



**DÖNER KANAT İHA'LARIN ŞARJ DURUMLARINA GÖRE  
UYGUN PLATFORMA  
GÖRÜNTÜ İŞLEME TEKNİKLERİ İLE İNİŞİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**GÜRKAN KUTLU**

**MERSİN ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ  
ANABİLİM DALI**

**MERSİN  
MART - 2024**

**DÖNER KANAT İHA'LARIN ŞARJ DURUMLARINA GÖRE  
UYGUN PLATFORMA  
GÖRÜNTÜ İŞLEME TEKNİKLERİ İLE İNİŞİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**GÜRKAN KUTLU  
ORCID ID: 0000-0002-9976-374X**

**MERSİN ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ  
ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN  
PROF. DR. ERDİNÇ AVAROĞLU  
ORCID ID: 0000-0003-1976-2526**

**MERSİN  
MART - 2024**

## ÖZET

### DÖNER KANAT İHA'LARIN ŞARJ DURUMLARINA GÖRE UYGUN PLATFORMA GÖRÜNTÜ İŞLEME TEKNİKLERİ İLE İNİŞİ

Döner kanat insansız hava araçları eğlence sektöründen savunma sektörüne kadar birçok farklı alanda kullanılmaktadır. Döner kanat İHA'ların kullanım alanlarının çeşitlenmesi üzerindeki en büyük engel ise hızlı tükenen pillerinden dolayı havada kalış sürelerinin kısa olmasıdır.

Yakın gelecekte güvenlik amaçlı belirli bir alanı uzun süre gözetleme ya da uzun yol kargo taşımacılığı gibi sürekli işlerde çalıştırılmak istenen döner kanat İHA'ların pil ömürleri de düşünülerek batarya seviyelerinin takip edilmesi ve belirli bir batarya seviyesinde uygun şarj istasyonuna inmeleri gerekecektir.

Yapılan çalışmada gerçek koşullarda bir rota üzerinde dolaştırılan İHA'nın iniş noktasına yatayda gidişi ve bu noktadan platforma görüntü işleme tekniklerini kullanarak dikey inişinin makine öğrenmesi algoritmaları ile tahminlenmesi gerçekleştirilmiştir.

Yapılan test uçuşları sonucu başlangıçta istenen batarya seviyesi ile iniş sonrası istenen batarya seviyesi farkları incelenmiş ve 0% ile 3% arasında farklarla başarılı sonuçlar elde edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** İHA, Görüntü İşleme, Makine Öğrenmesi, Batarya Seviyesi, Güzergah.

**Danışman:** Prof. Dr. ERDİNÇ AVAROĞLU, Mersin Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı, Mersin.

## ABSTRACT

### LANDING OF ROTARY WING UAVS ON THE APPROPRIATE PLATFORM ACCORDING TO THEIR CHARGING CONDITIONS USING IMAGE PROCESSING TECHNIQUES

Rotary wing unmanned aerial vehicles are used in many different areas, from the entertainment industry to the defense industry. The biggest obstacle to diversifying the usage areas of rotary wing UAVs is their short stay in the air due to their rapidly depleting batteries.

In the near future, the battery levels of rotary wing UAVs, which are intended to be used in continuous operations such as surveillance of a certain area for security purposes or long-distance cargo transportation, will need to be monitored, taking into account their battery life, and they will need to land at the appropriate charging station at a certain battery level.

In the study, the horizontal movement of the UAV, which is navigated on a route under real conditions, to the landing point and the vertical descent from this point to the platform using image processing techniques were predicted with machine learning algorithms.

As a result of the test flights, the differences between the desired battery level at the beginning and the desired battery level after landing were examined and successful results were obtained with differences between 0% and 3%.

**Keywords:** UAV, Computer Vision, Machine Learning, Battery Level, Route.

**Advisor:** Prof. Dr. ERDİNÇ AVAROĞLU, Mersin University, Department of Computer Engineering, Mersin

## TEŞEKKÜR

Tez çalışmamın her aşamasında sabır ve hoşgörüyüyle desteğini ve bilgisini esirgemeyen danışmanım Prof. Dr. Erdiñ AVAROĞLU'na, saha çalışmalarında bana yardımcı olan öğrencilerim Ayberk UYGUÇ, Arda AKKAYA, Ceren TEZGİDER ve sahanın kullanıldığı kurumun çalışmanı Kubilay YILDIRIM'a, tez sürecim boyunca motivasyon desteğini sağlayan eşim Gonca DOĞAN KUTLU'ya çok teşekkür ederim.

Tez sürecinde doğan varlığıyla bana destek olan kızım Peren Asya'ya ve tez çalışmama katkı sağlayan herkese çok teşekkür ederim.



# İÇİNDEKİLER

	Sayfa
<b>İÇ KAPAK</b>	<b>i</b>
<b>ONAY</b>	<b>ii</b>
<b>ETİK BEYAN</b>	<b>iii</b>
<b>ÖZET</b>	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>v</b>
<b>TEŞEKKÜR</b>	<b>vi</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b>	<b>vii</b>
<b>TABLolar DİZİNİ</b>	<b>ix</b>
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b>	<b>x</b>
<b>SİMGELER VE KISALTMALAR</b>	<b>xii</b>
<b>1. GİRİŞ</b>	<b>1</b>
<b>2. KAYNAK ARAŞTIRMALARI</b>	<b>3</b>
2.1. Batarya Güç Tüketimi ve Modellenmesi	3
2.2. Önerilen Şarj İstasyonları ve Bu İstasyonlara İniş	8
2.3. Sonuç	12
<b>3. MATERYAL VE YÖNTEM</b>	<b>13</b>
3.1. İHA'nın Fiziksel Yapısı ve Tasarımı	13
3.1.1. Gövde Yapısı	14
3.1.2. Fırçasız DC Motor ve Pervane	14
3.1.3. ESC	15
3.1.4. Güç Dağıtım Kartı	16
3.1.5. Uçuş Kontrol Kartı	17
3.1.6. GPS	18
3.1.7. LiPo Batarya	18
3.1.8. Raspberry Pi- Uçuş Bilgisayarı	20
3.1.9. Kamera Modülü	21
3.1.10 Bağlantı Şeması	22
3.2. İHA'nın Hareketleri	23
3.3. Süreçte Kullanılan Yazılım ve Bileşenleri	25
3.3.1. Dronekit Kütüphanesi	25
3.3.2. MAVlink Protokolü	25
3.3.3. OpenCV Kütüphanesi	26
3.3.4. Ardupilot-Sitl	26
3.3.5. Gazebo	27
3.4. Çalışma Sahasının ve Waypoint'lerin Seçimi	27
3.5. Kalkış	29
3.6. Güzergah Takibi	30
3.7. Batarya Seviyesinin İzlenmesi	32
3.8. İnilcek Platformun Seçimi	34
3.9. Görüntü işleme ile İniş	36
3.9.1. Kamera Kalibrasyonu	36
3.9.2. Aruco Etiketleri	37
3.9.3. Aruco Tespiti	38
3.9.4. İniş	40
3.10. Makine Öğrenmesi ile Batarya Seviyesi Tahmini	42
3.10.1. İniş Noktasına Gidilirken Tüketilecek Batarya Seviyesinin Tahminlenmesi	43
3.10.2. İnişte Tüketilecek Batarya Seviyesinin Tahminlenmesi	45
<b>4. BULGULAR VE TARTIŞMA</b>	<b>47</b>
4.1. İstenen ve Gerçekleşen Batarya Seviyesi Farkı	47
4.2. Uygun İniş Platformuna Uzaklıklar ve İniş Platformunun Seçimi	47
4.3. Görüntü İşleme ile İniş	48

**5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER**

**52**

**KAYNAKLAR**

**53**

**ÖZGEÇMİŞ**

**56**



## TABLolar DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
<b>Tablo 3. 1.</b> Motor Test Değerleri	14
<b>Tablo 3. 2.</b> Bağlantı Tablosu	17
<b>Tablo 3. 3.</b> LiPo Bataryaların Hücre Sayısına Göre Şarj Seviyeleri	19
<b>Tablo 3. 4.</b> Kameranın Teknik Özellikleri	22
<b>Tablo 3. 5.</b> Geçiş ve İniş Noktalarının Koordinatları	28
<b>Tablo 3. 6.</b> Batarya Volt Seviyeleri	32
<b>Tablo 3. 7.</b> Modellerin R2, A.R2 ve F değerleri	44
<b>Tablo 3. 8.</b> Modellerin R2, A.R2 ve F değerleri	45
<b>Tablo 4. 1.</b> Uçuş Test Verileri	47
<b>Tablo 4. 2.</b> İniş Platformu Seçimi	47
<b>Tablo 4. 3.</b> İHA'nın Aruco Etiketine İlk Uzaklığı	48
<b>Tablo 4. 4.</b> Kamera Görüntü Yakalama Sayısı ile İşleme Alınan Görüntü Sayısı	48
<b>Tablo 4. 5.</b> İniş Esnasında Farklı Eksenlerdeki Mesafelerin Değişim Tablosu	49



## ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2. 1. İki Farklı İHA ile Farklı Ağırlıklardaki Güç Tüketim Tahmini (Alyassi ve ark., 2023)	3
Şekil 2. 2. Rüzgar Yönü ve Rüzgar Miktarı Belirsizliği ile Seçilen Güzergah (Alyassi ve ark., 2023)	4
Şekil 2. 3. Mobil Şarj İstasyonu (Alyassi ve ark., 2023)	4
Şekil 2. 4. Önerilen Model (Prasetia ve ark., 2019)	5
Şekil 2. 5. Test İçin Oluşturulan Uçuş Güzergah (Prasetia ve ark., 2019)	5
Şekil 2. 6. Hareket Türleri (Prasetia ve ark., 2019)	6
Şekil 2. 7. Test Düzenegi (Konar, 2019)	6
Şekil 2. 8. Model Yapısı (Konar, 2019)	7
Şekil 2. 9. Farklı Hızlardaki Enerji Tüketimi (Çaşka ve Gökçe, 2023)	7
Şekil 2. 10. Regresyonların Model Başarımları (Çaşka ve Gökçe, 2023)	8
Şekil 2. 11. Önerilen İniş İstasyonu (Lozano-Hernández ve ark., 2023)	8
Şekil 2. 12. Önerilen Kablosuz Şarj Platformu (Junaid ve ark., 2016)	9
Şekil 2. 13. Vicon Nesnelerinin Yerleşimi (Junaid ve ark., 2016)	9
Şekil 2. 14. Ir Lock Sistemi (Perdigão, 2018)	10
Şekil 2. 15. Kameradan alınan fokussuz ve fokuslu görüntüler (Perdigão, 2018)	10
Şekil 2. 16. İççice Aruco Etiketleri ile Simülasyon İnişi (Khazetdinov ve ark., 2021)	11
Şekil 2. 17. Aruco Merkezine Uzaklık ve Deneme Grafiği (Khazetdinov ve ark., 2021)	11
Şekil 2. 18. Dolaşım, Dolaşımdan Ayrılış ve İniş Görünümü	12
Şekil 3. 1. Tasarlanan Döner Kanat İHA'nın Genel Görünümü	13
Şekil 3. 2. Ana Gövde	14
Şekil 3. 3. 12V DC Motor	15
Şekil 3. 4. 8060 Pervane	15
Şekil 3. 5. 30A ESC	16
Şekil 3. 6. PM07 Güç Dağıtım Kartı	16
Şekil 3. 7. Uçuş Kontrol Kartı	17
Şekil 3. 8. GPS Modülü	18
Şekil 3. 9. Lipo Bataryalar	18
Şekil 3. 10. Bataryanın Güvenli Çalışma Bölgesi (Tezde ve Okumuş, 2018)	20
Şekil 3. 11. Raspberry Pi Uçuş Bilgisayarı ve BEC Devresi	21
Şekil 3. 12. Raspberry Pi Kamera Modülü	21
Şekil 3. 13. Kamera Görüş Alanı	22
Şekil 3. 14. Bağlantı Şeması	23
Şekil 3. 15. Yatay Düzlemde Hareketler	24
Şekil 3. 16. Dikey Düzlemde Hareketler	24
Şekil 3. 17. Eksen Üzerindeki Hareketler	25
Şekil 3. 18. Şekil 3.3.2. Varış Komut Yapısı ve MAVlink Mesajı	26
Şekil 3. 19. Ardupilot-Sitl Arayüzü	27
Şekil 3. 20. Gazebo Arayüzü	27
Şekil 3. 21. Çalışma Alanı	28
Şekil 3. 22. Geçiş ve İniş Koordinatları	29
Şekil 3. 23. Kalkış Akış Diyagramı	30
Şekil 3. 24. Güzergah Takibinin Akış Diyagramı	31
Şekil 3. 25. İHA'nın Tur Döngüsü	32
Şekil 3. 26. Batarya Seviyesinin İzlenmesine Ait Akış Diyagramı	33
Şekil 3. 27. İniş Platformu	34
Şekil 3. 28. İniş Alanlarının Yerleşimi	34
Şekil 3. 29. İniş Alanının Seçimi	35
Şekil 3. 30. İHA'nın 1. İniş Platformuna Yönelişi	36
Şekil 3. 31. Datalog Kaydı	36
Şekil 3. 32. Motif ve Kalibrasyonu	37
Şekil 3. 33. Çalışmada Kullanılan Aruco Etiketleri	37

<b>Şekil 3. 34.</b> Matris Dönüşümü	38
<b>Şekil 3. 35.</b> Aruco Etiketi ile Yakın Mesafe Testi	38
<b>Şekil 3. 36.</b> Aruco Etiketi ile Uzak Mesafe Testi	39
<b>Şekil 3. 37.</b> X, Y, Z Değerleri	39
<b>Şekil 3. 38.</b> Datalog Dosyasına Kaydedilen X, Y, Z Değerleri	40
<b>Şekil 3. 39.</b> İniş Ait Akış Diyagramı	41
<b>Şekil 3. 40.</b> İHA'dan Alınan İniş Görüntüleri 1	42
<b>Şekil 3. 41.</b> İHA'dan Alınan İniş Görüntüleri 2	42
<b>Şekil 3. 42.</b> Dolasim_veri.txt Dosyasına Ait Veriler	44
<b>Şekil 3. 43.</b> inisverileri.txt Dosyasına Ait Veriler	45
<b>Şekil 4. 1.</b> İniş Ait 3 Boyutlu Konum Grafiği	49
<b>Şekil 4. 2.</b> İniş Ait Yatay Eksen Hareket Davranışı Grafiği	50
<b>Şekil 4. 3.</b> İniş Sonrası Görsel	50
<b>Şekil 4. 4.</b> Alçak ve Yüksek İrtifada İHA'dan Alınan Aruco Görüntüsü	51

---



## SİMGELER VE KISALTMALAR

Kısaltma/Simge	Tanım
CSI	Seri Kamera Arayüzü (Camera Serial Interface)
ESC	Elektronik Hız Kontrolcüsü (Electronic Speed Controller)
GPS	Küresel Yer Belirleme Sistemi (Global Positioning System)
İHA	İnsansız Hava Aracı
LIDAR	Işık Tespiti ve Uzaklık Tayini (Laser Imaging Detection and Ranging)
MAVlink	Haberleşme Protokolü (Micro Air Vehicle Communication Protocol)
SoC	Şarj Durumu (State of Charge)
WP	Geçiş Noktası (Waypoint)



## 1. GİRİŞ

Birçok sektörde kullanımına başlanan insansız hava araçları (İHA) çoğunlukla savunma sanayi ve eğlence sektöründe göze çarpmaktadır. Bu alanlarda keşif ve görüntüleme amacıyla kullanılmasıyla beraber hızla artan nüfus ile farklı sektörlerde de kullanılacağı bilinmektedir. (Yiğit ve ark., 2018).

İHA'ların bir diğer kullanıldığı sektör ise yük taşımacılığıdır. Çeşitli kargo firmaları yatırımlarını bu alana yoğunlaştırırken kimi firmalar aktif olarak deneme uçuşlarına başlamıştır. Kargo taşımacılığının yanında insan ulaşımında da çeşitli çalışmalar başlamıştır (Lange ve ark., 2017).

Bu taşımacılık faaliyetleri kara yolundaki gibi çeşitli güzergahlar (yollar) üzerinde yapılma zorunluluğu vardır. 2021 yılının Ekim ayında Sivil Havacılık ve Genel Müdürlüğü, 12. Ulaştırma ve Haberleşme Şurasında ilk olarak İstanbul-Eskişehir-Ankara hattı için “drone taşımacılığı hava koridoru güzergahının” belirlendiğini basına bildirmiştir.

Hava taşımacılığının kara taşımacılığına göre hızlıdır ve bunun ilk temel sebebi hedef noktaya varıştaki yol mesafesinin kısa olmasıdır. Bunun yanında araçların hız farkı da diğer bir sebeptir. İHA'lar da hız farkını oluşturan en büyük etken motorların dönüş hızı ile kanatların süpürdüğü ve geriye ittiği hava miktarıdır (Podsędkowski ve ark., 2020). Süpürülen havanın miktarı kadar yönü de önemlidir gökyüzünde varlığı bilinen rüzgarların oluşturabileceği olumsuz etkiler de mevcuttur. İHA'nın kendisine karşı esen bir rüzgar karşısında tüketileceği enerji miktarı da fazla olacaktır (Yacef ve ark., 2020).

Hava akımları görmezden gelinirse yerçekimine karşı koyulan tepki miktarı İHA'nın havada kalış süresini etkilemektedir. Havada kalma süresi hem tahrik tipine hem de güç kaynağı tipine bağlıdır. İHA'ların en büyük dezavantajı ise pille çalışmaları ve 15 dakikalık uçuştan sonra pillerinin tükenmesidir (Kardasz ve ark., 2016).

Döner kanat İHA'lar havada kalış sürelerinin kısa olmasından dolayı aktif görev icrası esnasında rotalarından ayrılmak ve uygun şarj istasyonuna gitmek zorundadırlar.

Güzergah üzerinde dolaşım, şarj istasyonu seçerek bu noktaya ilerleme ve bu istasyona inişte batarya seviyesinin ne kadarının kullanılacağını belirlemek pilin sağlığı, ömrü, kalitesi gibi sebeplerle ilişkilidir (Saha ve ark., 2011).

Döner kanat İHA'larda kullanılan Lipo pillerin toplam verebileceği akım miktarı batarya seviyesini ifade etmektedir. Herhangi bir kırım yaşanmaması için bu batarya seviyelerinin takibi önemlidir.

Süreç başında bataryanın ne kadarının kullanılacağını İHA'ya ifade ederek süreç sonunda aynı seviyede yere inmeye çalışmak bu çalışmanın temelini oluşturmaktadır.

$$S_{son} = S_{başlangıç} - S_{tüketilen}$$
$$S_{tüketilen} = S_{dolaşım} + S_{iniş\ noktasına\ gidiş} + S_{iniş}$$

$S_{son}$  : bataryanın son batarya seviyesi

$S_{başlangıç}$  : bataryanın başlangıçtaki batarya seviyesi

$S_{dolaşım}$  : görev esnasında kullanılan batarya seviyesi miktarı

$S_{iniş\ noktasına\ gidiş}$  : rotadan ayrılarak iniş noktasına gidilirken kullanılan batarya seviyesi miktarı

$S_{iniş}$  : inişte kullanılan batarya seviyesi miktarı

Çalışmada iniş noktasına gidişte (yatayda) kullanılan batarya seviyesi tüketim miktarı ve inişte (dikeyde) kullanılan batarya seviyesi tüketim miktarı 2 farklı makine öğrenmesi algoritması ile tahminlenmiş ve en yüksek uyum doğrusal regresyon çıkmıştır.

