanlarının düşmesi, tarımsal atık, zirai ilaçların doğru kullanılmaması vb. durumlar tarım alanların da toprak verimliliğini düşürmekte, verimsizliği oluşturmakta ve ileride kalite problemi ve gıda güvenliği oluşturmaktadır. Diğer ülkelerde görüldüğü gibi Türkiye’de de yapılan hatalı tarımsal faaliyetler doğal bütünlüğü dağıtmaktadır. Gelişen teknolojik çalışmalar ve tarımdaki çeşitlilik beraberinde bazı sorunlar oluşturmaktadır. Bu sorunları önlemek sürdürülebilir tarım uygulamalarını gerçekleştirmek ile sağlanmaktadır. Sürdürülebilir tarım için doğal kaynakların koruma altına alınması önem arz etmektedir. Sürdürülebilir tarımın sürekliliği ve tarımsal verimi yükseltmek sebebi ile oluşturulan teknolojik uygulamalar İnsansız Hava Araçlarının kullanımı imkânı sunmaktadır. İnsansız Hava Araçları ile takip, gözlemlene, sulama, hastalık takibi, vejetasyon gelişimi, sınıflandırma gibi çeşitli alanda tarımsal uygulama gerçekleştirilmektedir.

Günümüzde tarım alanlarının ilaçlanması şekil 3-2’de görünen insan kontrolünde sırt pompası, Pülverizatör kullanarak basınçlı hortum ile ve zirai insansız hava araçları ile yapılmaktadır [25].



Şekil 3-2: Günümüzde kullanılan ilaçlama yöntemleri

3.2. İNSANSIZ HAVA ARAÇLARI (DRONE)

Teknolojik yeniliklerle dolu insansız hava araçları, genellikle hobi olarak kullanılmakta ve tercih edilmekteydi. Günümüzde bilimsel çalışmalara ve mühendislik alanındaki uygulamalara katkı sağlamak amacıyla kullanılmaya başlanmıştır. İnsansız hava araçları statüsüne giren Drone'lar mühendislik faaliyetlerin takip etme, denetimini sağlama ve bazı durumların çözümü için uygulamalarında kullanılmaktadır. Kaynaklara bakıldığında ister bilimsel yönden gerçekleştirilen çalışmalar veya ticari alanlarda yer alan drone üzerine birçok çalışmalar görülmüştür.

İnsansız hava araçları mühendislik alanı açısından ihtiyaç duyulan birimlere bağlı olarak çeşitli tasarımlarda üretilmektedirler. İnsansız hava araçları 4, 6 ve 8 pervaneli şeklinde gruplara ayrılmaktadır. Şekil 3-3'de görünen QuadCopter, birbirinden ayrı dört bağımsız motorla hızlı uçuş yeteneği olan insansız hava araçlarıdır. QuadCopterlerin motor adetindeki ekleme ile farklı tasarımlar oluşmaktadır. Altı (Hexa) motorlu ve sekiz (Octo) motorlu modelleri, uygulanan türler arasındadır. Drone, elektronik hız kontrol ünitesi, doğru akım ile çalışan motoru, denge kontrol ünitesi, güç ünitesi, mikro denetleyici ve sensörler ve ile birlikte toplam 6 kısımdan meydana gelmektedir. [26].



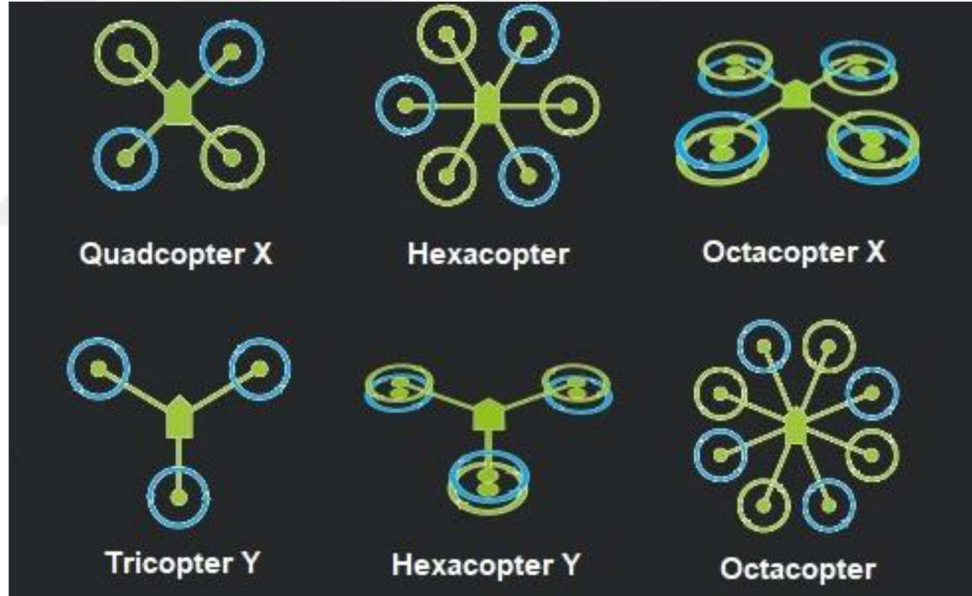
Şekil 3-3: Drone

Drone geliştirilmesinin en önemli nokta uçuş güvenliği ve emniyetidir. Bunun amacı; araştırma esnasında çevredeki insanların ve araştırmacının güvenliğini en iyi seviyede gerçekleştirilmesidir. Türkiye’de ve diğer ülkelerde mal ve can kaybı ile sonuçlanacak kazalara karşı büyük cezalar vardır [27]. Örneğin 500gr üstü dronun üretilmesinin ardından 3 gün süre içerisinde Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü IHA sistemine kayıt gerçekleştirilmemesi halinde para cezası verilmektedir. İran, Küba, Kuveyt, Irak, Nijerya gibi ülkelerde ise güvenlik sebepleri ile dron uçuşuna izin verilmemektedir [28].

3.2.1. İnsansız Hava Araçları (Drone) Çeşitleri

Drone, insansız hava araçları arasında en sık gözlemlenen tasarımıdır. Drone, üzerindeki motor sayısına bağlı şekil 3-4’de gösterildiği gibi gruplandırılır. Motor adetine bağlı olarak drone’lar en çok tasarlanan türleri altı grupta toplanmıştır [29]. Bunlar;

- Tek motorlu iha (Singlecopter)
- İki motorlu iha (Twincopter)
- Üç motorlu iha (Tricopter)
- Dört motorlu iha (Quadcopter)
- Altı motorlu iha (HexaCopter)
- Sekiz motorlu iha (Octocopter) ’dir.



Şekil 3-4: Kanat sayısına göre İha sınıflandırması [30]

3.2.1.1 Tek motorlu iha (singlecopter)

Tek motor ve pervaneden oluşan şekil 3-5’deki iha, şase üzerinde bir adet motor ile uçuş gerçekleştirilmektedir. Açılı motor olarak tasarlanan Servo motor ile dengeyi ve kanat kontrolü sağlayan bir tasarımdan meydana gelmektedir.



Şekil 3-5: Tek motorlu iha [31]

3.2.1.2 İki Motorlu iha (twincopter)

İki adet motorun güç birimi ile hava akımının meydana gelmesi ile şekil 3-6'daki iha'nın yukarı ve aşağı hareketleri oluşur ve servo motorların yön hareketinin gerçekleştirdiği tasarımıdır. Motor, hızlarının aynı oranda farklılaştırarak yukarı yönde hareketi ve motorların servo motor ile ileri-geri hareketi ile insansız hava aracında hareket oluşturulur. Kendi çevresinde dönmesini önlemek amacı ile iki motor ters yönde çalışmaktadır.



Şekil 3-6: İki motorlu iha [31]

3.2.1.3 Üç Motorlu İha (tricopter)

Havadaki uçuşu ve şekli açısından helikopteri anımsatan tasarımı mevcuttur. T veya Y şase şekline sahip olan iha'nın gövdesine bağlı 3 adet motor mevcuttur. Şekil 3-7'deki iha'nın arkadaki motorun sol ve sağ yöne yönelmesi eksenini etrafında hareketini engellemektedir.



Şekil 3-7: Üç motorlu iha [31]

3.2.1.4 Dört motorlu iha (quadcopter)

Dört motorlu iha, belirli iki motorun saat yönü tersinde, iki motorun ise saat yönünde hareketi ile aşağı ve yukarı hareketlerinin meydana geldiği sistemlerdir. Motorların gücü oynanarak kendi çevresinde hareketi ya da durma hareketi sağlanmaktadır. (+) ve (x) olarak iki yapıda ve uçuş yapısı mevcuttur. Artı (+) yapı ile bir motor, (x) şekli ile iki motor sayesinde yön hareketi gerçekleştirilmektedir. Motorlar adım adım saat yönü tersinde ve saat yönünde dönmesi ile uçuş meydana gelmektedir.

Yön hareketi uygulamasında, (+) uçuş yapıda arka motorun karşı motorlardan hızlı hareket etmesi ile ileriye, ön motorun öteki motorlardan hızlı olması ile geriye hareket oluşmaktadır.

(x) uçuş yapıda ise, komşu iki motorların benzer hızda dönmesi sonucu yön hareketi oluşmaktadır. Ön iki motorun karşı motorlardan hızlı hareketi sonucu geriye hareket, arka iki motorun karşı iki motordan hızlı hareketi sonucu ileriye hareket sağlanmaktadır. Sağ iki motorun karşı iki motorlardan hızlı hareketi ile sola, Sol iki motorun karşı motorlardan hızlı hareketi ile sağa yönelim oluşmaktadır.



Şekil 3-8: Dört motorlu iha [31]

3.2.1.5 Altı motorlu iha (hexacopter)

Altı motora bulunan şekil 3-9'daki iha, dört motorlu modelde bilindiği üzere uçuş yapısına bağlı (+) ve (x) yönde şase şekli ve hareket yapısı mevcuttur. Motorlar adım adım saat yönün tersine ve saat yönü dönme oluşturarak uçuş gerçekleştirmektedir. Yüksekten video ve görüntü almak için kullanılan iha türüdür. Altı motor gücü sayesinde yük taşıma ve dengeli uçuş şekli ile kullanıcılara pozitif yönde etki oluşturmaktadır.

Yön kontrolü uygulamasında, (+) uçuş yapısında ön motorun karşı motorlardan hızlı hareketi sonucu geriye, arka motorun karşı motorlardan hızlı hareketi sonucu ileriye hareket meydana gelmektedir. Arkadan görüldüğünde sol motorun karşı motorlardan hızlı hareketi ile sağa, aynı şekilde arkadan görüldüğünde sağ motorun karşı motorlardan hızlı hareketi ile sol yönde hareket gerçekleşmektedir.

(x) uçuş yapısında ise, ön iki motorun karşı motorlardan hızlı hareketi ile geriye, arka iki motorun karşı iki motordan hızlı hareketi ile ileriye yönelim sağlanmaktadır. Sağ tek motorun karşı iki motorlardan hızlı hareketi ile sola, sol tek motorun karşı motorlardan hızlı hareketi ile sağa yönelim oluşmaktadır.



Şekil 3-9: Altı motorlu iha [31]

3.2.1.6 Sekiz motorlu iha (octocopter)

Sekiz motoru bulunan bir insansız hava aracıdır. Kendi eksenini etrafında hareketi, durması motordaki hız kontrolü sayesinde sağlanmaktadır. Şekil 3-10'daki iha motorları sırayla saat yönü tersinde ve saat yönünde dönme oluşturarak uçuş meydana getirir.

Yön kontrolü uygulamasında, (+) uçuş yapısında ön üç motorun karşı motorlardan hızlı hareketi ile geriye, arka üç motorun karşı motorlardan hızlı hareketi ile ileriye yönelim sağlanmaktadır. Arkadan görüldüğünde sol üç motorun karşı motorlardan hızlı hareketi sonucu

sağa yönde, aynı şekilde arkadan görüldüğünde sağ üç motorun karşı motorlardan hızlı hareketi sonucu sola yönelim gerçekleştirilir.

(x) uçuş yapısında ise, ön iki motorun karşı motorlardan daha hareketi sonucu geriye, arka iki motorun karşı iki motordan hızlı hareketi sonucu ileriye yönelim sağlanmaktadır. Sağ tek motorun karşı iki motorlardan hızlı hareketi ile sola, Sol tek motorun karşı motorlardan hızlı hareketi ile sağa yönelim meydana gelir.



Şekil 3-10: Sekiz motorlu İHA [31]

3.3. TARIM DRONU

Tarım insanoğlunun yaşamını sürdürebilmesi için gerekli olan bitki, meyve, sebze gibi ürünlerin yetiştiriciliğini sağlayan sektörlerden birisidir [32]. Tarım alanlarının daha etkin kullanımı ve birim alandan elde edilecek verimin artırılması için teknolojik gelişmelere dayalı tarım uygulamalarının geliştirilmesi gerekmektedir [33]. Tarım drone sağlamış olduğu faydalar nedeni ile popüler hale gelmiştir. Üzerine yerleştirilen kamera sayesinde mahsulün durumu hakkında anlık bilgi sağlayabilmektedir. 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 [34]. Mahsule zarar vermeden yapılan bu gözlem önem arz etmektedir. Yapılan gözlem neticesinde aşere olup olmadığı kontrol edilir, varsa türü ve buna bağlı ilaçlama cinsi, ilaçlama mesafesi, miktarı tespit edilir. Dikey iniş kalkış yapabiliyor olması sayesinde kalkış için uzun mesafelere ihtiyaç duyulmaz ve kısıtlı alanda kullanıma elverişlidir [35]. Dikey olarak iniş kalkış yapabilmekle birlikte havada asılı kalabilmektedir [36]. Drone üzerindeki püskürtme sistemi sayesinde yapılan ilaçlama neticesinde oluşan son durum drone üzerindeki görüntü aktarım sistemi aracılığı ile tekrar kontrol edilebilir. Bu işlemler şekil 3-11'deki drone sayesinde havadan yapıldığı için hızlı ve mahsule zarar vermeden gerçekleştirilir. Hava şartları ilaçlamanın verimini düşürebilir. İlaçlama esnasında olumsuz hava şartları sebebi ile anlık olarak ilaçlama verimini kontrol edilerek ilaçlama mesafesi

ve debisi ayarlanabilir. Bu şekilde anlık sisteme müdahale edilebilir ve doğru verimli ilaçlama yapılabilir. Belirli bir rota yı drone üzerine göndererek bu rota boyunca ilaçlama yapması sağlanabilir.