İniş noktasına gidişte kullanılan batarya miktarı İHA'nın güzergah üzerinde dolaşımı yani görev esnasında aldığı yol ve geçtiği coğrafi konumlardan gerçek zamanlı olarak elde edilmiştir. İnişte kullanılan batarya seviyesi tahmini ise İHA ile farklı mesafelerden görüntü işleme ile gerçekleştirilen iniş verilerinden elde edilmiştir.

Uçuş testleri ile İHA kalkmadan önce istenen batarya seviyesi ile iniş sonrasında istenen bataryanın son şarj seviyesi farkları kontrol edilmiş ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir.

Çalışmada birden fazla iniş platformu kullanılmış ve her iki noktadan yakın olana gidişte tüketilen batarya seviyesi tahminlenmiştir.

İnişte ise görüntü işleme ile bir Aruco etiketine indirilen İHA'nın bu süreçteki davranışları sonuçlar bölümünde paylaşılmıştır.

## 2. KAYNAK ARAŞTIRMALARI

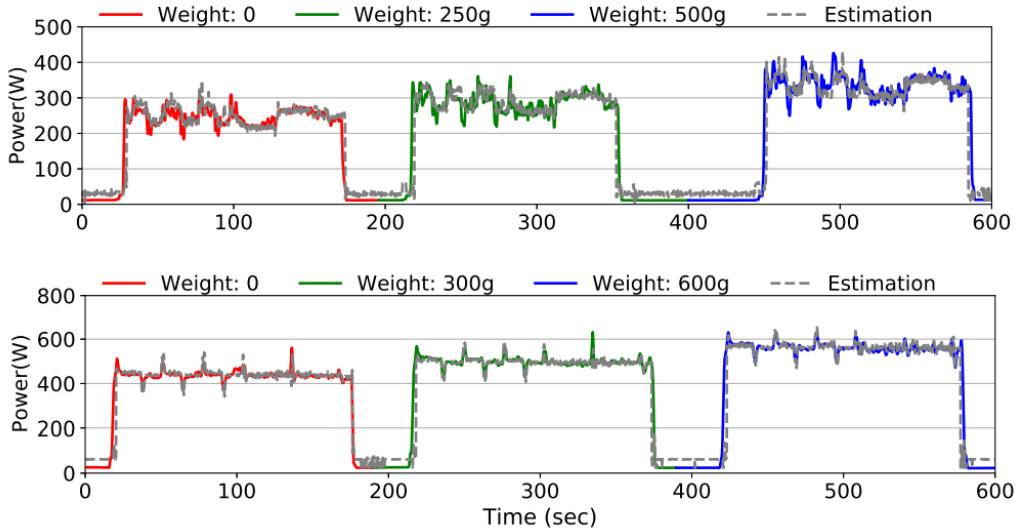
Bu bölümde İHA alanında yapılmış çalışmalar incelenmiştir.

Yapılmış çalışmalarda Lipo pillerin güç tüketimi ve modellenmesi ile insansız hava araçlarında önerilen şarj istasyonları ve bu istasyonlara iniş başlıkları altında incelenmiştir.

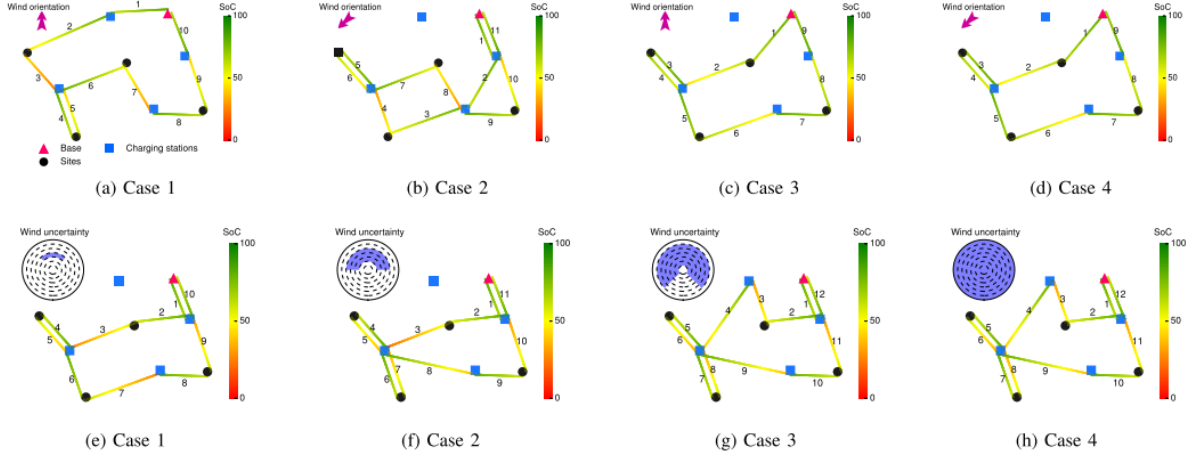
İncelenen eserlere bilimsel atıflar verilerek kullanılan yöntemlere bakılmış ve sonuç bölümünde kendi çalışmam hakkında bilgi verilmiştir.

### 2.1. Batarya Güç Tüketimi ve Modellenmesi

Rashid Alyassi ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada belirli bir bölgede dolaşacak İHA'nın noktalar arasında Asimetrik Gezgin Satıcı Problemi Yöntemini kullanarak dolaştırılmasını kapsamaktadır. Bu süreç içerisinde en iyi güzergah tespit edilip farklı ağırlıktaki farklı İHA'lar da farklı yük ağırlığı ile modelleme yaparak harcanan enerji miktarı tahminlerinde bulunmuşlardır. Ayrıca çalışmalarında dış bozucu etki olarak rüzgarı da sürece eklemişlerdir (Alyassi, ve ark., 2023).

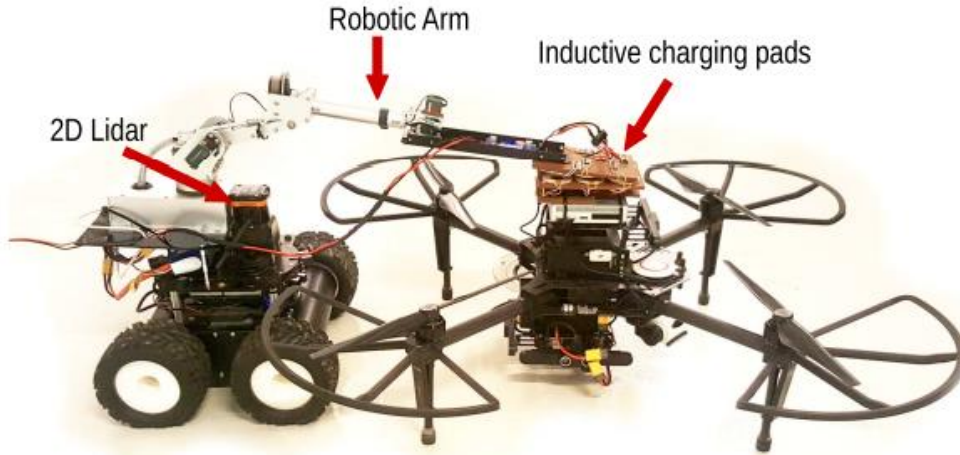


Şekil 2. 1. İki Farklı İHA ile Farklı Ağırlıklardaki Güç Tüketim Tahmini (Alyassi ve ark., 2023)



Şekil 2. 2. Rüzgar Yönü ve Rüzgar Miktarı Belirsizliği ile Seçilen Güzergah (Alyassi ve ark., 2023)

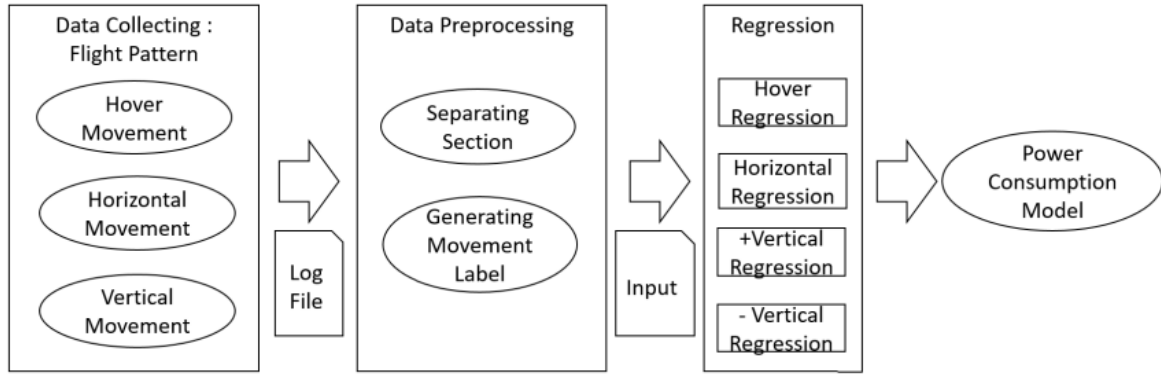
Çalışmanın tasarımında Şekil 2.2. de de gösterilen mavi noktalara mobil şarj istasyonları yerleştirmişlerdir. Bu alanlara İHA GPS ile inmektedir. Çevreyi 2D Lidar ile tarayan robot İHA'yı bulup şarj etmektedir.



Şekil 2. 3. Mobil Şarj İstasyonu (Alyassi ve ark., 2023)

Rashid Alyassi ve arkadaşlarının döner kanat İHA gibi etkin güç tüketimi problemi yaşayan araç için asimetrik gezgin satıcı problemi yöntemiyle etkin bir model ortaya koymuşlardır (Alyassi ve ark., 2023).

Alex S. Prasetia ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada görevde tüketilecek enerjinin bilinmeden uçuş süresinin bilinemeyeceğini öngörmüşlerdir ve İHA'nın enerji tüketimi tahmini için Şekil 2.4 de gösterilen modellemeyi önermişlerdir (Prasetia ve ark., 2019).



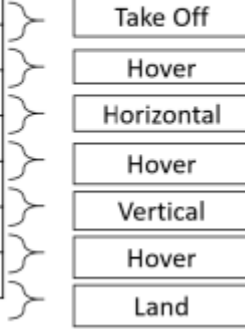
Şekil 2. 4. Önerilen Model (Prasetia ve ark., 2019)

Süreçte veri toplama işlemleri için Mission Planer Programında güzergah rotası (Şekil 2.5.) çizmişlerdir. Bu güzergahı oluştururken Şekil 2.6. da gösterilen hareket türlerinden yararlanmışlardır. Daha sonra veriler düzenlenerek Elastic Net Regresyon Modeli ile enerji verimliliği tahmininde bulunulmuştur.



Şekil 2. 5. Test İçin Oluşturulan Uçuş Güzergah (Prasetia ve ark., 2019)

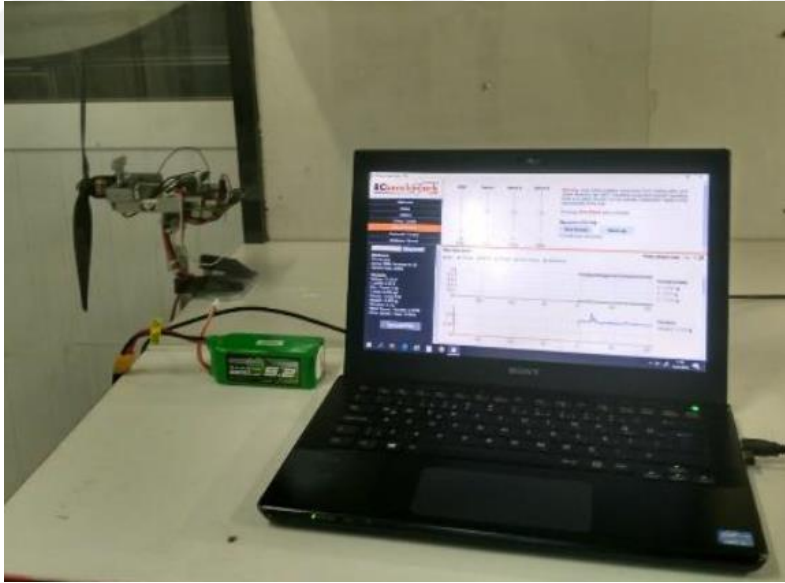
$N_k$	Command	Hover Duration (s)	Altitude (m)	Horizontal Distance(m)
1	TAKEOFF	-	50	0
2	LOITER_TIME	10	50	0
3	WAYPOINT	-	50	50
4	LOITER_TIME	5	50	0
5	WAYPOINT	-	100	0
6	LOITER_TIME	5	100	0
7	LAND	-	100	0



Şekil 2. 6. Hareket Türleri (Prasetia ve ark., 2019)

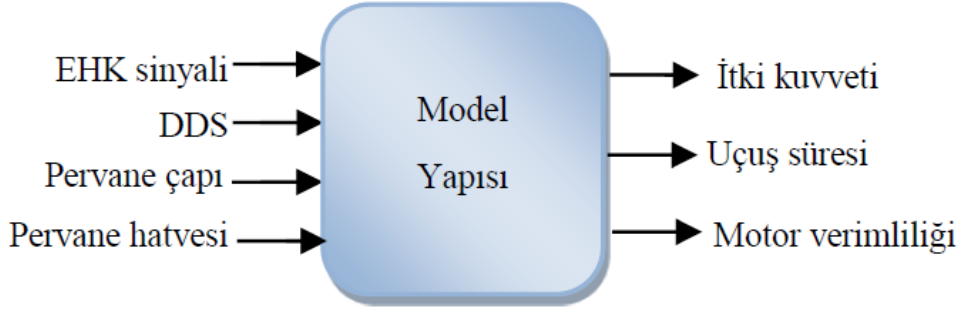
Alex S. Prasetia ve arkadaşları yaptıkları bu çalışma ile süreç başında ve sonunda (eğitilen veri ile) yapılan uçuşlar ile değerleri karşılaştırmış ve %98.773'lük enerji verimliliği tahminine ulaşmışlardır (Prasetia ve ark., 2019).

M. Konar'ın tez çalışması incelendiğinde çalışma sahibi Şekil 2.7. de gösterilen test düzeneği ile fırçasız İHA motorunun performansındaki ve uçuş süresinin maksimizasyonundaki etkileri incelemiştir (Konar, 2019).



Şekil 2. 7. Test Düzeneği (Konar, 2019)

Çalışma da Konar motor sürücüsü (ESC) sinyali, pervanenin dönüş miktarı, çapı ve hatvesini giriş kabul eden Geri İzleme Arama Optimizasyon (GAO) algoritması tabanlı Yapay Sinir Ağlarına (YSA) dayanan bir model önermiştir (Konar, 2019).



Şekil 2. 8. Model Yapısı (Konar, 2019)

Şekil 2.8. de gösterilen modelin performansını bulmak için Ortalama Karesel Hata (OKH) kriterini kullanmıştır. Eğitimde ise en küçük OKH değerine (0.0011) sahip optimum YSA yapısı, logsig logsig aktivasyon fonksiyonu ile elde edilmiştir (Konar, 2019).

Serkan Çaşka ve arkadaşı yaptığı çalışma ile deneysel olarak özdeş iki farklı İHA'yı yatay eksende farklı hızlarda hareket ettirmiş, doğrusal ve doğrusal olmayan regresyon yöntemleri ile batarya tüketim modelleri elde etmiştir (Çaşka ve Gökçe, 2023).

İsn boyunca iki İHA'nın farklı hızlardaki enerji tüketimi Şekil 2.9. da gösterilmiştir (Çaşka ve Gökçe, 2023).

Hız(m/s)	İHA 1(%)	İHA 2(%)
1	0.34	0.34
2	0.35	0.36
3	0.36	0.36
4	0.37	0.37
5	0.39	0.38
6	0.41	0.40
7	0.43	0.42
8	0.45	0.44
9	0.48	0.47
10	0.52	0.51

Şekil 2. 9. Farklı Hızlardaki Enerji Tüketimi (Çaşka ve Gökçe, 2023)

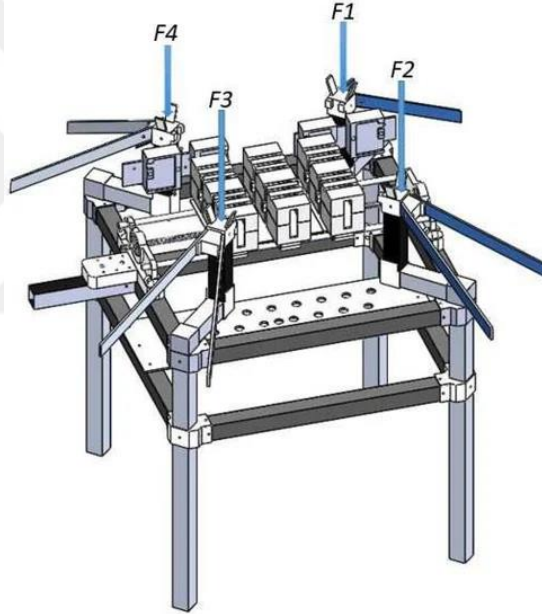
Çalışmanın sonucunda Şekil 2.10 da gösterilen en yüksek R2 değerine ulaşan doğrusal olmayan regresyonun 3. derece eşitliği ile ortaya çıkmıştır (Çaşka ve Gökçe, 2023).

Model	İHA 1		İHA 2	
	R <sup>2</sup>	MSE	R <sup>2</sup>	MSE
Doğrusal regresyon	0.958	1.690E-4	0.930	2.371E-4
Doğrusal olmayan regresyon 1	0.997	1.115E-5	0.992	3.091E-5
Doğrusal olmayan regresyon 2	0.998	9.1204E-06	0.996	1.6241E-05

Şekil 2. 10. Regresyonların Model Başarımları (Çaşka ve Gökçe, 2023)

## 2.2. Önerilen Şarj İstasyonları ve Bu İstasyonlara İniş

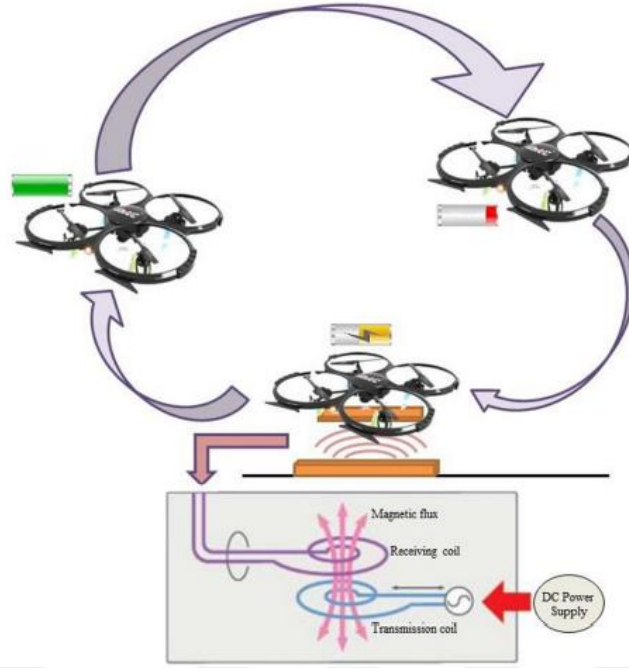
Yair Lozano ve arkadaşları Şekil 2.11. de gösterilen mekanik bir sistem ortaya koyarak 0.3 radyan açıyla yaklaşan ve sisteme oturan İHA'nın bataryasını mevcutta bulunan 3 bataryasından en dolu olanı ile değiştirmeye yönelik bir çalışma gerçekleştirmişlerdir (Lozano-Hernández ve ark., 2023).