Şekil 3-11: Tarım dronu

Tablo 3-1: Drone'nun tarımda sağladığı avantajlar ve dezavantajlar [37]

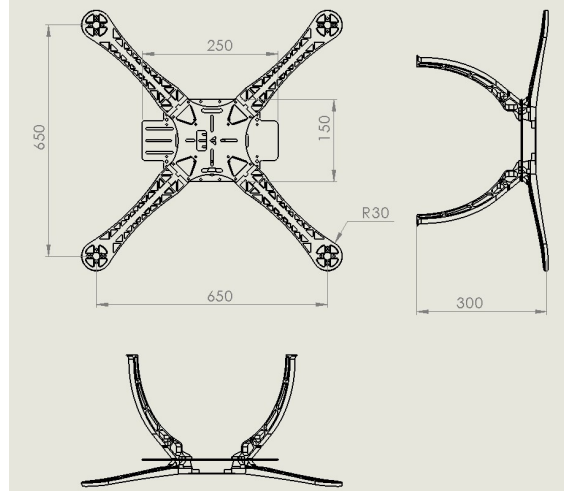
Avantajları	Dezavantajları
Tarım alanından verilerin hızlı ve kolay alınmasını sağlar.	Sulamada kullanılamaz.
Saha araştırmalarında kullanılan zaman kısaltır.	Büyük işler yapamaz.
Engebeli arazilerde kullanılabilir.	Olumsuz hava şartlarında kullanımı kısıtlıdır.
Bitkilerin yüksek çözünürlüklü görüntülerinin elde edilmesini sağlar.	Yasal kısıtlamalar.
Yakıt maliyetlerini ve çevresel zararları azaltır.	Pil süresinin yetersiz olması
İnsan gücünde oluşacak sağlık sorunlarının önüne geçer.	Veri güvenliği sorunları içerir.

3.3.1. Drone Şasesi

Drone şasesinde işlevi yerine getirecek en hafif şase tasarımı yapılır ya da seçilir. Proje özel bir şase ihtiyacı doğurmasından dolayı şekil 3-12’deki özel şase tasarımı yapıldı. Tasarım için 3boyutlu tasarım programı kullanılır .4 motor ve bunlara bağlı pervane monte edilmektedir. Aynı zamanda bu şase mini prototip bir ilaçlama mekanizması monte edilmektedir. Şase tasarım görüntüsü şekil 3-12’de, teknik resim görüntüsü şekil 3-13’de görünmektedir.



Şekil 3-12: Tarım dronu tasarımı



Şekil 3-13: Tarım dronu teknik resmi

Hafifliği ve dayanımı nedeni ile şasede karbon fiber malzeme tercih edilir [38]. Karbon fiberin mukavemet oranı çelikten 50 kat daha yüksektir [39]. Şasenin parçalarının montajı için bağlantı aparatları alüminyum tercih edilmiştir.

3.3.2. Motor ve Pervane

Drone da fırçalı ve fırçasız motorlar kullanılabilir. Büyük drone larda yüksek yükten dolayı fırçasız motor kullanılırken, küçük drone larda fırçalı motor kullanılmaktadır. Fırçalı motorlarda mıknatıs ile karşılıklı temas etmeden dönen bobinlerin tersine, içerisinde karşılıklı değen birimler vardır. Bu sebeple fırçalı motorlar, fırçasız motorlara göre kullanım süreleri çok daha kısadır. Bu durumdan dolayı drone için fırçasız motorlar daha risksiz ve arızasız motorlardır [40]. Fırçasız motorların avantaj ve dezavantajları aşağıdaki tabloda mevcuttur. Fırçasız motorlar yüksek hızlarda dönebilir olmalarının yanında bakım gerektiren motorlardır. Yüksek moment ve eylemsizlik gerektiren uygulamalarda, dış rotorlu tipi olan fırçasız doğru akım motorları kullanılmaktadır [41]. Motor seçimi yaparken sistemin ağırlığı hesap edilir. Hesaplanan sistemi kaldırabilecek motor pervane ikilisi seçilir. Motor üreticileri ürünleri için uygun pervanen özelliklerini vermektedir. Üreticiler yaptıkları mühendislik çalışmaları neticesinde önerilen motor pervane ikilisinin kaldırabileceği yük miktarını da sunmaktadır. Deney düzenekleri ile motor pervane ikilisinin itme kuvveti bulunabilir. Fırçasız DC motorun avantajları ve dezavantajları aşağıda vermiştir [42].

Tablo 3-2: Fırçasız motorlar avantajları ve dezavantajları

Avantajları	Dezavantajları
Verimlilikleri üst seviyededir.	Kontrol devresi karışık durumdadır.
Bakıma ihtiyaç duymaz. Uzun süre kullanılır.	Fiyatı yüksektir.
Fırça yapısı olmadığı için ark oluşmamakta ve karboz tozu birikmemektedir.	Pozisyon bilgisine ihtiyaç duyarlar.
Hızları üst seviyededir.	
Hız kontrolü yapılabilir.	
Sürtünme olmadığı için sessiz çalışırlar.	
Küçük olmalarına rağmen yüksek moment ve tork üretebilirler.	
Uyarma akımına ihtiyaç duymazlar.	
Güvenilirdir ve basit söğutulabilir.	

Bu projede şekil 3-14'deki SunnySky marka X3508S-16 model 4 adet fırçasız motor kullanılmıştır. Bu motor yüksek hızlara çıkabilir ve hava araçları için en uygun motordur. Dronlar, üzerindeki motor sayılarına göre sınıflandırmak üzere multikopter olarak da isimlendirilirler. [43]



Şekil 3-14: Drone motor 700kv

Tablo 3-3: SunnySky marka X3508S-16 teknik özellikleri [44]

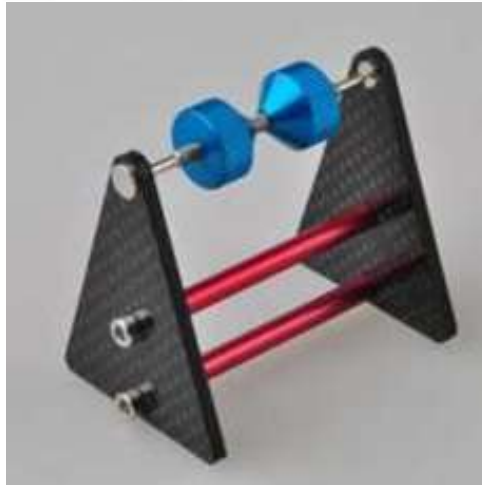
Motor Teknik Özellikleri	
Stator çapı	35mm
Stator kalınlığı	8mm
Stator kollarının sayısı	12
Stator kutupları	14
Motor Kv	700
Yüksüz akım	0.4A
Maksimum sürekli akım	23A/30 S
Ağırlık	75 gr
Dış çap	42mm
Mil çapı	4mm
Max Lipo hücre	4S
Önerilen pervane (inç)	APC11x4.7, APC12x3.8, APC14x4.7

Projede motor üreticisinin önerdiği şekil 3-15'deki 12 inç fiber karbon pervane kullanılmıştır. Fiber karbon pervane dayanıklı, hafifliği ve esnemeyen özelliği avantaj sağlamaktadır. Üretici firma tarafında verilen motor pervane ikilisinin sağlamış olduğu itme kuvveti üretici firma tarafından verilmektedir. İyi seçilmiş pervaneler, performansı ve pil ömrünü artırmaktadır [45].



Şekil 3-15: 12 inç fiber karbon pervane

Pervanelerin istikrarlı bir şekilde dengeli, verimli dönmeleri için balans işlemi yapılmaktadır. Bu işlem için şekil 3-16'deki pervane balans aparatı kullanılmaktadır. Balansın dengeli olması için pervanenin ağır kısmı zımpara yapılarak denge haline getirilir. Pervane dinamikleri, uçak kanatları gibi, Bernoulli'nin ilkesi ve Newton'un üçüncü yasası ile modellenenbilmektedir [46].



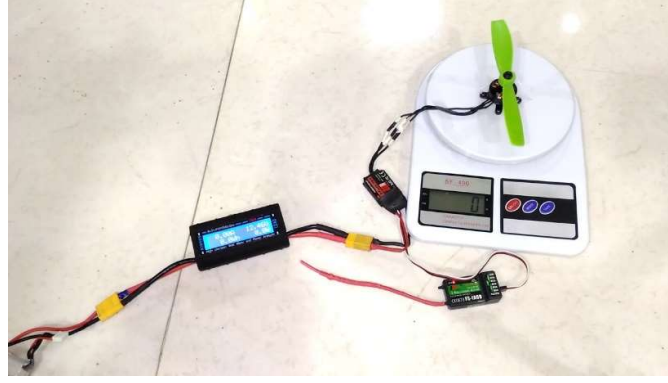
Şekil 3-16: Pervane balans aparatı

İtme kuvvetinin büyüklüğü kullanılan motora, pervaneye ve pile bağlı olarak değişir. Bu durum üreticinin motorlar için oluşturduğu kataloglardan kolayca gözlemlenebilir [47]. Aynı zamanda kaldırma kuvveti pervane sayısına, çapına ve devir sayısına bağlıdır. Üretici tarafından verilmeyen motor pervane ikilisinin itme kuvveti değerleri şekil 3-17'deki görünen kurulacak basit bir deney düzeneği ile bulunabilir. Bu şekilde motor pervane ikilisinin itme kuvveti ölçülmüş olur.

Drone üzerindeki ile birlikte ağırlığı tahmini 5,126 kg dir. Kurulan düzenek tarafından elde edilen motor pervane ikilisinin itme kuvveti ortalama max 1,8 kg dir. Dört adet motor 7,2 kg lık itme kuvveti oluşturacaktır bu drone kendini rahatlıkla yönetebileceğini göstermektedir.

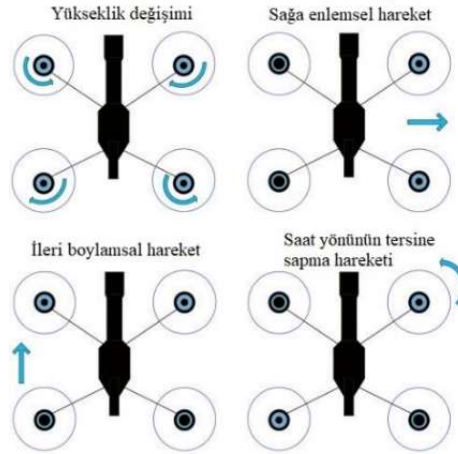
Tablo 3-4: Drone ağırlığı

No	Parça Adı	Ağırlık	Adet	Ağırlık
1	Pixhawk	41 gr	1	41 gr
2	Telemetri	27 gr	1	27 gr
3	Güç Dağıtım Devresi	40 gr	1	40 gr
4	Motor	75 gr	4	300 gr
5	Pervane	15 gr	4	60 gr
6	Esc	25 gr	4	100 gr
7	Li-po Pil	350 gr	1	350 gr
8	Kumanda Alıcı	15 gr	1	15 gr
9	Şasi	250 gr	1	250 gr
10	Kamera	20 gr	1	20 gr
11	Tank	150 gr	1	150 gr
12	Nozzle	18 gr	1	18 gr
13	Pompa	45 gr	1	45 gr
14	Pompa sürücü	15 gr	1	15 gr
15	Sıvı ilaç	3500 gr	1	3500 gr
16	Arduino Nano	5 gr	1	5 gr
17	Bağlantı Aparatları	50 gr	1	50 gr
18	Kontrol Kartı Koruma	45 gr	1	45 gr
19	Görüntü Aktarma Aparatı	35 gr	1	35 gr
20	Kablo	60 gr	1	60 gr
	Toplam Yüklü Uçuş Ağırlığı:			5126 Gr



Şekil 3-17: Motor itme kuvveti deney seti

Şekil 3-18'deki dört pervaneli hava aracının yukarı yönlü hareketi, tüm pervanelerin dönme hızlarının aynı oranda artması veya azaltılması ile gerçekleştirilir. X eksenini doğrultusunda bir yöndeki yönelim, hedeflenen hareket yönü doğrultusunda pervanelerin dönüş hızlarının azalması ve hareketin karşı yönündeki pervanelerin hızlarının yükselmesi ile gerçekleştirilir. Y eksenini doğrultusunda yönelim ve sapma hareketi de X eksenini hareket mantığıyla aynı biçimde değişik hızlarda dönen pervanelerin momentleri aracılığıyla gerçekleştirilir [48].

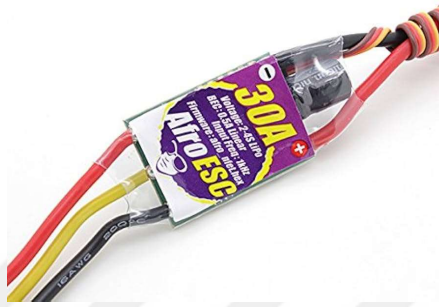


Şekil 3-18: Hava aracının temel hareketleri [49]

3.3.3. Elektronik Hız Kontrolcüsü (ESC)

Drone larda kullanılan motorları kontrol eden motor sürücülerine ESC denir. Kontrol kartında gelen sinyallere göre motorun hızını ayarlar ve dronun havada kalmasını sağlar. Motorun kapasitesine, kullanacağı akıma göre ESC belirlenir. Proje de kullanılan şekil 3-19'deki ESC 30

amper dir. Motor türlerine göre farklı akım değerleri sunan farklı boyutlarda elektronik kontrol üniteleri vardır [50]. ESC'lerin üzerinde yazan akım değeri en yüksek ve kısa zaman dayanabilecekleri akım kapasitesidir. Bu süre yaklaşık 10 saniye olarak tanımlanmıştır [51]. Sürenin uzaması ESC'nin üzerindeki yarı iletken malzemelerin arızalanmasına sebep verecektir. Bu nedenle motor max akım değerin iki katı büyüklüğünde akım sağlayabilecek ESC seçilmelidir.