Şekil 2. 11. Önerilen İniş İstasyonu (Lozano-Hernández ve ark., 2023)

Yair Lozano ve arkadaşları çalışma da hızlı bir şekilde şarj probleminin çözümüne odaklanmıştır. Dolaşım sonrası İHA'nın inişi ve tekrar kalkışı arasındaki süreyi kısaltma açısından farklı bir çalışma ortaya koymuşlardır.

İHA'lar için önerilen bir diğer şarj istasyonu tipi ise kablosuz şarj istasyonlarıdır. Ali Bin Junaid ve arkadaşları çalışmalarında Şekil 2.12 de gösterilen şekilde kablosuz şarj üzerinde durmuşlar ve birim zamanda yüksek verimliliğe ulaşmaya çalışmışlardır. (Junaid ve ark., 2016).



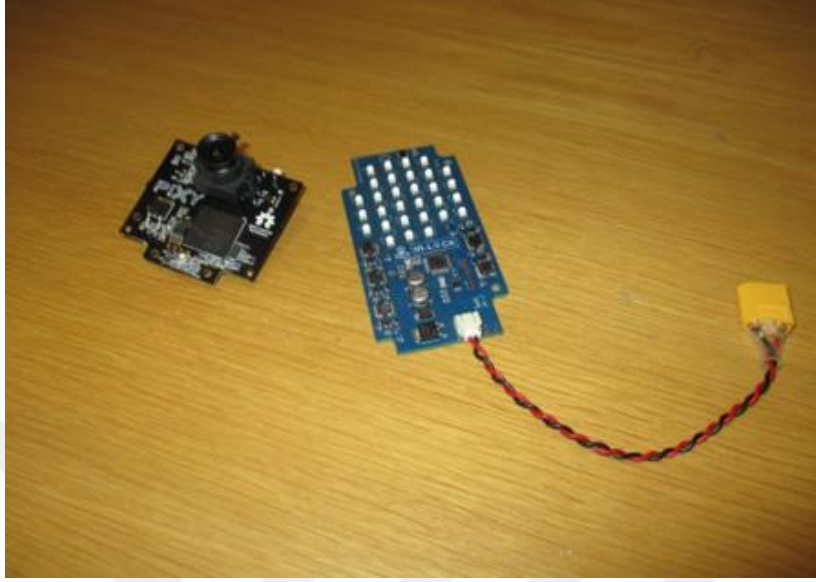
Şekil 2. 12. Önerilen Kablosuz Şarj Platformu (Junaid ve ark., 2016)

İHA'nın şarj istasyonuna indirilmesinde Junaid ve arkadaşları 6 adet Vicon obje izleme nesnesi kullanmışlardır. Şekil 2.13 de gösterildiği gibi İHA'nın her koluna birer adet olmak üzere yerleştirilen bu nesneler yer istasyonu ile haberleşerek İHA'nın konumunu bildirirler ve yerde işlenenler bu verileri kablosuz modüller üzerinden İHA'nın uçuş bilgisayarına gönderilerek İHA'nın yönlendirilmesi sağlarlar (Junaid ve ark., 2016).



Şekil 2. 13. Vicon Nesnelerinin Yerleşimi (Junaid ve ark., 2016)

Perdigão'nun doktora tez çalışması incelendiğinde ise platforma daha farklı bir iniş söz konusudur. Ir -lock olarak bilinen sistemde iniş noktasında kızılötesi ışık yayan bir modül, İHA üzerinde ise onu tespit eden kızılötesi bir kamera kullanılmıştır (Perdigão, 2018).



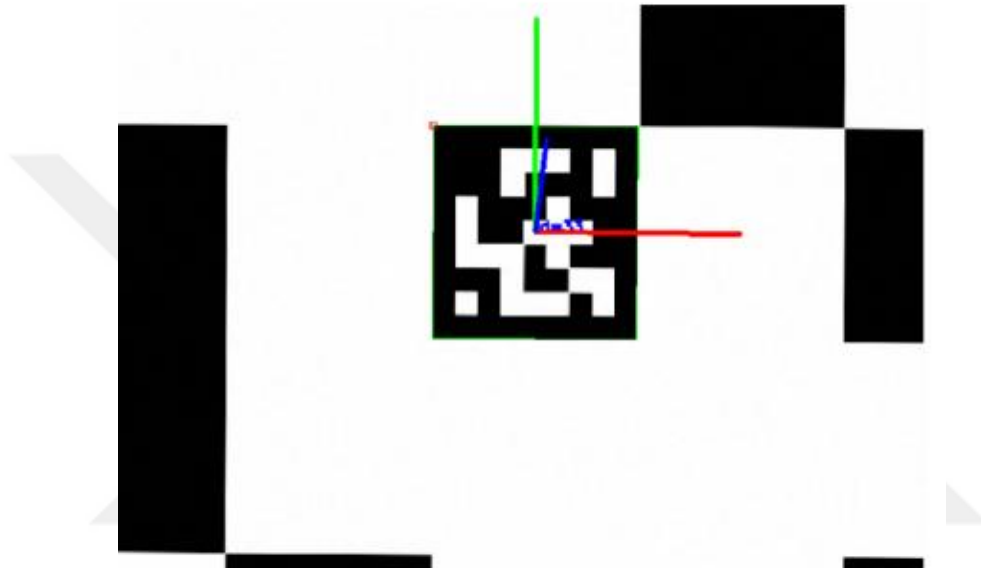
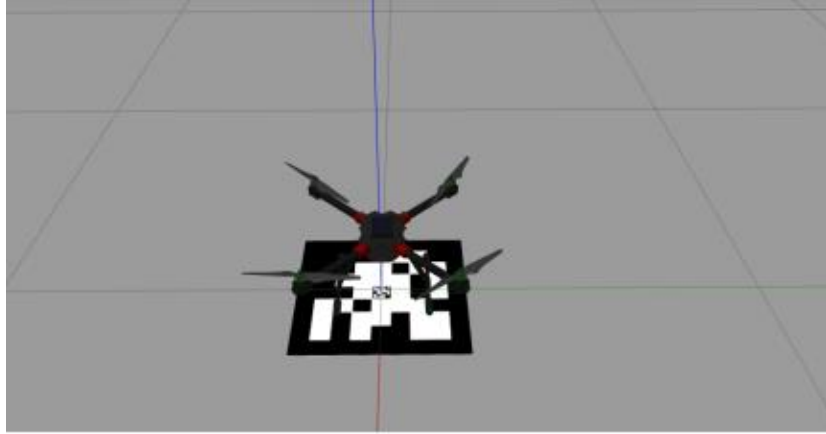
**Şekil 2. 14.** Ir Lock Sistemi (Perdigão, 2018)

Şekil 2.14. de gösterilen Ir-lock sisteminden yayımlan infrared (kızılötesi) ışınların kameradan yakalanan görüntüleri ise Şekil 2.15 de gösterilmiştir.

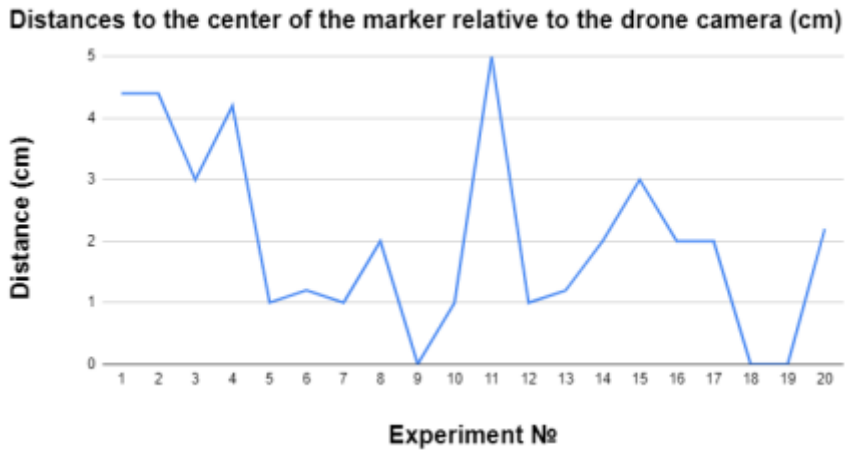


**Şekil 2. 15.** Kameradan alınan fokussuz ve fokuslu görüntüler (Perdigão, 2018)

Khazetdinov ve arkadaşları çalışması incelendiğinde iççice geçirilmiş iki adet Aruco etiketi kullanarak görüntü işleme tabanlı iniş yaptıkları görülmektedir. İHA en dıştaki Aruco etiketine odaklanıp platforma yaklaşıyor alçalmayla birlikte Şekil 2.16. da görüldüğü gibi iç kısımdaki etikete odaklandırıp hassas iniş yaptırılmaktalar (Khazetdinov ve ark., 2021).



Şekil 2. 16. İççice Aruco Etiketli ile Simülasyon İnişi (Khazetdinov ve ark., 2021)



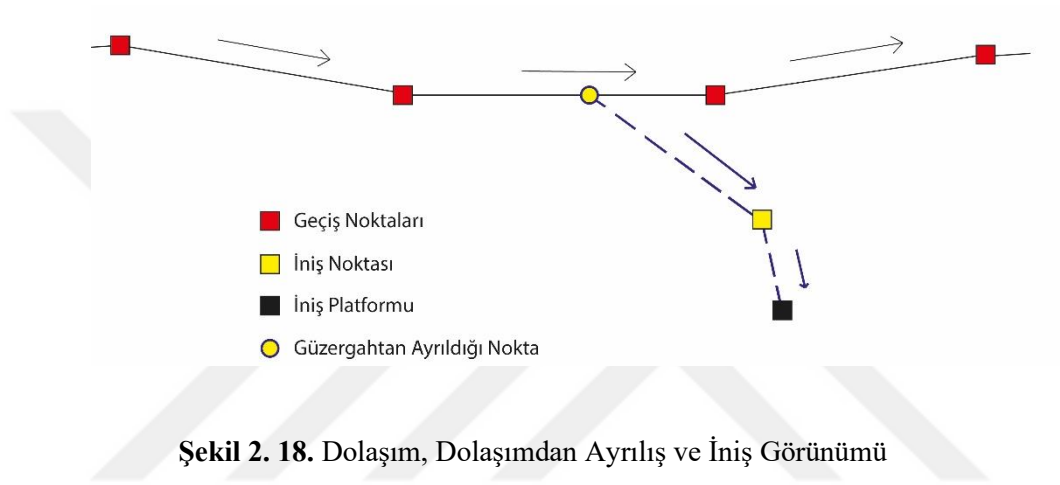
Şekil 2. 17. Aruco Merkezine Uzaklık ve Deneme Grafiği (Khazetdinov ve ark., 2021)

Çalışmalarını Gazebo simülöründe gerçekleştiren Khazetdinov ve ark. Şekil 2.17 de gösterilen 20 deneme sonucunda ortalama 2.03 cm'e kadar doğrulukta aruco merkezine iniş gerçekleştirmişlerdir (Khazetdinov ve ark., 2021).

### 2.3. Sonuç

Farklı türden görevlerde kullanılan döner kanat insansız hava araçlarının havada kalış süresinin kısa olması ile birçok araştırmacı ve özel firma çeşitli çalışmalarla batarya optimizasyonu ve batarya şarj konularına eğilmişlerdir.

Kendi çalışmamda pil sağlığını düşünerek ve görüntü işleme ile inişte güç tüketimini de işin içine katarak diğer çalışmalardan farklı olarak bütünsel olarak incelenmiş gerçek zamanlı ve fiziksel bir İHA üzerinde sahada gerçek koşullarda gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2.18. Dolaşım, Dolaşımdan Ayrılış ve İniş Görünümü

Şekil 2.18. incelendiğinde bir güzergâh üzerinde geçiş noktalarından geçerek otonom olarak ilerletilen İHA; geçiş noktaları arasında tüketilen batarya seviyesi bilgilerini kullanarak iniş için güzergah üzerinden ayrılarak birden fazla iniş noktasından yakın olanı tercih ederek bu noktaya gidişte tüketilecek batarya seviyesi çıkarımını gerçek zamanlı olarak tahminlemiştir. Bununla birlikte görüntü işleme ile Aruco etiketine inişler gerçekleştirilerek burada da tüketilen miktar tahminlenmiş ve pil sağlığı açısından süreç başında istediğim batarya seviyesinde İHA yere indirilmeye çalışılmıştır.

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

Çalışma sürecinin anlatıldığı bu bölümde öncelikle çalışmanın üzerinde deneneceği dört rotorlu İHA tasarlanmıştır. Yeterli sayıda kumanda uçşları sonrası İHA, otonom uçuşa elverişli hale getirilip bir dizi yazılımla test sürecine geçilmiştir. Çalışmada kullanılan yazılımlar bu başlık altında bölümlere ayrılarak akış diyagramları üzerinden ifade edilmiştir.

#### 3.1. İHA'nın Fiziksel Yapısı ve Tasarımı

Gerçek yaşam şartlarında daha iyi sonuçlar elde edebilmek için döner kanat İHA fiziksel olarak tasarlanmıştır. Her endüstriyel ürün gibi önce katı modelleme yapılarak çizimi Fusion360 programında ortaya konmuş daha sonra ise bu model üzerinden ayaklar, uçuş bilgisayarını tutan parçalar ve kameranın yerleştirildiği platform 3D yazıcı ile üretilmiştir. Kanatlar, orta gövde ve alt kat platformları bu çizimler üzerinden karbonfiber plakadan lazer ile kestirilmiştir.

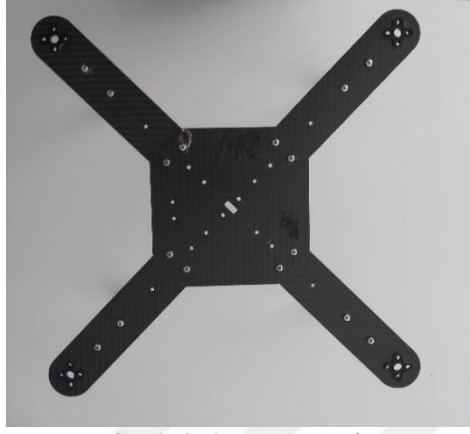
Süreç sonunda 1478gr ağırlığında otonom uçuşa elverişli Şekil 3.1. 'de gösterilen Döner Kanat İHA elde edilmiştir.



Şekil 3. 1. Tasarlanan Döner Kanat İHA'nın Genel Görünümü

### 3.1.1. Gövde Yapısı

Döner kanat İHA'lar da farklı sayıda motor ve bu motorları tutan kolların gövdeye farklı açılarla bağlanmasıyla birden fazla gövde tipi ortaya çıkar. Mevcut çalışmada 4 kollu 45x45 cm tam "X" tipi gövde tercih edilmiştir. Gövde 3mm kalınlığında karbonfiber malzemeden üretilmiştir.



Şekil 3. 2. Ana Gövde

### 3.1.2. Fırçasız DC Motor ve Pervane

Döner Kanat İHA üzerinde 4 adet Emax XA 2212 1400KV'lik fırçasız dc motor kullanılmıştır. Motor seçiminde öncelikle motorun çektiği akım miktarına göre kaldırabildiği ağırlık (itme kuvveti) miktarına bakılmıştır.

Üretici firmaların kendi testleri ile kullanıcılara sağladığı bilgiler motor seçiminde işleri kolaylaştırmaktadır.

Tablo 3. 1. Motor Test Değerleri

Volt (V)	Kanat Boyutu	Akım (A)	İtme Kuvveti (G)	Güç (W)	Verim (G/W)	RPM
12	8*6	20.6	940	247.2	3.8	10750
8	8*6	11.9	520	95.2	5.5	8250

Fırçasız dc motora uygulanan farklı gerilim ile oluşan test sonuçları tabloda görülmektedir.



Şekil 3. 3. 12V DC Motor

12 v gerilim ile 80x60 pervane (8 inch uzunluk – 60 derece eğim açısı) ile 1 motor 940 gramlık yük taşıyabilmekte ve dakikada 20.6 Amper akım çekmektedir. 4 motor ise tam güçte 3760gr yük kaldırabilmektedir.



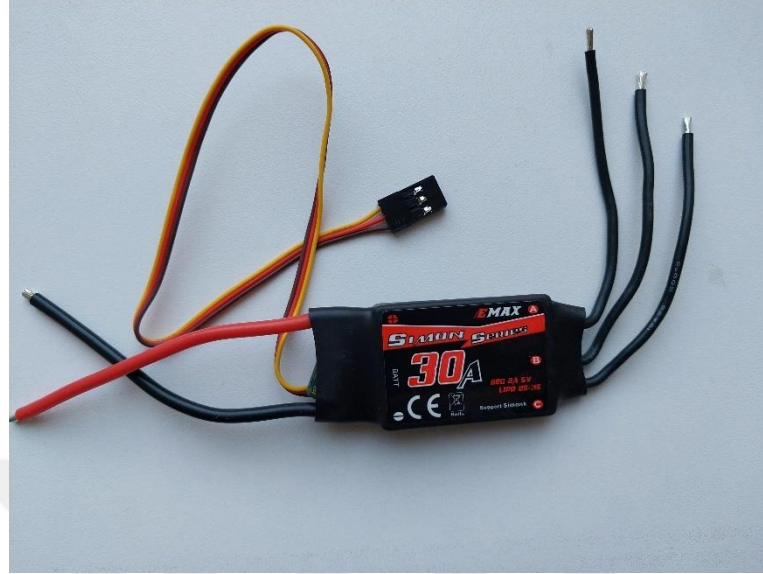
Şekil 3. 4. 8060 Pervane

4 motorlu bir yapı tercih edildiği için motorlar karşılıklı çapraz şekilde aynı yöne dönmelidir. Bunların ikisi CW (saat yönünde) diğer ikisi ise CWW (saat yönünün tersine) şeklinde olmalıdır ve buna göre pervane seçimi yapılmalıdır. Şekil 3.4. de görülen 8060 pervanelerden üsttekiler CWW alttakiler ise CW tipindedir. Motorların dolayısıyla pervanelerin dönüş yönleri, 'İHA'nın Düzlem ve Eksen Üzerindeki Hareketleri' başlığı altında ayrıntılandırılarak gösterilmiştir.

### 3.1.3. ESC

Uçuş kartından gelecek emirlerin (motor dönüş yönü ve hız) motora aktarılmasında kullanılan esler, birer motor sürücü kartlarıdır. Esc'nin çalışma gerilimi motorların çalışma gerilimleri ile uyumlu olmalıdır. Esc seçiminde dikkat edilmesi gereken diğer bir husus ise destekleyeceği akım miktarıdır.