Şekil 3-19: Motor kontrol kartı

Tablo 3-5: ESC bilgileri

Esc Özellikler	
Akım	30 A
Gerilim	2-4S
Ağırlık	26,5 gr
Boyut	50x25x11 mm

3.3.4. Uçuş Kontrol Kartı

Drone kontrol kartı, kendisine bağlı algılayıcılardan ve yer istasyonundan gelen bilgileri üzerindeki yazılıma göre göre işleyerek yorumlayarak gerekli sinyalleri, esc lere iletir ve hava aracının stabil şekilde uçuşmasını sağlar. Kontrol kartına kendisine bağlı birçok sensör mevcuttur. Bu sensörler sayesinde İHA mevcut pozisyonu ve kalkış yaptığı nokta hakkında bilgi edinerek otonom veya manuel hareket edebilir. Kontrol kartında GPS, barometre, manyetometre, ivme ölçer ve jiroskop gibi sensörler bulunmaktadır.

GPS drone nun konumunu belirlemede kullanılır. GPS uydulardan alınan radyo sinyalleri ile her türlü şartta doğru ve ekonomik olarak üç boyutta konum belirleme sistemidir [52].

Barometre kontrol kartı üzerinde bulunmaktadır. Hava basıncını ölçerek drone'nun yerden yüksekliği hakkında bilgi vermektedir. Deniz seviyesinden yükseldikçe basınç da artmaktadır. Hassas ölçüm yapmak için harici barometre sensörü takılabilmektedir.

İvme ölçer sensörü üç eksen de ivmeyi ölçerek pozisyon hakkında bilgi verir. Pozisyon bilgisi drone için önem arz etmektedir. İvmeölçer bir yöne doğru eğilirse yerçekimi ivmesi bu eksenlere etki edecek ve bu eksenlerdeki ölçümlerde bir değişim görülecektir [53].

Jiroskop drone'nun eksenlerdeki açısını ölçen sensördür. Ölçümünü saniye derece biriminde yapmaktadır. Jiroskop, x, y ve z eksenleri üzerindeki açısal hız değerlerini ölçer. Yönelim kestiriminde bulunurken, algılayıcılardan alınan ölçümlerde datanın güvenilirliğini azaltacak seviyede yüksek gürültüler mevcuttur. Bu sebeple tek algılayıcıdan alınan datalar ile yön kestirimi gerçekleştirilemez. Jiroskoplara ek olarak manyetometre ve ivmeölçerden gelen veriler ile manyetik alan hesaplanarak yüksek bir doğruluk oranına ulaşılabilir [54].

Manyetometre dijital pusuladır. Drone yönünü manyetometre ile bulmaktadır. Dünyanın manyetik alanını kullanarak çalışmaktadır. Projede drone kontrol kartı olarak şekil 3-20'deki Pixhawk kullanılmıştır. Farklı tasarıma sahip sabit, döner kanat gibi hava araçlarında kullanılabilmektedir.



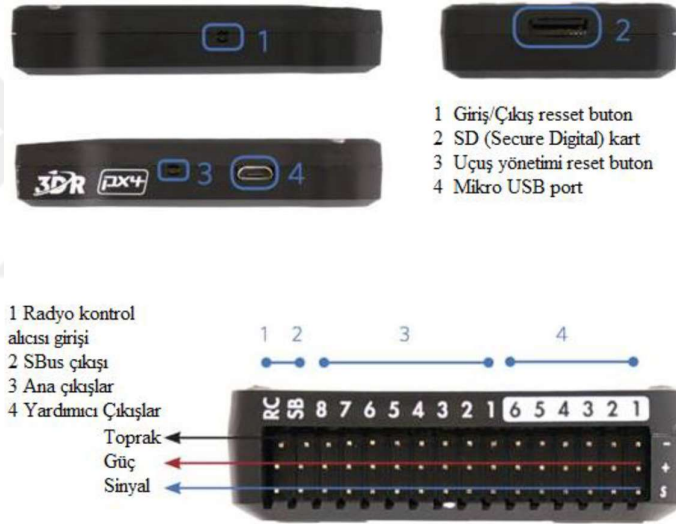
Şekil 3-20: Drone kontrol kartı pixhawk

Pixhawk Kontrol Kartının Özellikleri:

- 32 bit Arm Cortex M4 tabanlı ST Microelectronic
- 14 Adet PWM çıkış portu
- Uart I2C CAN. Bunlarla çalışan herhangi bir sensör, kontrol elemanı kolayca eklenebilir.
- Durum belirtmek için çok renkli LED ışıklar

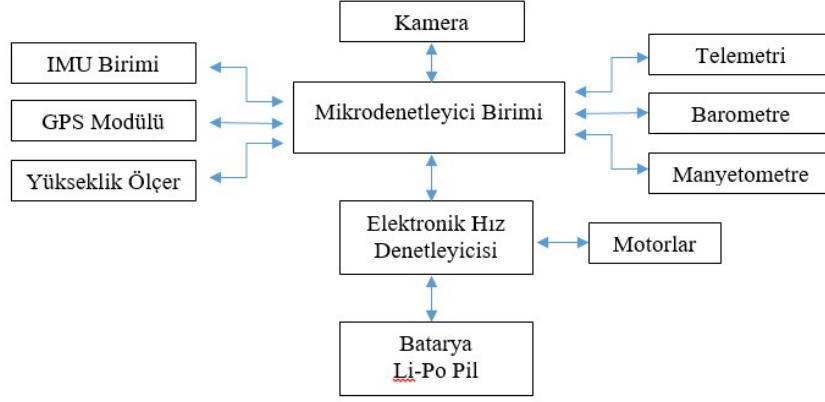
- SD kart desteği sayesinde uzun süre ve yüksek frekansta sensör verisini daha sonra incelemek için kaydedebiliyorsunuz.
- ST Micro L3GD20 3-axis 16-bit gyroscope
- ST Micro LSM303D 3-axis 14-bit accelerometer / magnetometer
- Invensense MPU 6000 3-axis accelerometer/gyroscope
- MEAS MS5611 barometer

Kumandadan gelen uçuş komuta sinyalleri drone üzerindeki kumanda alıcı tarafından alınarak kontrol kartına iletilir. Kumanda sinyal alıcısı RCIN portuna bağlanmıştır. Şekil 3-21 de kontrol kartı portları görülmektedir.



Şekil 3-21: Pixhawk kontrol kartı portu

Drone kontrol kartı, bir hava aracının insan ile devamlı olarak elle kontrolüne gerek duyulmadan belirlenen bir güzergâh uçmasına imkân sunan karttır. Bu sistem, insanın zihinsel ve fiziksel yorgunluk sebebi ile temel seviyedeki uçuş değerlerine odaklanmaktan kurtarıp, güzergahı gözlemlleme ve hava şartları gibi daha önemli uçuş değerlerine odaklanma olanağı sunar. Drone kontrol kartı, hava aracını, elektriksel, mekanik yada hidrolik olarak kontrol imkanı sunar. Şekil 3-22 de gösterilen modern tasarımlarda, genel uçuş kontrollerine ilaveten kontrol kartları, motorların kontrolü gerçekleştiren mekanizmalar ile bütünleşik bir sistem halinde oluşturulmuştur. Bu şekilde dronun eksenleri doğrultusunda yönelimine ilaveten hız kontrollüde yapılabilmektedir [55].



Şekil 3-22: Kontrol sistemi blok diyagramı

3.3.5. GPS Konumlama Sensörü

GPS konumlama sensörü; dronun otonom uçuş modunda komutları gerçekleştirebilmesi için gerekli bir sensör çeşididir. Tarım alanı ilaçlama uygulamalarında kullanılan bu dronun alan üzerinde otonom uçuşlarda hassas olarak koordinatları takip edebilmesi için, GPS sensörünün hassas olması önem arz etmektedir. Bu projede kullanılan şekil 3-23'deki GPS sensörü; Neo-M8N tipi olup, kendi içerisinde dahili yön pusulası vardır. Bu şekilde komutların koordinatlarına yönlendirilen dronun, konumunu yönünü bilmesi için uçuş kartı içerisindeki mevcut pusulaya ilaveten GPS modülü içerisinde mevcut ikinci manyetik pusula aracı ile 5 ile 10 cm kayma hata payı ile komutları başarı ile sağlamaktadır.



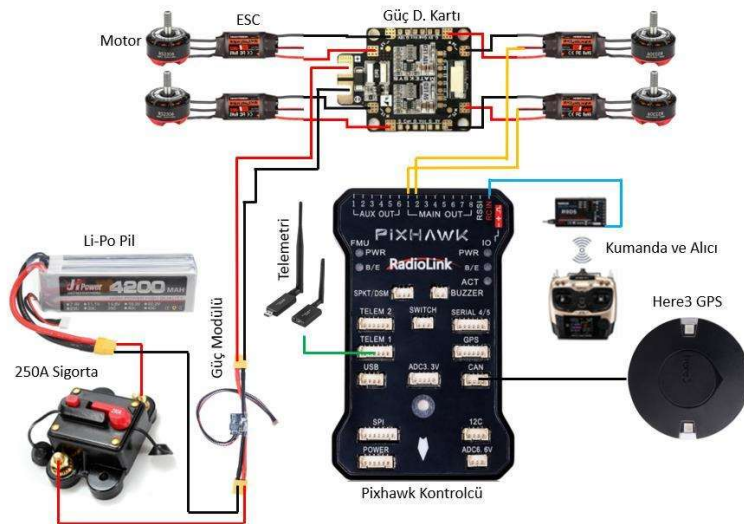
Şekil 3-23: GPS modülü

Tablo 3-6: GPS modülü teknik özellikleri

Gps Teknik Özellikleri	
Desteklediği uydu isimleri	BeiDou, GLONASS, GPS
Çalışma sıcaklık aralığı (Santigrat)	-40,+85 C
Çalışma gerilimi	3.6 V
Maksimum uydu sayısı	25
Üretim yılı	2015
İlk başlama kilitlenme süresi (saniye)	25
Sıcak kilitlenme (kapa aç) süresi	1
Konumlama hata payı (metre)	1
İvmelenme hata payı (m/s)	0.5
Pusula yön hata payı (derece)	0.3
Maksimum yükseklik (metre)	50.000
Ölçülebilir maksimum hız (m/s)	500

3.3.6. Drone Elektronik Şeması

Dört adet Motor dört farklı Esc ye bağlıdır. Esc lerde kontrol kartının portlarına bağlanmıştır. Kontrol kartı çalışma enerjisini lipo ya bağlı güç modülünden almaktadır. Kontrol kartı 5volt DC ile çalışmaktadır. Kontrol kartına yer istasyonu ile bağlantı sağlamak için 2 adet telemetri bağlanabilir. Drone elektronik bağlantı şeması şekil 3-24’de görünmektedir.

**Şekil 3-24:** Drone elektronik şeması

3.3.7. Kumanda ve Alıcı

Drone'nu yer istasyonu komuta merkezidir. Şekil 3-25'deki kumanda kullanıcının uçuş yönlendirmeleri ve modları komunda aracı ile drone aktarılmaktadır. Drone üzerindeki kumanda alıcısı kontrol kartına bağlıdır. Alıcı yerdeki kumanda dan gelen sinyalleri kontrol kartına aktararak drone'nun istenen şekilde hareket etmesi sağlanmaktadır. Projede 9 kanallı 2.4 GHZ çalışma frekansına sahip TURNİGY marka 9X model kumanda kullanılmıştır.



Şekil 3-25: Drone kumandası

3.3.8. Telemetri

Yer istasyonu ile Drone arasındaki iletişimi bağlantısını belirli mesafeye kadar şekil 3-26'deki telemetri aracılığıyla yapılır. Drone üzerindeki veriler telemetri cihazı yoluyla yer istasyonuna ulaştırılır. Yer istasyonunda görünen konum ve drone bilgileri (hız, yükseklik, batarya kapasitesi vb.) telemetri cihazı vasıtasıyla elde edilir. Aynı şekilde pilot komutları, izlenecek rota ve drone parametreleri gibi bilgiler yer istasyonundan drone telemetri aracılığı ile aktarılabilir. Projede çift yönlü veri aktarımı yapabilen bir telemetri kullanılmıştır. Bu telemetri 433 mhz çalışma frekansına ve 117 dBm iletim gücüne sahiptir.



Şekil 3-26: Telemetry modülü

3.3.9. Batarya

Projede şekil 3-27'deki Li-po pil kullanılmıştır. Yüksek akım ve kapasiteye sahiptir. 55 C kapasite değerli 4 S pildir. Yeniden şarj edilebilir özelliğe sahiptir. Lipolar 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 [56]. Yapılan hesaplar sonucunda hava aracı için gerekli pil kapasitesi bulunur. Pil teknolojisi gelişmekle birlikte İHA Li-po sayesinde uzun uçuş sürelerine sahip olur [35]. LiPo bataryalar 3.3V ve 4.2V aralığında sağlıklı olarak enerji verebilmektedir [57]. Uçuş zamanı bataryanın kapasitesini belirleyen önemli özelliklerden bir diğeridir. LiPo bataryaların kapasitesi yükseldikçe ağırlıkları da yükselmektedir. Bu sebeple yüksek kapasiteye sahip LiPo batarya kullanımı aynı değerde yüksek uçuş zamanı sağlamayacaktır. Dronun kaldırma gücünün üstünde yükü yüklenmesi enerji harcamasını arttırmışından dolayı maliyet yükselecek, uçuş zamanı da azalacaktır.

Dronların yükseliş ve alçalma anında tükettiği enerji, havada sabit kaldığı anda tükettiği enerjiden çok daha yüksektir. Bu sebeple anlık gerekli akımı sunabilecek LiPo batarya kullanımı gereklidir. Akım kapasitesini belirlemek için gerekli değer C parametresidir. C parametresi bataryanın anlık en yüksek deşarj sınırını belirtmektedir [58]. Anlık akım deşarj seviyesinin geçildiği zaman bataryanın kullanım süresi kısaltacağı gibi, güvenlik riski oluşturan yangın gibi riskler meydana getirebilmektedir.