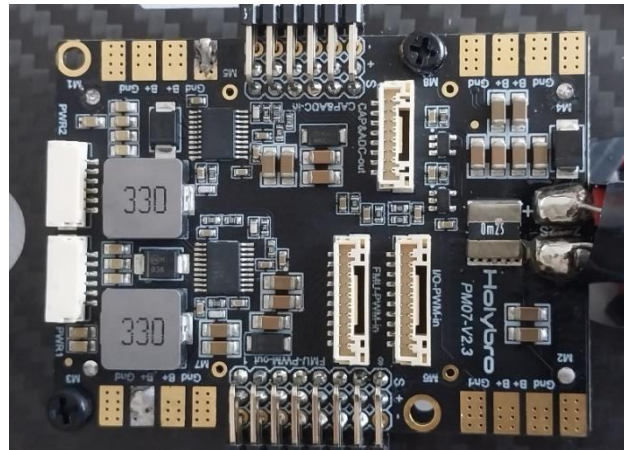
Esc'nin desteklediği akım miktarı tüketilen akımdan fazla olmalıdır. Kullanılan motorların tam güçte çektiği akıma bakılarak (20.6 A) 4 adet 30 Amperlik ESC tercih edilmiştir.



Şekil 3. 5. 30A ESC

### 3.1.4. Güç Dağıtım Kartı

Güç dağıtımından sorumlu olan PM07 güç dağıtım kartı 2S – 6S arasında güç beslemesine olanak vermektedir. Çalışmada İHA 3S (11.1V) değerindeki Lipo pil ile beslenmektedir. Bu gerilimi olduğu gibi ESC'lere ileten kart aynı zamanda Pixhawk uçuş kontrol kartını 5V ile beslemektedir.



Şekil 3. 6. PM07 Güç Dağıtım Kartı

### 3.1.5. Uçuş Kontrol Kartı

Döner kanat İHA'nın uçuş kontrolcüsü için otonom uçuşa elverişli olan Pixhawk 4 tercih edilmiştir. Harcanan anlık akım, gerilim seviyeleri ve batarya seviyesini de bize vermesi bir diğer tercih sebebidir. İçerisinde 32 bit arm cortex (STM32F765) işlemci vardır. Pixhawk 4 uçuş kartı dahili olarak denge (ICM-20689), pusula (IST8310), basınç (MS5611) sensörlerini barındırır.



Şekil 3. 7. Uçuş Kontrol Kartı

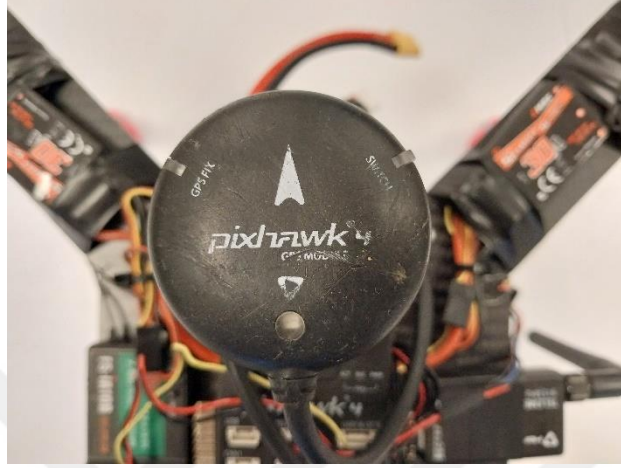
PM07 güç dağıtım kartından gelen 5v ile çalışan uçuş kartı diğer birimlerin ortak bağlantı noktasıdır. Uçuş bilgisayar olarak kullanılacak Raspberry Pi kartından alacağı emirlere göre İHA'nın hareketlerini düzenler, gerekli olan bilgileri ise yine telemetri kanallarından ilgili yere iletir. Uçuş kontrol kartı ve bağlantı kuracağı birimlerle olan ilişkisi Tablo 3.2. de belirtilmiştir.

Tablo 3. 2. Bağlantı Tablosu

Uçuş Kontrol Kartı Bağlantı Noktası	Bağlanacak Birim
TELEM1	Raspberry Pi (RX,TX)
TELEM2	Telemetri
DSM/SBUS RC	Radio Alıcısı
I/O PWM OUT	PM07 (I/O PWM IN)
POWER1, POWER2	PM07 (POWER)
GPS	GPS Modülü

### 3.1.6. GPS

İHA'nın otonom bir şekilde gideceği hedef yolu (güzergah takibi) ve iniş alanını tayin edebilmesinde konumlandırıcıya ihtiyaç duyulduğu için Pixhawk 4 GPS kullanılmıştır. Uçuş kontrol kartına bağlı olan GPS modülü aynı zamanda pusula da barındırır. GPS modülü uçuş esnasında ne kadar fazla uydu ile bağlantı kurarsa mevcut konum noktasını o kadar iyi tespit etmektedir.



Şekil 3. 8. GPS Modülü

### 3.1.7. LiPo Batarya

Günümüzde teknolojinin kullanım alanlarına göre çeşitlendirilmiş farklı türde piller mevcuttur. Pillerin enerjiyi depolayabilen birer kimyasal ürün olmaları onları dışsal etkilere karşı savunmasız bırakabilmektedir. Bundan dolayı pillerin çeşitli elektriksel ve fiziksel zorlamalara karşı gerekli güvenlik kriterlerini sağlamaları ihtiyaçtan öte birer gereksinimdir. Pillerin bağlı oldukları platformun havadaki bir İHA olduğu düşünülürse pil seçiminin daha da dikkatli yapılması gerekmektedir.



Şekil 3. 9. Lipo Bataryalar

Döner kanat İHA'lar da motorların birim zamanda çektiği akımı rahat verebilmelerinden dolayı yüksek yoğunluklu olan Lityum Polimer tipi piller tercih edilmektedir. 3.7 V gerilim tutma kapasitesi olan Lityum Polimer pil hücrelerinin her biri "S" ile ifade edilir ve her pil hücresi ortalama 3.7 V gerilim tutabilmektedir.

**Tablo 3. 3.** LiPo Bataryaların Hücre Sayısına Göre Şarj Seviyeleri

Hücre Sayısı	Minimum Kesme Seviyesi (V)	Nominal Şarj Seviyesi (V)	Tam Şarj Seviyesi (V)
1S	3.2	3.7	4.2
2S	6.4	7.4	8.4
3S	<b>9.6</b>	<b>11.1</b>	<b>12.6</b>
4S	12.8	14.8	16.8
5S	16	18.5	21.0
6S	19.2	22.2	25.2

Çalışmada kullanılacak fırçasız dc motorun çalışma gerilimi (12V) ile uyumlu olması için 3S'lik (11.1V) LiPo batarya tercih edilmiştir. Minimum kesme seviyesi LiPo pillerin kritik deşarj seviyesidir, LiPo pil bu gerilim seviyesinin altına inmemelidir aksi takdirde yapısında bozulma başlayacaktır. İHA'lar havada aktifken bu seviyeler sürekli kontrol edilmek zorundadır.

LiPo bataryanın gerilim seviyesi belirlendikten sonra İHA'nın havada kalış süresi ve yapılacak işin yüküne göre bataryadan çekilecek akımın miktarı ve akımın anlık olarak bataryadan karşılanıp karşılanamayacağına bakılmalıdır (Putra ve ark., 2020). Bunun için ise İHA'nın toplam kalkış ağırlığı hesaplanmalıdır. Toplam kalkış ağırlığının içinde bataryanın bulunması ve sahip olduğu akım değerine göre batarya ağırlığının da değişiyor olması sürecin birden fazla tekrarla hesaplanmasını gerektirmektedir.

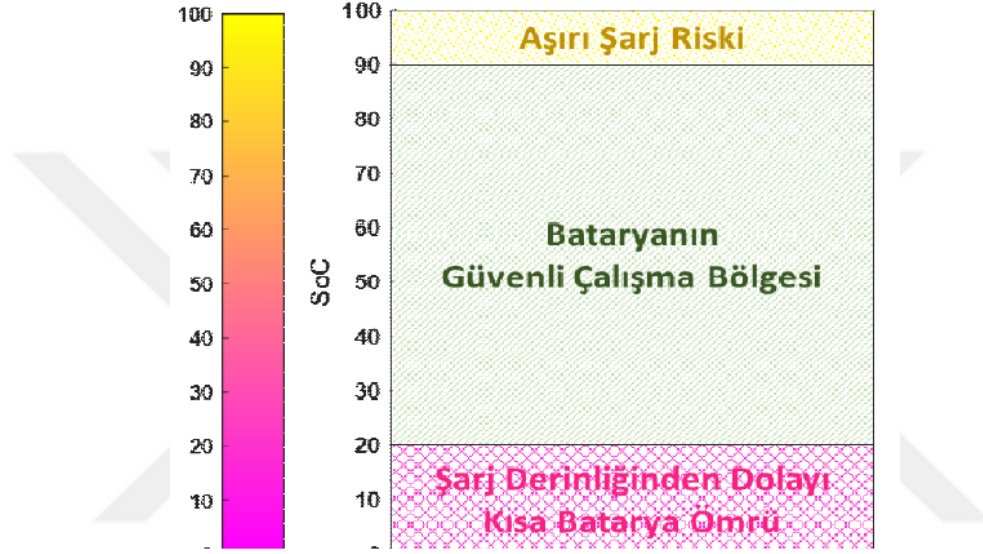
Döner kanat İHA'ların kalkış ağırlığı (İHA'nın toplam ağırlığı), toplam 4 motorun maksimum yük kaldırma ağırlığının ( $940 \times 4 = 3760$ gr) yarısından az olması gerekmektedir. Bu nedenle toplam ağırlık 1880gr'ın altında olduğu sürece İHA güvenli kalkışı sağlayabilir. Çalışmada kullanacağımız döner kanat İHA'nın toplam ağırlığı ise 1478gr'dır.