Şekil 3-27: Lipo pil

Drone yüklü halde 5.126 gr gelmektedir. Bir adet motora 1281 gr ağırlık düşmektedir. Motor üretim firmasının vermiş olduğu verilere göre motor 1300 gr yükte ort. 3 amper akım çekmektedir. Bu değer kurulabilecek test düzeni ile de bulunabilir. 2 adet motor havada sabit durumdayken toplamda anlık 12 amper lipo da akım çekecektir. Lipo özelliklerine göre 60 dk 2200 mA akım verebilmektedir. Bu denkleme göre 2000 mA akım çekerse 16 dk havada drone kalabilmektedir. Bu değer tahmini ve ortalama bir değerdir.

Tablo 3-7: Lipo özellikleri

Lipo Özellik	
Model No	Leopard Lipo
Kapasite	2200 mAh
Gerilim	14.8 v
Deşarj Akımı	55C

3.3.10. Güç Modülü

Güç modülünün kullanım amacı, drone daki bütün elektronik kısımların ihtiyacı olan enerjiyi lipo dan alarak bu enerjiyi elektronik parçalara zarar vermeyecek seviyede iletmesi ve kullanılan toplam akımı hesaplayıp uçuş kontrol kartına iletmesidir. Pixhawk kontrol kartı 5V gerilim seviyesinde çalışmaktadır bu nedenle Li-Po pilden gelen 22,2V gerilimin düşürülmesi sağlanmalıdır. Güç modülü sayesinde pilden gelen gerilim seviyesi 5V'a düşürülerek kontrolcünün çalışması gerçekleşmektedir. Projede şekil 3-28'daki XT60 5.3V DC BEC Güç Modülü kullanılmıştır.



Şekil 3-28: Güç modülü

3.3.11. Kamera

Projede şekil 3-29'daki IMAGO H8 aksiyon kamerası kullanılmıştır. Boyutu, maliyeti ve yeterli görüntü kalitesi nedeni ile bu kamera uygun görülmüştür. 1080P tam HD video kaydı, 1,5inc HD ekran, usb 2.0, 32GB microSD, 800mAh lipo kapasitesi özelliklerine sahiptir. Görüntüsünün yer istasyonuna aktarımı için 5GHz bağlantı kullanarak kamera modülünden video beslemesi almak için kullanılır. [59]



Şekil 3-29: Kamera

3.3.12. Görüntünün Yer İstasyonuna Aktarılması

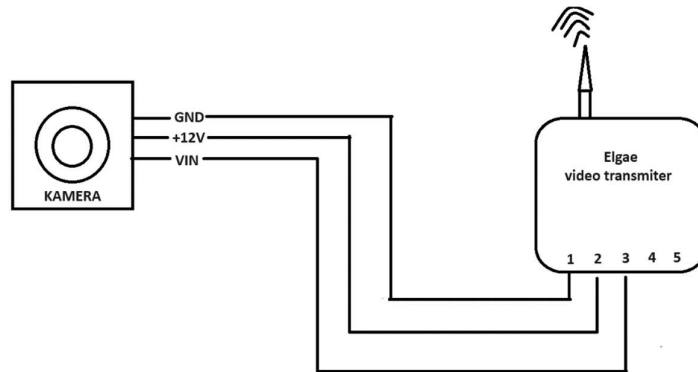
Kamera dan gelen görüntüler kablo aracılığı ile algea trasmitter cihazına aktarılır. Şekil 3-30'deki Algea trasmitter, drone üzerindeki videonun her karesini işlemek ve yer tespiti ve tanıma uygulamak için yer istasyonuna gerçek zamanlı bir video görüntüsü iletmek için kullanılan modüldür. Algea cihazı kendisine gelen görüntüleri yer istasyonundaki alıcılara iletir. 5.8 ghz gücüne sahip olan bu ürün iyi bir performans vermektedir. Yer istasyonundaki ekrana drone uçuş bilgilerinin aktarılabilmesi için osd kullanılabilir. Bu bilgiler uçuş süresi, lipo durumu, yükseklik vb. gibi isteye bağlı olarak ayarlanabilir. Şekil 3-31'de kamera ile trasmitter arasındaki elektriksel bağlantı görünmektedir.



Şekil 3-30: Görüntü aktarma modülü

Özellikleri:

- Video formatı: Pal/NTSC
- Çıkış empedansı: 50Ohm
- Verici mesafesi: >2000m (açık alan)
- Kanallar: 8CH
- Güç kaynağı: 6.5-12 volt
- Akım kaynağı: 200Ma
- Verici çalışma gerilimi: 7 ~ 15VDC / 150mA
- Video bant genişliği: 0 ~ 8.0MHz
- Ses frekansı: 6.5MHz
- AV girişi: analog AV sinyal girişi
- ANT konektörü: SMA (iğnenin içinde)
- Net ağırlık: 43g
- Brüt ağırlık: 52g
- Boyutlar: 55x26x17mm



Şekil 3-31: Kamera- video transiter bağlantı şeması

3.3.13. Yer İstasyonunda Görüntünün İzlenmesi

Drone üzerindeki kamera görüntülerinin yer istasyonunda izlenmesi için şekil 3-32'deki 5.8 Ghz alıcılı 7 inç LCD ekran kullanılmıştır. Ekran da iki adet anten alıcı mevcuttur. Ekran sayesinde tarım alanındaki mahsuller canlı olarak izlenebilmektedir. Kullanıcı ekrandan aldığı görüntülere göre karar vererek gerekli görev ve komutları kumanda aracılığı ile drone iletmektedir. Yer istasyonunda ki ekran kumanda üzerine yerleştirilebildiği gibi tripod üzerine de monte edilebilir.



Şekil 3-32: Yer istasyonu ekran

3.3.14. Uçuş Yazılımı

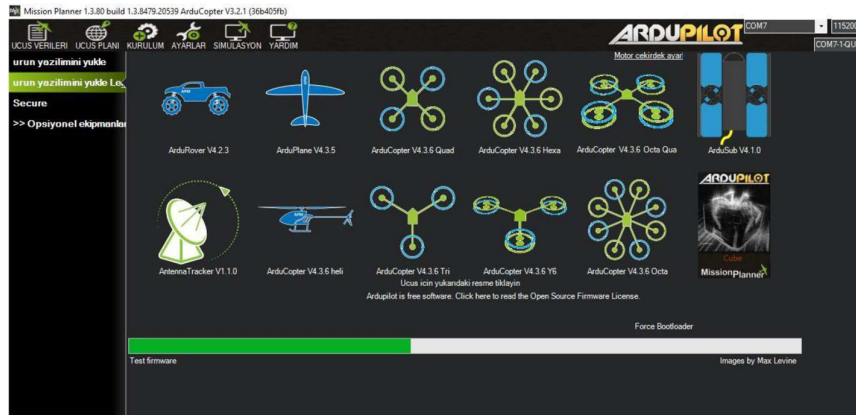
Drone için pixhawk marka kontrol kartı kullanıldı. Ardu pilot (mission planer) yazılımı bu kartı desteklemektedir. Yazılım ücretsiz olarak bilgisayara indirilir. Şekil 3-33'deki mission yazılımı ile kontrol kartına firmware (uçuş yazılımı) yüklenebilir. Drone için sensör kalibrasyonları yapılabilir. Drone anlık olarak izlenebilir (konum, pil durumu, rota bilgisi vb.). Drone için rota çizilerek takip etmesi istenebilir.



Şekil 3-33: Uçuş yazılımı mission planner

3.3.14.1 Kontrol Yazılımının Yüklenmesi

Mission Planer programı bilgisayara yüklendikten sonra kurulum bölümünün altından tasarlanan İHA'nın şekli seçilerek uçuş kontrol yazılımı bilgisayara indirilerek kontrolcüye kurulmuştur.

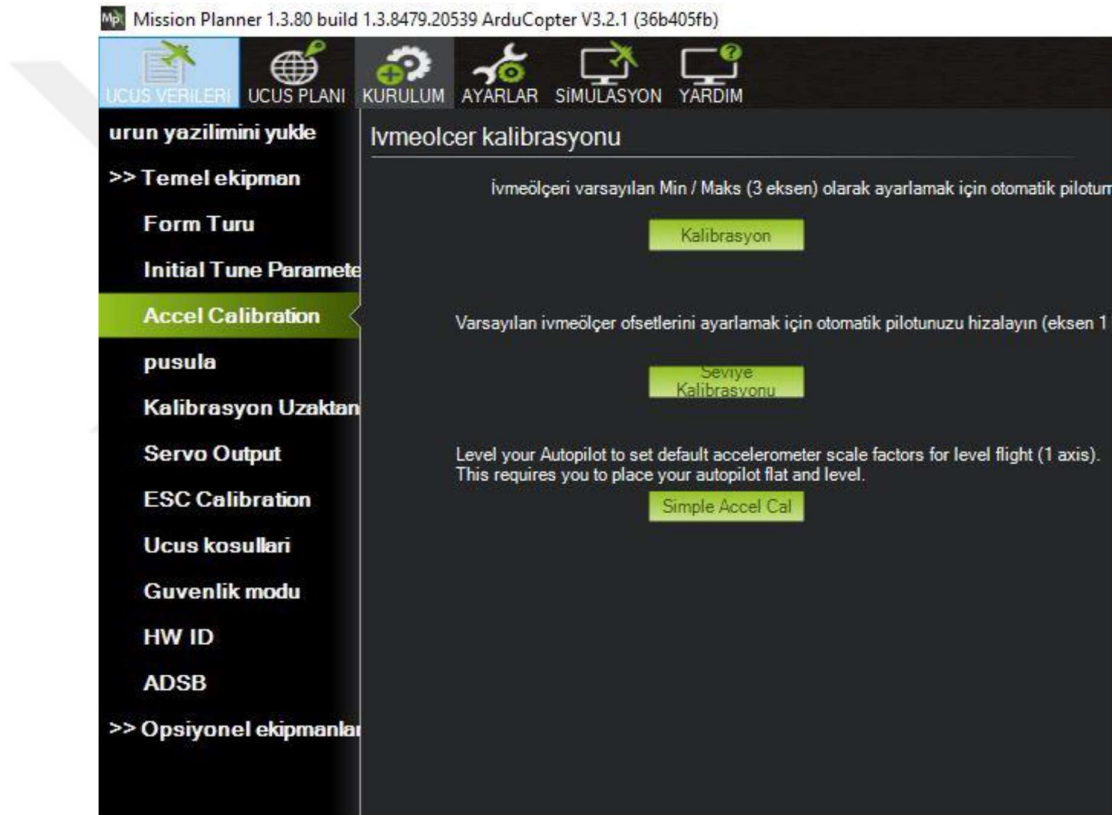


Şekil 3-34: Mission planner kontrol yazılımı yükleme

Şekil 3-34'deki sağ üst kısımdaki haberleşme parametrelerine uygun port ve baudrate seçilip bağlan butonuyla kart ile bağlantı sağlanmıştır. Bu aşamadan sonra kurulum ekranının alt bölümüne temel ekipman ve opsiyonel ekipman başlıkları açılmıştır. Temel ekipman bölümünün altından form çeşidi yapılanmasını uygunluğu kontrol edilerek kalibrasyonlara başlanmıştır.

3.3.14.2 İvme Ölçer ve Pusula Kalibrasyonu

İvme ölçer kalibrasyonun gerçekleşmesi için aracın üç ekseninde de 360° tur atması gereklidir. Bu nedenle kontrol kartı haberleşme bağlantısının telemetri ile sağlanması kalibrasyonun daha kolay ve doğru bir biçimde yapılması için önemlidir. Gerekli ayarlar yapıldıktan sonra şekil 3-35'deki ekran üzerinden kalibrasyon butonuna basılarak işlem başlatılmış ve programın yönlendirdiği hareketler gerçekleştirilmiştir. Gerekli veri toplandığında kalibrasyonun başarıyla bir şekilde yapıldığına dair program uyarı mesajı vermiştir.



Şekil 3-35: İvme ölçer ve pusula kalibrasyonu

3.3.14.3 Kumanda Kalibrasyonu

Drone yönlendirmek için pilot tarafından kullanılan yer istasyonunda kumanda vardır. Bu nedenle şekil 3-36'deki kumanda joysticklerinin maksimum minimum seviyeleri ile switchlerin pozisyonlarının uçuş kontrol kartına tanıtımı sağlanmalıdır.

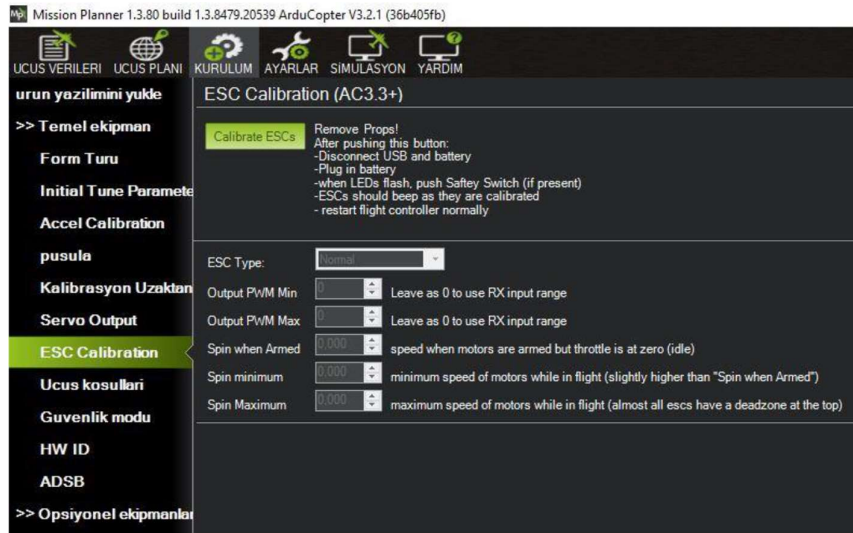


Şekil 3-36: Kumanda kalibrasyonu

Radyoyu kalibre et butonuna basilarak joyistick ve switclerin pozisyonlari maksimum ve minimum seviyeye alinarak kalibrasyon saglanmistir.

3.3.14.4 ESC Kalibrasyonu

Elektronik hiz suruculerin kalibrasyonu gercekleşmeden önce motorlardan pervanelerin çıkartılması guvenlik için önemlidir [60]. Şekil 3-37’de temel ekipman bölümünün altında yer alan ESC kalibrasyonu butonuna tıklanarak esc kalibrasyonu sayfasına ulaşılır.

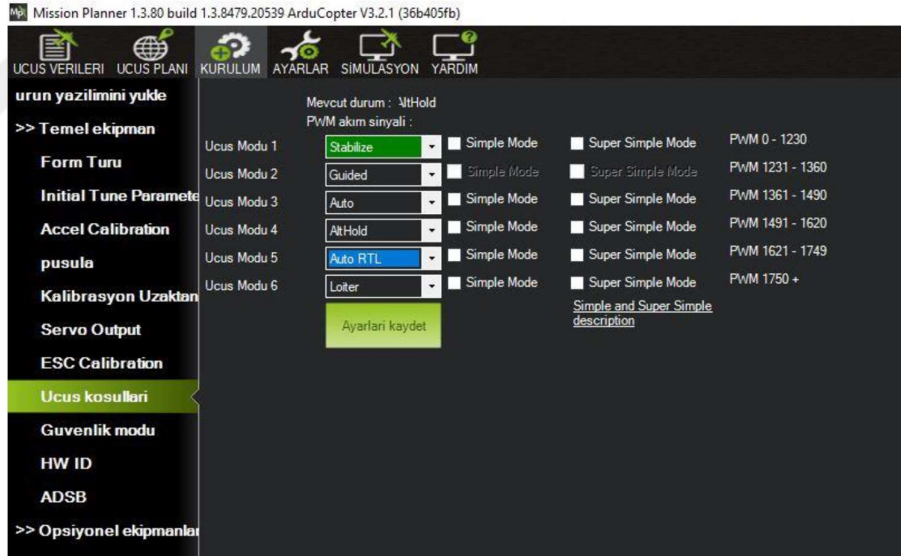


Şekil 3-37: Esc kalibrasyonu

Kalibrasyon butonuna tıklanarak uçuş kontrol kartının enerjisi tamamen kapatılmıştır. Bunun yapılabilmesi için pil ve kablolu bilgisayar bağlantısının kesilmiş olmalıdır. Pil tekrar bağlanarak güvenlik switchine basılmalıdır. Kalibrasyon bittiğinde buzzer çalışmaya başlamaktadır. İşlem tamamlandığında kart yeniden çalıştırılmalıdır.

3.3.14.5 Uçuş Modu Atamaları

Uçuş modları kontrol kartında bulunan sensörlerin ayrı ayrı ya da aynı anda kullanılmasıyla İha'nın hareket kabiliyetini dinamiğini değiştiren bir moddur. Uçuş modlarının kumanda ile değiştirilebilmesi için ilgili switchlerin konumlarına belirtilmeleri gerekmektedir. Şekil 3-38'deki temel ekipman bölümünün altında yer alan uçuş şartları menüsünde görüldüğü gibi kumanda ile altı farklı uçuş modu ayarlanabilmektedir. Uçuş modları kanallara atarken ilgili switchin konumu değiştirildiğinde aktif olan mod yeşil renk ile belirtilmektedir. Ayarlar tamamlandıktan sonra ayarları kaydet butonuyla uçuş modları kontrol kartına aktarılmaktadır.



Şekil 3-38: Uçuş modu atamaları

3.3.14.6 Güvenlik Önlemleri

Yer kontrol istasyonu ile drone bağlantısının veya kumanda ile drone bağlantısının kopması durumunda dronun nasıl hareket etmesi gerektiği daha önceden kontrol kartına bildirilmelidir. Bu fonksiyon için şekil 3-39'daki güvenlik Modu penceresi açılarak sağ altta bulunan Pil, Radyo, Yer istasyonu bölümünden söz konusu durumlar için görev tanımlamaları gerçekleştirilmelidir.



Şekil 3-39: Güvenlik önlemleri

3.3.14.7 Motor Testi

Gerekli ayarlar yapıldıktan sonra Drona pervaneler yerleştirilmeden motor testi yapılması mümkün olan bir kırımlı önlemek için önem arz etmektedir. Motorların dönüş yönleri ve devir hızları şekil 3-40'deki opsiyonel ekipmanlar bölümünün altında yer alan motor testi alanında gerçekleştirilebilir. Motorlar testi tamamlandıktan sonra dönüş yönü olması istenen yönden farklı olan motorun ESC bağlantısındaki iki faz kablusunun yeri değiştirilerek motorun dönüş yönü düzeltilebilir [61].



Şekil 3-40: Motor testi

3.3.15. PID Ayarlarının Yapılması

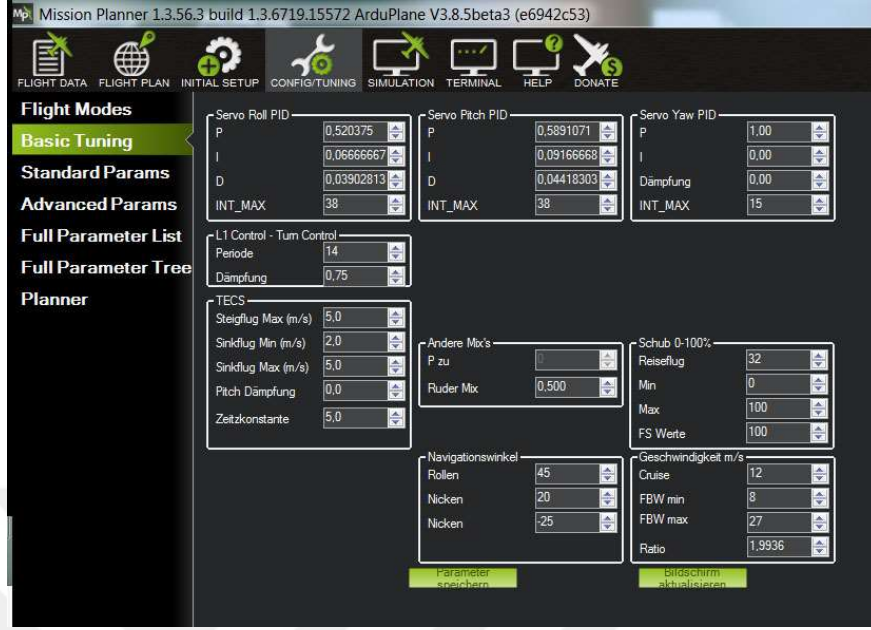
PID, Oransal, İntegral, Türev kelimelerinin İngilizce baş harflerinin kısaltılmışıdır. Algılayıcılardan iletilen verileri okuyan ve drone istenen dönüş hızını muhafaza etmek için motorların hangi seviyede hızlı dönmesi gerektiğini hesaplayan bir uçuş kontrol yazılım parametresidir. PID kontrol modülünün hedefi, hatalı alınan değer (jiroskop sensörü ölçümü) ve hedeflenen bir ayar seviyesi (istenen dönüş hızı) arasındaki farkı doğrultmaktır. Motorların hızı olan her çevrimde kontrol girişleri ayarlanarak hata en aza düşürülebilir [62].

Bir PID kontrol modülünde (P terimi, I terimi ve D terimi) olarak üzere üç parametreye sınıflandırılır:

- P (Proportional) Oransal = Oransal terim sistemden alınan hatayı bir kat sayı ile çarparak eksiği azaltmayı amaçlar. Bozucu etkilerinde vardır. Örneğin hata hedeflenen değerlere yaklaştığında çıkışta osilasyon olma ihtimali büyüktür.
- I (Integral) İntegral = İntegral hatanın alanını hesaplama anlamına ifade etmektedir. Her bir dt döngüsünde hata K_i katsayısıyla çarpılarak biriktirilir. İntegralin çok büyümesini önlemek için sınırlandırma yapılmalıdır. Devamlı toplandığı için integral çok büyürse tekrar düşmesini beklemek zaman almaktadır. Bu sebeple integrali sınırlamak sistemin hızlı düzelmesini gerçekleştirecektir.
- D (Derivative) Türevsel = Türev sistemdeki iki örnek arasındaki zamanı hesaplar. Eğer hatada bir değişim olmasa türev sıfır değer verir.

Drone PID parametreleri tahmini değerler ile deneme yanılma yöntemi ile bulunabilir. Bu işlem yanlış bir PID ayarı sonucu drone kazası ile sonuçlanabilir. Bu kazalar önlemek için kurulabilecek bir test mekanizmasıyla PID ayarları test edilebilir ve ideal ayarlar bulunabilir.

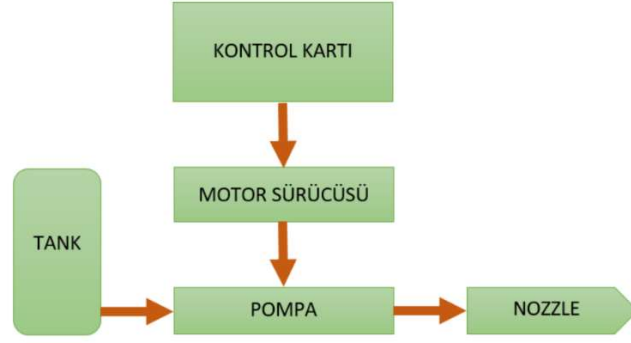
Şekil 3-41'deki missin planner programı aracılığı ile yer istasyonundaki kumanda alıcısından verilen autotune modu komutu ile hava aracının gerçek ortamda ideal PID ayarlarını kendi otomatik hesaplayarak kaydedebilir. En ideal PID ayarlarına bu autotune modu ile ulaşılır. Yalnız bu işlemin kaza riski vardır. Kazaya karşı önlem alınmalı ve dikkatli olunmalıdır.



Şekil 3-41: PID ayarları

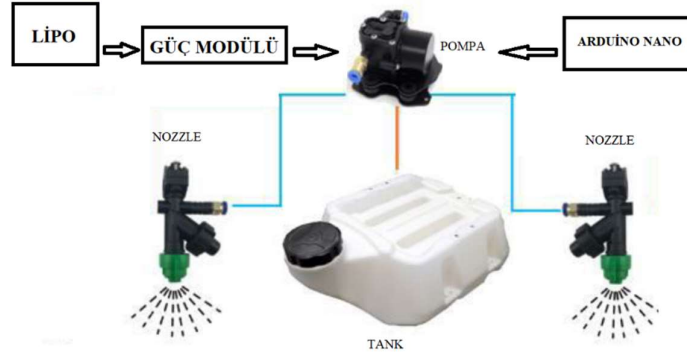
3.4. DRONE İLAÇLAMA MEKANİZMASI

Tarım ürünlerinde ilaç kullanılması sayesinde verimin %60 oranında artış gösterdiği yapılan çalışmalar neticesinde bilinmektedir [1]. Drone ilaçlama mekanizması ile tarım ürünleri ilaçlanmaktadır. Bu mekanizma drone üzerine monte edilmektedir. İlaçlama mekanizması Tank, pompa, nozlle ve mekanizmayı kontrol eden kontrol biriminden oluşmaktadır. İlk aşamada prototip üretimi için küçük bir mekanizma tasarlanmıştır. Kontrol biriminden gelen pwm sinyallerine göre pompa değişik hızlarda dönmektedir. Pompa hızına bağlı olarak nozll dan farklı debilerde ilaç sıvısı çıkmaktadır. Günümüzde ve geleceğimizde tarım verimi daha çok önem arz etmektedir. Aşırı gereksiz ilaçlama tarım alanlarındaki mahsule zarar vermekte verimi düşürmektedir. Kullanılan ilaç içerisinde kimyasal bulunması nedeniyle insan sağlığında solunum ve kalp rahatsızlıkları gibi çeşitli hastalıklar meydana gelmektedir [63]. Şekil 3-42'deki ilaçlama sistemi aracılığı ile değişik debideki ilaçlama yapılarak gereksiz ürün ilaçlamasının önüne geçilir verim artar, insan sağlığı korunur. Aynı zamanda ilaçlı mahsul oranı azalacak insan sağlığı ve çevre daha çok koruma altına alınacaktır.



Şekil 3-42: İlaçlama mekanizması blog diyagramı

Püskürtme sistemi 14.8V voltaj ile çalışmakta olan pompa, plastik ilaçlama tankı, püskürtme nozulları ve hortumdan meydana gelmektedir. Püskürtme sistemi otonom(sürekli) ilaçlama yöntemi ve değişik debide ilaçlama için arduino nano kontrol kartı kullanılmaktadır. Şekil 3-43’de püskürtme sistemi şematik diyagramı görülmektedir. Pompanın devreye girmesi ile pompa ilaç tankından ilaç olarak ilacın nozullara ulaşmasını sağlanmaktadır. Bu şekilde püskürtme uygulaması yapılarak belirlenen tarım alan ilaçlanmaktadır.



Şekil 3-43: Püskürtme sistemi malzemeleri ve bağlantı yapısı.

Püskürtme uygulaması pompanın basınçlı ilacı nozullara ulaştırması sonucunda gerçekleşmektedir. Drone ilaçlama sisteminde bulunan ilaç püskürtme sistemi anlık pilot komutları ile sabit debide ve değişken debide ilaçlamada uygulanan ortak mekanizmadır. Koordinat sistemine göre sabit ve değişken debide ilaçlama için de bu mekanizma kullanılabilir. İlaç püskürtme sistemini kumandadan gelen komutlara göre Arduino nano kontrol kartı kontrol etmektedir.

3.4.1. Kontrol Kartı

Kontrol kartı kendisine gelen sinyalleri üzerindeki yazılıma göre işleyerek değişik değerlerdeki PWM sinyalleri üretir. Bu sinyaller pompa sürücüsüne iletilir. Projede şekil 3-44'deki mini arduino nano kullanılmıştır.



Şekil 3-44: Arduino nano

Arduino Nano Teknik Özellikler:

- Mikrodenetleyici ATmega328
- Çalışma Gerilimi 5V
- Giriş Gerilimi (önerilen) 7-12V
- Giriş Gerilimi (limit) 6-20V
- Dijital I/O Pinleri 14 (6 tanesi PWM çıkışı)
- Analog Giriş Pinleri 8
- Her I/O için Akım 40 mA
- 3.3V Çıkış için Akım 50 mA
- Flash Hafıza 32 KB (ATmega328) 2 KB kadarı bootloader tarafından kullanılmaktadır
- SRAM 2 KB (ATmega328)
- EEPROM 1 KB (ATmega328)
- Saat Hızı 16 MHz
- Uzunluk 45 mm
- Genişlik 18 mm
- Ağırlık 5 g

3.4.2. Pompa ve Sürücüsü

Pompa Tank daki ilaçlı sıvıyı çekerek nozzle iletmektedir. Sürücüden gelen sinyallere bağlı olarak farklı devirlerde dönmektedir. Bu şekilde tank dan çektiği sıvı miktarı değişmektedir. Şekil 3-45'daki pompa 5v ile çalışmaktadır. 200 mA akım çekmektedir. Akış hızı 15-30 L/H dir.



Şekil 3-45: İlaçlama mekanizması pompa

Sürücü kartı olarak şekil 3-46'deki L298 kullanılmıştır. Sürücü kontrol biriminden gelen sinyallere göre pompayı çalıştırmaktadır. Sürücüye iki adet pompa bağlanabilmektedir. Elektriksel gücünü drone güç modülünden almaktadır. 2A kadar pompayı çalıştırabilmektedir. Yüksek sıcaklıklarda çalışabilmekte ve üzerinde soğutucusu vardır. Pompanın çalışabilmesi için uçuş sonrasında kumandadan atanmış olan switch'in aktif edilerek püskürtme komutu verilmesi gerekmektedir.



Şekil 3-46: İlaçlama mekanizması pompa sürücüsü

3.4.3. Nozlle

Pompa tarafından iletilen ilaçlı sıvı nozzle aracılığı ile tarım alanındaki mahsullere yukarıdan püskürtölmektedir. Projede ekil 3-47'deki 2 adet nozzle kullanılmıştır. Projede nozzle giriş, çıkış çapı püskürtme açısı ve iletim mesafesi dikkate alınarak seçim yapılmıştır. Tablo 3-8 de drone içerisinde kullanılan nozula ait basınç ve akış oranı bilgileri görölmektedir.



Şekil 3-47: VP 110 015 modeli nozzle

Tasarlanan drone üzerinde püskürtme nozulu olarak ticari tarım dronlarında tercih edilen VP 110 015 modeli kullanılmıştır. Burada 110 rakamı nozulun püskürtme açısını, 015 rakamı ise nozulun değişen akış miktarını ifade etmektedir.

Tablo 3-8: Nozul alışma değerleri

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

3.4.4. Tank

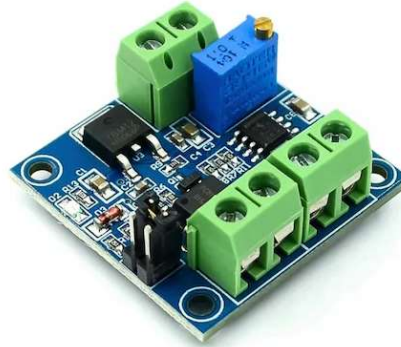
İlaçlama mekanizmasında sıvının depo edilmesi için tank kullanılmıştır. Prototip bir proje olduğu için ekil 3-48'daki 3500ml tank tercih edilmiştir. Drone da ağırlık çok fazla önem arz ettiği için tank malzemesi olarak plastik tercih edilmiştir.



Şekil 3-48: İlaçlama mekanizması tank

3.4.5. İlaç Debisinin Ayarlanması

Yer istasyonundaki kumanda analog kollarında biri değişken ilaçlama debisi için atanmıştır. Drone üzerindeki kumanda alıcısını bu analog koldaki değerlere göre değişken pwm sinyalleri üretmektedir. Alıcıdan alınan pwm sinyalleri şekil 3-49'deki pwm-v dönüştürme kartı aracılığı ile 0-5v dc voltaj değerine dönüştürülür. Bu değişken voltaj değerler aracılığı ile pompa değişken debilerde ilaçlama yapmaktadır.



Şekil 3-49: PWM - voltaj dönüştürücü kartı

3.5. İLAÇLAMADA OPTİUMUM UÇUŞ PARAMETRELERİN BULUNMASI

Drone ile ilaçlamada uçuş hızı ve yüksekliye bağlı olarak ilaçlamanın ne derece ideal olup olmadığı değişmektedir. Değişken etken olarak da ilaçlama anındaki hava şartları eklenebilir. Belirli bir zamanda belirli bir tarım alanında ideal uçuş parametrelerini bulmak için su ve suya duyarlı kağıtlar ile test yapıldı.

Parametre denemelerinin uygulandığı tarım alanında optimum çalışma parametreleri göz önünde bulundurularak hız ve yükseklik değerleri dikkate alınarak, iklim koşulları da göz önünde bulundurularak çalışmalara ait belirlenen diğer test değişkenleri aşağıdaki tablo 3-9’da gösterilmiştir.

Tablo 3-9: Test değerleri

Test Numarası	Uçuş Yüksekliği (m)	Uçuş Hızı(m/s)
1	2	5
2	2,5	6
3	3	7

Test değerlerini belirlemek için domates dikilmiş bir tarım alanı (8mx5m=40 m²) seçilmiştir. Bu belirlenen bir tarım alanında otonom rota oluşturularak, drone’nun bu rotayı takip ederek test ilaçlaması yapılması sağlanmıştır. Drone kendisine tanımlanan rotayı takip ederek sabit debide ilaçlama yapması için ayarlamalar yapılmıştır. Tarım alanın takip edilmesi istenen rotası oluşturulduktan sonra uçuş öncesi rotor, pervane ve kanat sistemlerinde bir sorun olup olmadığı tekrar kontrol edilmiştir.

Parametre denemeleri için kurulum tamamen tamamlandıktan sonra parametre denemelerinde kullanılan suya duyarlı kağıtlar 30 x 30 mm ölçülerinde kesilmiştir. Bu kağıtlar, plastik hammaddeden üretilmiş olan tutacaklar üzerine sabitlenmiştir. Şekil 3-50’deki gibi tarım alanına belirli aralıklarla uygun olarak yerleştirilmiştir.

Deneme için kullanılan su kağıtla temas ettiğinde kâğıt maviye dönüşür ve 50 µm kadar küçük sprey damlacıkları görünür hale gelmektedir. Kâğıda kenarları dışında çıplak elle dokunmaktan sakınılmalı aksi halde parmak izleri görünür. Bu işlem için el kullanılacak ise eldiven giymek iyi olur. Depolamadan veya istifledikten önce kâğıdın kuruması beklenmelidir. Daha fazla havaya maruz kalırsa kısa zaman içinde atmosferik nem sebebi ile tamamen maviye dönüşebilir. Tamamen kurumadan plastik bir torbada saklanırsa aynı durum söz konusu olacaktır. Belirli bir kuruma gerçekleşikten sonra test amaçlı kullanılan şekil 3-51’deki suya duyarlı kağıtlar kapalı şeffaf torbalarda muhafaza edilmiştir.



Şekil 3-50: Suya duyarlı kağıtların temsili dağılımı



Şekil 3-51: Suya duyarlı kâğıtların yerleşimi

Parametre denemeleri için su ve suya duyarlı kağıtlar kullanılarak tablo 3-10'daki 3 farklı uçuş hızı, 3 farklı uçuş yüksekliği uygulanmıştır. Bu test işleminde sabit debide ilaçlama yapılmıştır.

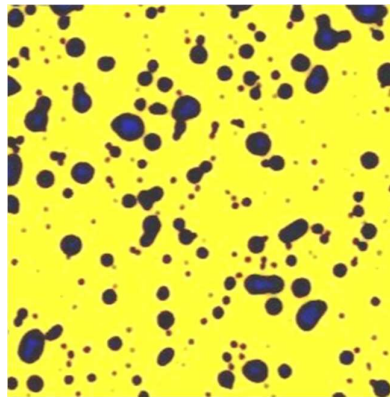
Tablo 3-10: Uygulanan parametre değişkenleri

Uygulama	Parametre Değişkenleri
1	Hız1
2	Hız2
3	Hız3
4	Hız(optimum) + Yükseklik1
5	Hız(optimum) + Yükseklik2
6	Hız(optimum) + Yükseklik3

Tablo da verilen test parametrelerine uygun olarak ilk önce Hız1, Hız2 ve Hız3 hızlarında denemeler yapılmıştır. Testlerin sonrasında, suya duyarlı kağıtlar taranarak görüntü işleme programında faydalanılarak su kaplama oranları belirlenmiştir. Görüntü işleme programı aracılığı ile ıslak bölge oranları belirlenen kağıtlar bağlı olarak optimum hız belirlenmiştir.

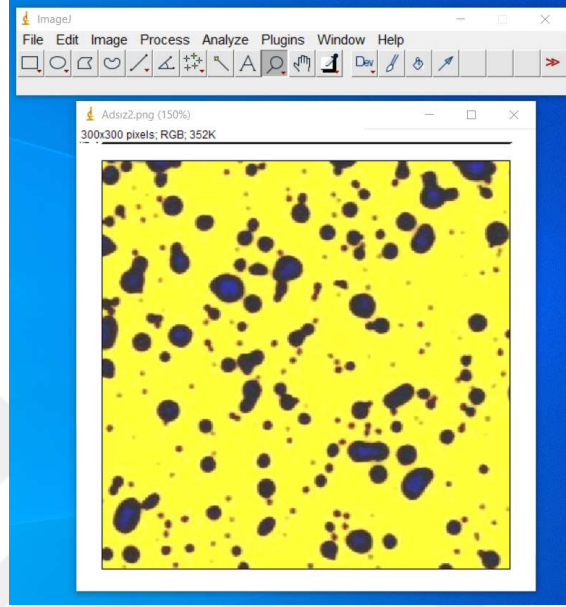
Görüntü işleme programı aracılığı ile belirlenen kaplama oranları dikkate alınarak optimum hız belirlenmiş ve 4, 5 ve 6 numaralı uygulamalarda bu belirlenen optimum hız değeri dikkate alınarak Yükseklik1, Yükseklik2 ve Yükseklik3 olmak üzere üç farklı yükseklikte drone ile uygulamalar devam edilmiştir.

Sonrasında yapılan 4, 5 ve 6 numaralı uygulamalar ile elde edilen suya duyarlı kayıtların görüntüleri, görüntü işleme programına aktarılmıştır. Görüntü işleme programı aracılığı ile yapılan inceleme sonucunda kayıtlar üzerindeki su oranları tespit edilerek optimum uçuş yüksekliği bulunmuştur. Bu deneme sonuçlarına bağlı olarak (1-6 numaralı uygulamalar) sonucunda insansız hava aracının uygulanan parametrelere göre uygun hız ve yükseklik belirlenmiştir. Parametre denemeleri sonucunda elde edilen suya duyarlı ıslak kağıtlar Canon MF8280 model yazıcıda taranarak şekil 3-52'deki görüntüler dijital ortama aktarılmıştır.



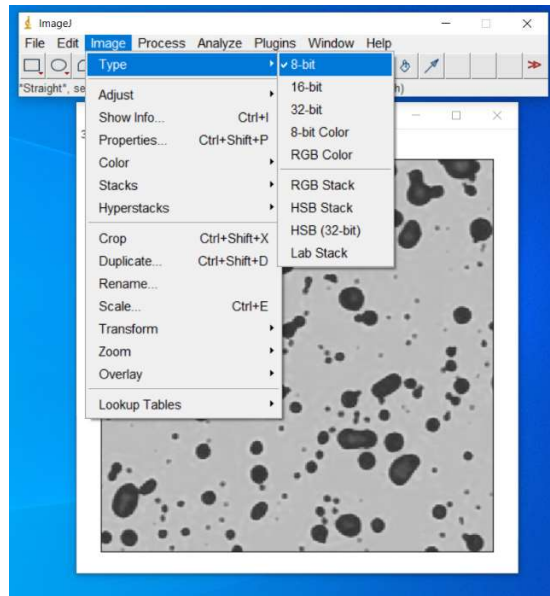
Şekil 3-52: Test sonucu suya duyarlı kâğıt

Dijital ortama aktarılan görüntüler bilgisayarda yüklü görüntü işleme programı aracılığı ile açılmıştır. Suyu duyarlı kağıtların görüntülerinin analizi için şekil 3-53'deki imagej programı kullanılmıştır.



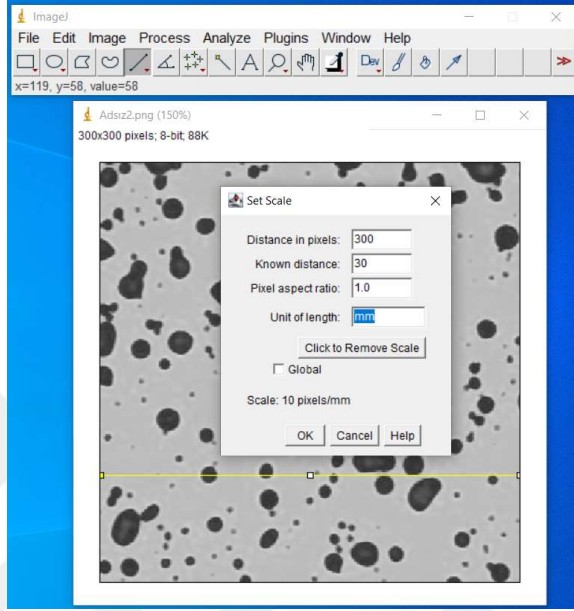
Şekil 3-53: Imagej programına atılan dijital görüntü

Program üzerinde açılan görüntü siyah-beyaz görüntüye çevirmek için; şekil 3-54'deki image > Type > 8-bit butonun tıklanmıştır.



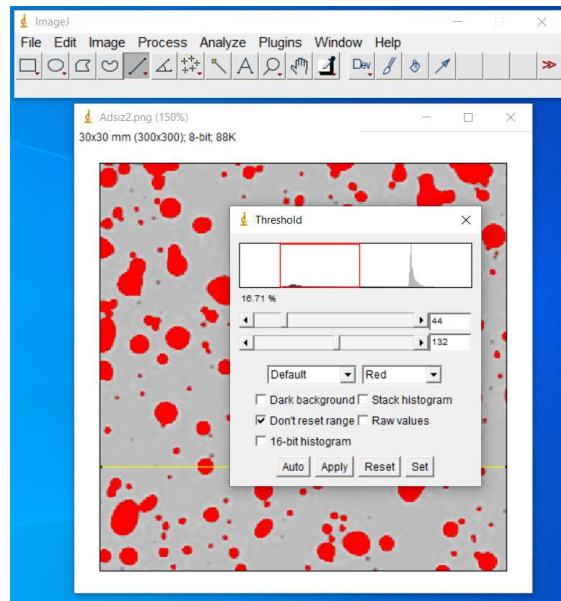
Şekil 3-54: Imagej programında görüntünün siyah-beyaz olması

Daha sonra hesaplamaların doğru yapılabilmesi için resim üzerindeki bilinen bir değer referans alınarak program kalibrasyonu sağlandı. Referans değer olarak şekil 3-55'deki kâğıt genişliği seçildi.



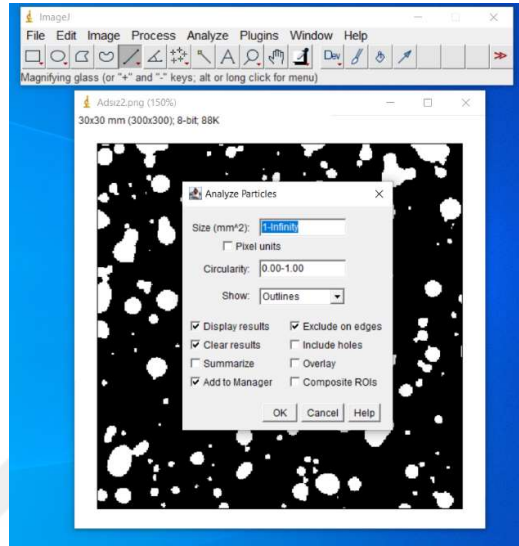
Şekil 3-55: Imagej programının kalibrasyon ayarının yapılması

Kağıt üzerindeki damlacıkları netleştirmek için; şekil 3-56'deki image > Adjust > Threshold butonun tıklanmıştır.



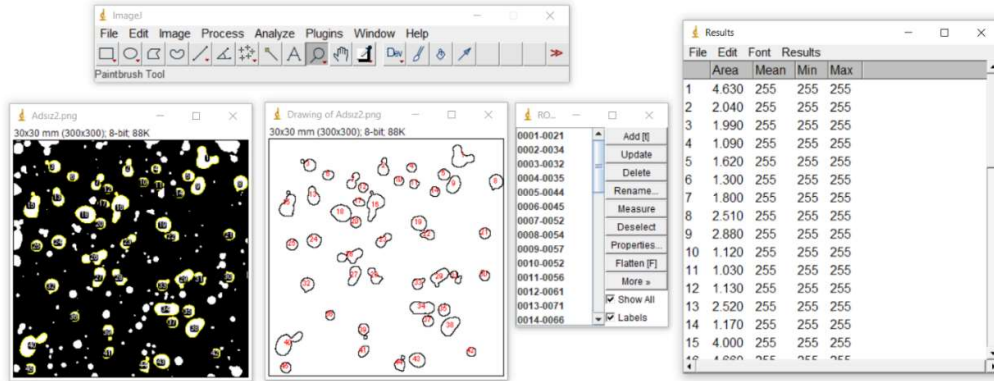
Şekil 3-56: Imagej programında damlacıkların netleştirilmesi

Gerekli hesaplamaların yapılabilmesi için; şekil 3-57’deki Analyze > Particless... butonun tıklanmıştır. Gerekli ayarlamalar yapılar ok butonuna basılmıştır.



Şekil 3-57: Imagej programında görüntü analizi için ayarların yapılması

Imagej programı bu işlemlerin ardından bize görüntü üzerindeki damlacık sayısını ve bu her damlacığın alanının mm² cinsinden bizlere vermektedir.



Şekil 3-58: Imagej programında elde edilen damlacık sayısı ve alanları

Şekil 3-58’deki imaje programından elde edilen değerler şekil 3-59’daki excel ortamına aktarılarak toplam damlacık alanı hesaplanmıştır. Suya duyarlı kâğıt alanı 900 mm² iken üzerindeki damlacık alanı 101 mm² olarak hesaplanmıştır. Buran 1/9 işaret etmektedir.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1		Label	Area	Mean	Min	Max			
2	1		4.702	255	255	255			
3	2		2.067	255	255	255			
4	3		2.037	255	255	255			
5	4		1.105	255	255	255			
6	5		1.662	255	255	255			
7	6		1.318	255	255	255			
8	7		1.845	255	255	255			
9	8		2.574	255	255	255			
10	9		1.145	255	255	255			
11	10		2.939	255	255	255			
12	11		1.054	255	255	255			
13	12		1.145	255	255	255			
14	13		2.574	255	255	255			
15	14		1.186	255	255	255			
16	15		4.084	255	255	255			
17	16		4.733	255	255	255			
18	17		1.105	255	255	255			
19	18		4.236	255	255	255			
20	19		2.888	255	255	255			
21	20		1.480	255	255	255			

Şekil 3-59: Imagej programında elde edilen damlacık alanlarının toplanması

Yukarıda yapılan işlemler tüm parametre denemeleri için elde edilen test kağıtlar için uygulanmış ve en ideal uçuş parametreleri bulunmuştur. Burada opt. değerler için max damlacık alanı referans alınmıştır. Bu yapılan deneme, test ve analizler neticesinde opt. hız 6 m/s olarak bulunurken, opt. yükseklik 2 m olarak bulunmuştur.

3.6. TARIM DRONE’NUN KARŞILAŞTIĞI ZORLUKLAR

Tarım dronlarının karşılaştığı zorluklar, bu teknolojinin yaygın olarak kullanılmasını engelleyen veya sınırlayan faktörlerdir. Bu zorluklar, hava koşulları, menzil, yasal düzenlemeler, maliyetler gibi çeşitli alanlarda ortaya çıkmaktadır. Tarım drone’larını kötü hava koşulları (rüzgâr, yağmur, sis vb.) uçuş güvenliğini ve dronların performansını olumsuz yönde etkiler. Kötü hava şartlarına karşı daha dayanıklı dronlar tasarlanabilir veya hava koşullarına uygun olarak uçuşlar yapılabilir. Tarım uygulamaları genellikle büyük arazi bölgelerinde gerçekleştirilir ve bu da dronların uzun süreli uçuşlar yapmasını gerektirir. Batarya ömrü ve menzil sınırlamaları, dronların etkinliğini sınırlandırır. Gelecekteki daha verimli batarya teknolojileri gelişimi dronların menzilini artırmak için imkân sunabilir. Tarım dronlarının kullanımını etkileyen önemli bir faktör, sıkı yasal düzenlemelerdir. Uçuş izinleri, pilot lisansları ve hava sahası kısıtlamaları gibi yasal düzenlemeler, dronların serbestçe kullanılmasını engellemektedir. Bu yasal düzenlemeleri oluşturan kurumla iş birliği yapılarak daha esnek ve uygulanabilir düzenlemelerin geliştirilmesi talep edilebilir. Tarım

dronlarını etkili bir şekilde kullanmak için eğitimli ve yetenekli personel gereklidir. Dron operatörlerinin eğitimi, tarım uygulamalarının verimliliğini artırabilir, ancak bu eğitim maliyetli ve zaman alıcı olmaktadır. Dron kullanımıyla ilgili eğitim programları oluşturulabilir ve operatörlere teknik beceriler kazandırılabilir. Tarım dronlarının maliyeti, başlangıç yatırımı, bakım ve operasyon maliyetleri nedeniyle yüksektir. Bu, küçük çiftçiler veya işletmeler için erişimi zorlaştırabilir. Daha düşük maliyetli dron modelleri geliştirilerek veya dron hizmetlerini daha erişilebilir hale getirmek için finansal destek veya kredi programları oluşturularak bu zorlukların üstesinden gelinebilir. Tarım dronlarının teknolojik karmaşıklığı, operatörlerin bu teknolojiyi kullanma yeteneklerini sınırlayabilir. Gelişmiş teknolojiye uyum sağlama ve güncellemelerle başa çıkma, bazı kullanıcılar için bir engel olabilir. Daha kullanıcı dostu ve sade dron arayüzleri geliştirmek, kullanıcıların bilgi gerektirmeden dronları kullanımları sağlanarak bu zorlukların üstesinden gelinebilir.

3.7. TARIM DRONU GELECEĞİ

Tarımda drone ve püskürtme sistemleri uygulamaları, gelecekte tarımın nasıl şekilleneceği konusunda önemli bir etki yapabilir. Drone'ların ve püskürtme sistemlerinin daha fazla otomasyon ile entegre edilmesi bekleniyor. Yapay zekâ kullanımı, veri analizi ve karar alma süreçlerini daha da optimize ederek tarım yönetimini daha akıllı hale getirebilir. Gelecekteki drone modelleri, daha uzun uçuş sürelerine ve daha enerji verimli sistemlere sahip olabilir. Yenilikçi teknolojilerle birlikte, enerji tüketimini azaltarak daha sürdürülebilir bir drone kullanımı mümkün olabilir. Drone'ların uçuş menzili ve veri iletim kapasitesindeki artış, daha geniş tarım arazilerini kapsayabilecek küresel uygulamaların önünü açabilir. Bu, küresel tarımın daha etkili bir şekilde yönetilebilmesine olanak tanır. Drone'ların üzerine entegre edilecek daha gelişmiş sensör teknolojileri, bitki sağlığı, toprak analizi ve su yönetimi gibi alanlarda daha kapsamlı veri toplama imkânı sağlayabilir. Gelecekte çiftçiler, ihtiyaçlarına uygun olarak drone ve püskürtme sistemlerini daha fazla özelleştirebilir. Farklı tarım türleri ve iklim koşulları için uygun çözümler geliştirme potansiyeli artar. Uydu teknolojisinin drone sistemleriyle entegrasyonu, daha kapsamlı ve gerçek zamanlı veri sağlama kapasitesini artırabilir.

Tarımda drone ve püskürtme sistemleri uygulamalarındaki bu gelecek perspektifleri, tarım sektörünün daha sürdürülebilir, verimli ve yenilikçi bir yöne evrilmesini sağlayabilir. Bu teknolojilerin ilerlemesi, çiftçilik faaliyetlerini daha etkili bir hale getirerek küresel gıda güvenliği ve çevre sürdürülebilirliği konularında önemli katkılarda bulunabilir.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Tarımsal ve ekolojik bölgeler her daim insanlık için önem arz eden değerler olmuştur. Bitki zararlıları ve hastalıkları ile başa çıkma, kimyasal maddelerin kullanımının en aza düşürülmesi, su kaynaklarının muhafaza edilmesi, toprağın kirletilmemesi, sürdürülebilir tarım arazileri için önemlidir. Tarımsal üretim uygulamaları çok büyük bölgelere yayılan ülkemizde sanayileşmiş maddelere göre girdi seviyesi az miktardadır. Ülkemizde tarım bölgelerinin yeniden kullanılması ve aşırı tarımsal kirliliğin engellenmesi yönünde yoğun bir girişim oluşturulmalıdır. Bu sebeple gelişen ve büyüyen teknoloji sayesinde üreticiye kullanma imkânı verilen akıllı tarım teknolojileri de tarımda sürdürülebilirliği gerçekleştirmek yönünden avantaj oluşturmaktadır.

Tarımsal verimin yükseltilmesi açısından gerçekleştirilen araştırmalar örneğin ilaçların talep edilen alan üzerine yapılması sonucu çiftçiye daha az maliyetli ve kolay bir çözüm yönünde avantaj sunan drone ile gerçekleşmektedir. Buna benzer birden fazla örnekte de olduğu gibi drone'lar günümüzde de kullanımının arttığı gözlenmektedir. Örnek bir tarım alanında tarımsal gereksinimlerin yaklaşık tamamını araştırarak ve takip edebilecek seviyedeki İHA'lar ileriki yıllarda de tasarlanarak daha çok talebe karşılık verebileceklerdir. İklim datalarının daha doğru ede edilmesi sonucu bu bölgelerde gözlemlenebilecek zararlar düşürülebilecektir. Böylece zamandan tasarruf oluşması sağlanacaktır.

Prototip şeklinde oluşturulan dronun uçuş güvenliği sebebi ile kullanılan ekipmanların entegrasyonu gerçekleşmiş, güvenlik sebebi ile gerçek ortam uygulamaları insansız ve geniş alanda gerçekleştirilmiştir. Uçuş hassasiyeti nedeni ile ekipmanlar kontrol edilmiş ve ileri zamanda yapılacak uygulamalarda algılayıcıların hassasiyeti ve adeti yükseltilerek daha iyi seviyede hassasiyetin seviyesi test edilebileceği görülmüştür.

Drone verilen rotayı GPS uydularının anlık 2-3m hata payı ile takip edebilmiştir. Dronun verilen komutları daha hassas olarak yerine getirip, daha durağan bir biçimde görevi yerine getirmek için daha çok sayıda GPS modülüne entegre edilebilir. GPS modüllerinin sayısının yükselmesi daha yüksek uydu hassasiyeti ile uçabilme imkanı sağladığı için daha az sayıda hatalı uçuşu gerçekleştirecektir.

Yakın zamanda daha yüksek üretime gerek duyacağımız bir açıkça görünmektedir. Bu üretimi gerçekleştirebilmek amacı ile belirli alandan elde edilen verimin yükseltilmesi sağlanmalıdır. Bu verimi sunabilecek etkenler arasında drone'ların önemli bir yer vardır.

Tarım ürünü ilaçlama da herhangi bir ilaç püskürtme uygulamasının başarılı kabul edilmesi için, tarım ürünü üzerindeki ulaşılan ilaç kaplama oranı %9,76 olması gerektiği yapılan çalışmalar

ve denemeler neticesinde bilinmektedir. Kaplama oranının düşük olması sonuç vermezken, fazla olması çevre ve insan hayatı için risk oluşturmaktadır.

Parametre denemeleri sonucunda optimum hız 6 m/s, optimum yükseklik 1,5 m olarak bulunmuştur. Bulunan bu değerler ilaç debisi, çalışmanın yapıldığı iklim koşulları ve çevre faktörleri için optimum sonuçlardır. Diğer açıdan farklı iklim şartları ve çevre etkilerine bağlı olarak bu değerler göz önünde alındığında, İHA pilotu tarafından uçuş parametreleri bulunması gerekmektedir. Ayrıca bu değerler farklı aerodinamik yapıya ve/veya sprey teknolojisine sahip İHA'ların kullanıldığı zaman değişebileceği bellidir. Bu parametrelerin doğru bir biçimde bulunabilmesi için bilinen araçların ilk önce sivil havacılık genel müdürlüğü tarafından verilen yetki belgesine ve ilgili konularda mesleki yeterliliğe sahip ziraat mühendisleri tarafından kullanılması sağlanacak uygulamanın güvenliği ve başarısı yönünden önem arz etmektedir. Elde edilen veriler doğrultusunda İHA ile ilaçlama uygulamasının teknik ve ekonomik olarak devamlılık sağlanması için bu uygulamaların alanında uzman ve yetkilendirilmiş kurumlar tarafından makine müteahhitliği şeklinde yürütülmesinin doğru olduğu görülmektedir.

Sonuç olarak bu çalışma İnsansız Hava Aracı ile ilaçlama uygulamalarında başarılı olabileceği açıkça bellidir. Diğer taraftan bilgi ve deneyim eksikliği olan bu konuda yeni çalışmalar gerçekleştirilerek bilgi birikimi ve deneyimin yükseltilmesi gerektiği sonucuna ulaşılmıştır.

5. KAYNAKLAR

- [1] U. Mogili ve B. Deepak, “Review on Application of Drone Systems in Precision Agriculture,” *Procedia Computer Science*, 2018.
- [2] N. Desk, “Global drone market to reach up to \$48.8 billion by 2023: Report,” <https://www.geospatialworld.net/news/global-drone-market-reach-48-8-billion-2023-report>, 2017.
- [3] M. Karaşahin ve A. Samancı, “Mini İnsansız Hava Aracının Tahıl Islah Parsellerinde Fenotipik Seleksiyonda Kullanılabilirliği,” *Selcuk Journal of Agriculture and Food Sciences*, 2018.
- [4] G. Limnaiosu, "Current usage of unmanned aircraft systems (UAS) and future challenges: A mission oriented simulator for UAS as a tool for design and performance evaluation," *Journals of Computation and Modelling*, 2014.
- [5] G. Pajares, “Overview and current status of remote sensing applications based on unmanned aerial vehicles (UAVs),” *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 2015.
- [6] J. Torres-Sánchez, F. López-Granados ve A. De Castro, “Configuration and specifications of an unmanned aerial vehicle (UAV) for early site-specific weed management,” *PLoS ONE*, 2013.
- [7] D. Giles ve R. Billing, “Deployment and performance of a UAV for crop spraying,” *Chemical Engineering Transactions*, 2015.
- [8] D. Pharne, S. Kanase, S. Patwegar, P. Patil ve A. Por, “Agriculture Drone Sprayer,” *International Journal of Recent Trends in Engineering & Research*, 2018.
- [9] R. Jannoura, K. Brinkmann, D. Uteau ve C. Bruns, “Monitoring of crop biomass using true colour aerial photographs taken from a remote controlled hexacopter,” *Biosystems Engineering*, 2015.
- [10] V. Suryawanshi, J. Ashok, S. Rajmane ve S. Mali, “Design & Development of Agricultural Fertilizer Spraying Drone with Remote Controller and Autonomous Control with low weight Aluminium Alloy frame Structure,” *J. Remote Sens. GIS*, 2019.
- [11] M. Varjovi ve M. Talu, “Kayısı için otomatik rekolte tahmin sistemi,” *International conference on artificial intelligence and data processing IDAP.*, 2016.

- [12] S. Spoorthi, B. Shadaksharapp, S. Suraj ve V. Manasa, “Freyr drone:Pesticide/fertilizers spraying drone-an agricultural approach,” *In 2017 2nd International Conference on Computing and Communications Technologies ICCCT*, 2017,.
- [13] G. Ore, M. Alcantara, J. Goes ve L. Oliveira, “Crop growth monitoring with drone-borne dınsar,” *Remote Sensing*.
- [14] L. P. Zhou ve Y. He, “Simulation and optimization of multi spray factors in UAV.,” *ASABE Annual International Meeting*, 2016.
- [15] W. Qin, X. Xue, S. Zhang, W. Gu ve C. Chen, “Optimization and test of spraying parameters for P20 multi-rotor electric unmanned aerial vehicle based on response surface method.,” *Journal of Jiangsu University*, 2016.
- [16] H. Zhu, Y. Lan, W. Wu, W. Hoffman ve Y. Huang, “Development of a PWM precision spraying controller for unmanned aerial vehicles,” *Journal of Bionic Engineering*, 2010.
- [17] D. Doering, A. Benenmann, R. Lerm ve E. Freitas, “Design and optimization of a heterogeneous platform for multiple UAV use in precision agriculture applications,” *Proceedings of the 19th World Congress The International Federation of Automatic Control*, 2014.
- [18] C. Koç, “Tarımda pestisit uygulama amacıyla ekonomik bir drone tasarımı ve imalatı.,” *Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 2017.
- [19] B. Oğul, “Tarımsal Destekler ve Tarımsal Üretim İlişkisi: Türkiye Ekonomisi Üzerine Ampirik Bulgular,” *TEAD*, 2022.
- [20] M. Özgüven ve C. Közkurt, “Tarım Robotları ve Akıllı Tarım Makineleri,” *International Symposium of Scientific Research and Innovative Studies*, 2021.
- [21] M. Özgüven, Z. Altaş, D. Güven ve A. Çam, “Tarımda Drone Kullanımı ve Geleceği,” *Ordu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 2022.
- [22] M. Özgüven, “Hassas Tarım,” *Akfon Yayınları*, 2018.
- [23] H. Güldal ve A. Özçelik, “Tarım İşletmelerinin Sermaye Yapılarının Akıllı Tarıma Uygunluğunun Değerlendirilmesi,” *Tarım Ekonomisi Dergisi*, 2022.
- [24] D. Zhang, X. Wang ve X. Song, “New Medical Image Fusion Approach with Coding Based on SCDin Wireless Sensor Network,” *J Electr Eng Technol*, 2015.
- [25] A. Cemalettin, “Yapay Zeka Tabanlı İlaçlama Drone’u Tasarımı Ve Uygulaması,” *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 2023.

- [26] C. Karakuzu, M. Kesler ve G. Ucar, “Dengeleme halkalari ile görüntü kararlılaştırması. Bap Sonuç Raporu,” Şeyh Edebalı Üniversitesi, Bilecik., 2016.
- [27] <http://web.shgm.gov.tr/tr/genel-duyurular/5064-2016-yilinda-shgm-tarafindan-uygulanacak-idari-para-cezalari>,. [Erişildi: 15. 02. 2024].
- [28] <https://uavcoach.com/drone-bans/>. [Erişildi: 10. 03. 2024].
- [29] M. Ahmet, “İnsansız Hava Aracı (Drone) Ve Görüntü İşleme Teknolojilerinin Meyve Bahçelerinde Kullanım Örneği,” 2019.
- [30] <https://ardupilot.org/planner/docs/common-loading-firmware-onto-pixhawk.html>. [Erişildi: 10. 03. 2024].
- [31] <https://www.dronedoktoru.com/multikopter-nedir.html>. [Erişildi: 15. 03. 2024].
- [32] B. Oğul, “Tarımsal Destekler ve Tarımsal Üretim İlişkisi: Türkiye Ekonomisi Üzerine Ampirik Bulgular,” *TEAD*, 2022.
- [33] G. Günaydın, “Tarımda Teknoloji Kullanımı ve Bilişimi,” *Ekonomik Yaklaşım*, 2009.
- [34] V. Prasad, M. Parveen, A. Nandan ve M. Sahil, “Intelligence Agriculture Drone System,” *International Journal of Recent Innovation in Automobile and Agricultural Engineering*, 2018.
- [35] G. Yüksel, “Use of unmanned aerial vehicles in open mine sites,” *Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi*, 2022.
- [36] M. Hassanalian ve A. Abdelkefi, “Classifications, applications, and design challenges of frone : A review,” *Progress in Aerospace Sciences*, 2017.
- [37] Ö. Mehmet, A. Ziya, G. Derya ve Ç. Arif, “Tarımda Drone Kullanımı ve Geleceği,” *Ordu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 2022.
- [38] G. Ostojic, S. Stankovski, B. Tejic, N. Dukic ve S. Tegeltija, “Design, control and application of quadcopter,” *International Journal of Industrial Engineering and Management*, 2015.
- [39] U. UZ, “Hexacopter Yapısında Bir İnsansız Hava Aracı ile Elektronik İlaçlama/Sulama Sisteminin Oluşturulması,” *İstanbul Gelişim Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, 2019.
- [40] R. Miller ve M. Miller, “Electric motors: all new 6th edition,” *Indianapolis, IN: Wiley Publishing*, 2004.

- [41] H. Tiryaki, A. Çağışlar, A. Akgündoğdu ve İ. Kocaarslan, “Elektrikli Araçlar İçin Fırçasız Doğru Akım Motorlarında Değiştirilebilir Manyetik Alan Uygulaması,” *Kırıkkale Üniversitesi Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi*, 2016.
- [42] O. Karakulak, O. Yaz, E. Köybaşı ve Bıçakcı, “PIC Tabanlı Fırçasız DC Motor Sürücü Tasarımı,” %1 içinde *Ulusal Tasarım İmalat ve Analiz Kongresi*, 2012.
- [43] Z. Öznalbant, “Multikopter Sistemleri Genel Bilgileri ve Uçuş Prensipleri,” *Makine Mühendisleri Odası Eskişehir Şubesi*, 2021.
- [44] <https://mpihobby.com/products/sunnysky-x3508s-kv580-brushless-motor-on-sale>. [Erişildi: 18. 03. 2024].
- [45] E. Pala, “Dikey kalkış ve iniş yapabilen sabit kanatlı hava aracı tasarımı, kontrolü ve imalatı,” *Yüksek Lisans Tezi, Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 2018.
- [46] V. Goel, K. Bindra ve S. Bhooshan, “Quadcopter and its Applications.,” 2016.
- [47] R. Benveniste ve M. Aydemir, “İtki Sistemleri,” 2018.
- [48] P. Castillo, R. Lozano ve A. Dzul, “Modelling and control of mini-flying machines,” *IEEE Control Systems*, 2006.
- [49] B. Demir, R. Bayir ve F. Duran, “Real-time trajectory tracking of an unmanned aerial vehicle using a self-tuning fuzzy proportional integral derivative controller,” *Sage Journals*, 2016.
- [50] A. Kaymak ve A. Çöl, “Mekanik sistemler ile insansız hava aracı,” *Selçuk Üniversitesi*, 2013.
- [51] <https://www.getfpv.com/learn/new-to-fpv/all-about-multirotor-fpv-drone-electronic-speed-controller/>. [Erişildi: 20. 04. 2024].
- [52] C. Karaali ve Ö. Yıldırım, “Global Konum Belirleme Sistemi (GPS),” *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 1996.
- [53] K. Kerimoğlu, “Sabit Kanatlı Bir İnsansız Hava Aracı İçin Düşük Bütçeli Bir Otopilot Sistemi Tasarımı,” *TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 2011.
- [54] E. Çakıcı, “Mini İnsansız Hava Araçları İçin Bir Fırçasız Motor Test Sistemi Geliştirilmesi,” *Yüksek Lisans Tezi, Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 2019.
- [55] M. Eldem, “Askeri aviyonik sistemler ve modernizasyon (3),” *TMMOB EMO Ankara Şubesi Haber Bülteni*, 2014.
- [56] A. Gelen ve E. Tüfekcioğlu, “Lityum-Polimer Piller için Şarj ve Dengeleyici Devre Tasarımı,” *Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 2020.

- [57] <https://www.genstattu.com/blog/the-basic-knowledge-of-lipo-battery/>. [Erişildi: 24. 06. 2024].
- [58] <https://bataryadestek.com.tr/batarya-c-degeri/>. [Erişildi: 16. 06. 2024].
- [59] A. Feng, A. García, K. Torres ve E. González, “Incorporación de la tecnología de realidad aumentada a un vehículo aéreo no tripulado,” *Revista de Iniciación Científica*, 2017.
- [60] D. Enes, “Dört Rotorlu Döner Kanat Tip İha İle Otonom Yangın Algılayıcı - Söndürücü Tasarımı,” *Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 2023.
- [61] <https://ardupilot.org/planner/docs/mission-planner-overview.html>. [Erişildi: 15. 05. 2024].
- [62] B. Ahmed, “Evrişimsel Sinir Ağlarını Kullanarak Drone Tarafından Elde Edilen Görüntülerde Nesne Tanıma,” *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 2019.
- [63] R. Nivas, T. Naveen, T. Venkat ve T. Rudra, “Automatic Spraying Of Fertilizers/Pesticides Using Drone,” *Iconic Research And Engineering Journals*, 2020.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler		
Adı Soyadı		
Doğum Yeri		
Doğum Tarihi		
Uyruğu		
Telefon		
E-Posta Adresi		
Web Adresi		

	Eğitim Bilgileri
	Lisans
Üniversite	
Fakülte	
Bölümü	
Mezuniyet Yılı	

Yüksek Lisans	
Üniversite	
Enstitü Adı	
Anabilim Dalı	
Programı	

Makale ve Bildiriler