Toplam ağırlığı tespit edilen İHA'nın havada kalış süresini etkileyen asıl unsur seçilen li-po bataryanın verebileceği akım miktarıdır. Hover süresini (İHA'nın havada kalma süresi) hesaplamak için bataryanın 1dk'da verebildiği akımı, motorların talep ettiği akıma bölmemiz gerekir. Çalışmada 6000mAh'lik pil kullanılmıştır. Batarya 1 dakikada 360 Amper (6.0Ax60) akım verebiliyor. Batarya içindeki akımın tamamını kullanamayacağımız için 80%'lik kısmını kullandığımız düşünülürse yaklaşık dakikada 288 A akım çekebilmekteyiz. Toplam ağırlığımız 1478gr, her bir motorumuz yaklaşık 370gr yük kaldırması gerekmektedir. Motor üretici firmasının verdiği değerler ışığında 370gr'lık yük ile 12A akım tüketmekteyiz. Toplam 4 motorun 48 amperlik akım tüketimi gerçekleşmektedir. Bu değeri bataryamızın bize verebildiği toplam akıma böldüğümüzde (288/48) yaklaşık olarak 6 dakikalık bir uçuş süremiz olduğu tespit edilmiştir. Bu 6 dakikalık süre tam güç kullanımında ve Raspberry Pi'nin çektiği

akımlar olmadan hesaplanmıştır. Daha stabil ve düşük hızda uçuşlarda bu süre artabileceği gibi Raspberry Pi'nin CPU'sunda yapılan işlem sayısındaki artış ile de bu süre kısalmalıdır. Süreçte ortalama 6 dakika görev icrası için yeterli bir süredir.

Bataryanın verdiği toplam akım miktarı kadar verdiği anlık akım miktarı da önemlidir (Traub, 2016). Lipo batarya üreticilerinin verdiği deşarj katsayısı batarya üzerinde C değeri ile gösterilir. Çalışmada kullanılan bataryanın 40C'dir. Bataryanın saatte verdiği akım 6.0A), deşarj katsayısı (40C) ile çarpılır ve bu değer anlık çekilen maksimum akım değerinden ( $20.6A \times 4$ ) büyük olmalıdır.

Bataryanın yüzdeler olarak şarj durumunu gösteren SoC değeri 0-100 arasında değişmektedir. Şekil 3.10. da gösterildiği gibi bataryaların sağlıklı çalışma aralığı verilmiştir (Tezde ve Okumuş, 2018).



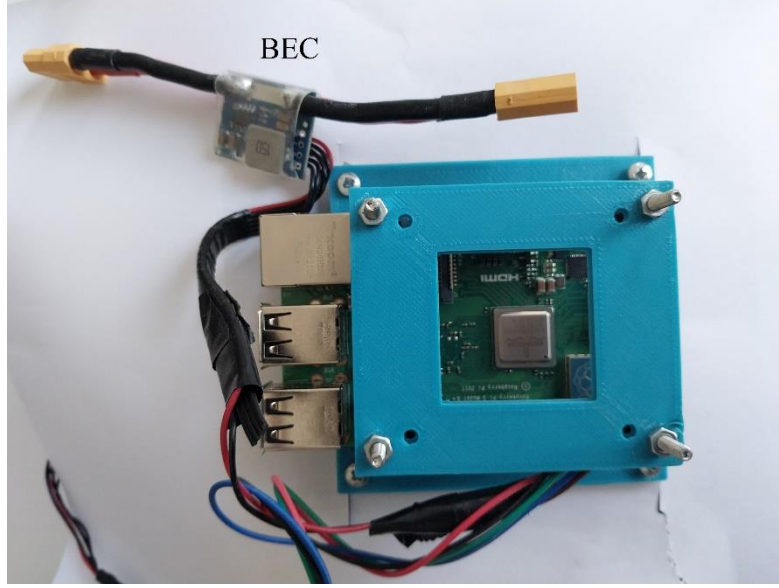
Şekil 3. 10. Bataryanın Güvenli Çalışma Bölgesi (Tezde ve Okumuş, 2018)

Bataryanın sağlıklı çalışma aralığı baz alınarak İHA üzerinde yapılacak çalışmalarda bu seviyelerin dışına çıkılmamaya çalışılmıştır.

### 3.1.8. Raspberry Pi- Uçuş Bilgisayarı

Uçuş bilgisayarı olarak Raspberry Pi Model 3B+ kullanılmıştır. Model 3B+ 64 bit 1.4 GHZ Cortex-A53 işlemci, 1 GB LPDDR2 SDRAM barındırır (Upton ve Halfacree, 2016). Ana yazılımı çalıştırma dışında tüm süreçte uçuş kartı olan Pixhawk4 ile iletişim halinde olur pil gerilimi ve konum bilgilerini alır. İnilecek yerin belirlenmesine karar verir ve uçuş kartını yönlendirir.

Çalışmada Raspberry Pi uçuş bilgisayarının inilecek yerin tespiti dışında üstlendiği bir diğer önemli görev ise CSI kamera portu girişine bağlanan kamera ile görüntü işlemedir. GPS ile inilecek bölge seçilirken işlenen görüntü ile inilecek yer tespit edilir.

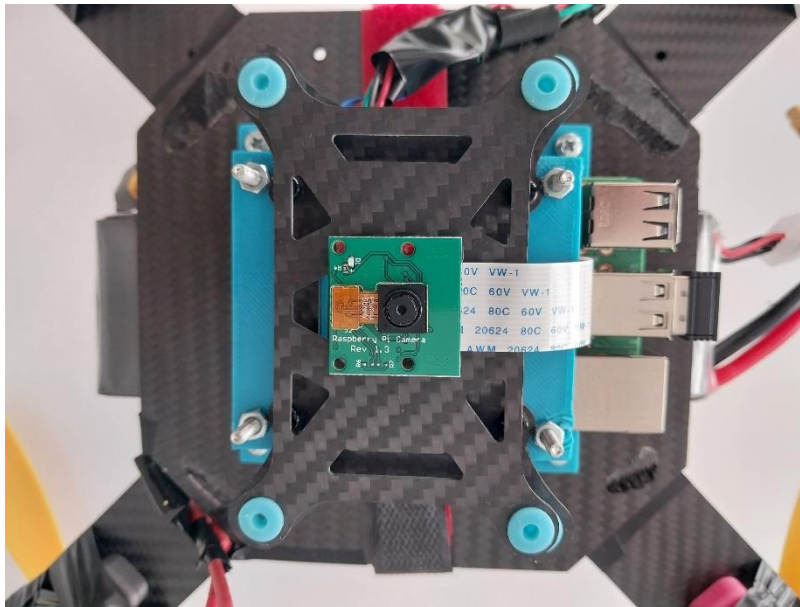


Şekil 3. 11. Raspberry Pi Uçuş Bilgisayarı ve BEC Devresi

Raspberry pi uçuş bilgisayarının çalışabilmesi için Lipo bataryadan harici çıkış almamızı sağlayan ve bize 5V regüle gerilim veren BEC devresi kullanılmıştır. BEC devresi dışında telemetri portu ile de uçuş kartından besleme alınmıştır.

### 3.1.9. Kamera Modülü

Döner kanat İHA'nın merkezine gelecek şekilde Raspberry Pi'nin kendi üretimi olan versiyon 1.3 kamera yerleştirilmiştir. İnilcek alan belirlendikten sonra İHA'nın o noktaya GPS ile varıp iniş için görevi kameraya devretmesi gerekmektedir. İniş görevinde görüntü işleme için kullanılacak CSI kamera, uçuş bilgisayarının CSI girişine bağlanmıştır.

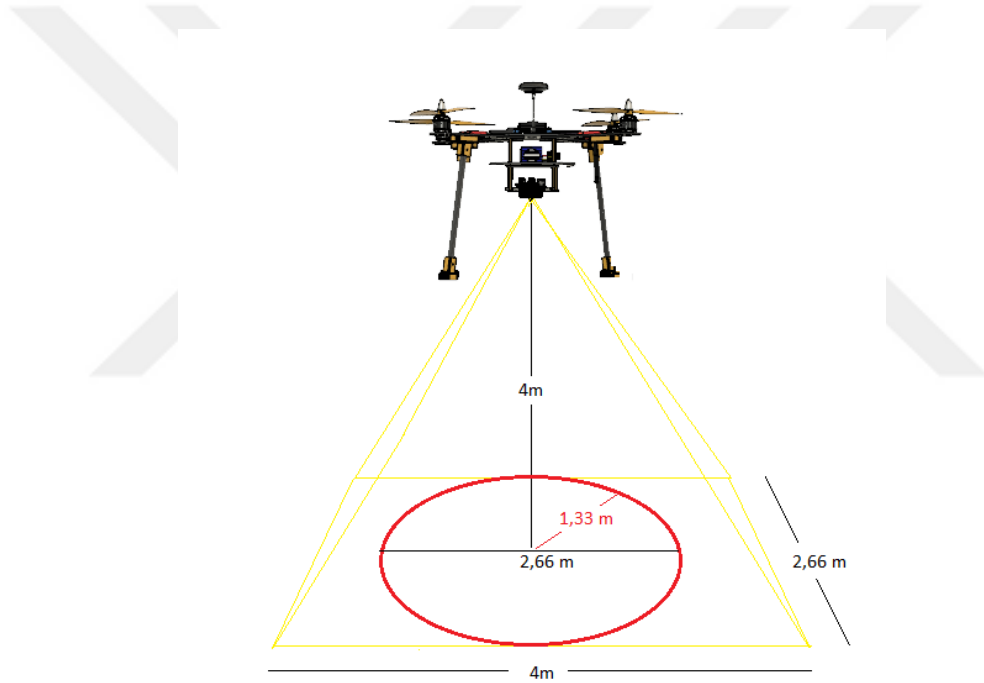


Şekil 3. 12. Raspberry Pi Kamera Modülü

**Tablo 3. 4.** Kameranın Teknik Özellikleri

<b>Çözünürlük</b>	<b>2592 x 1944 piksel (5MP)</b>
<b>Sensör Tipi</b>	OmniVision OV5647
<b>Görüş Açısı</b>	54 x 41 derece
<b>Görüş Alanı</b>	4 m'de 4,0 x 2,66 m

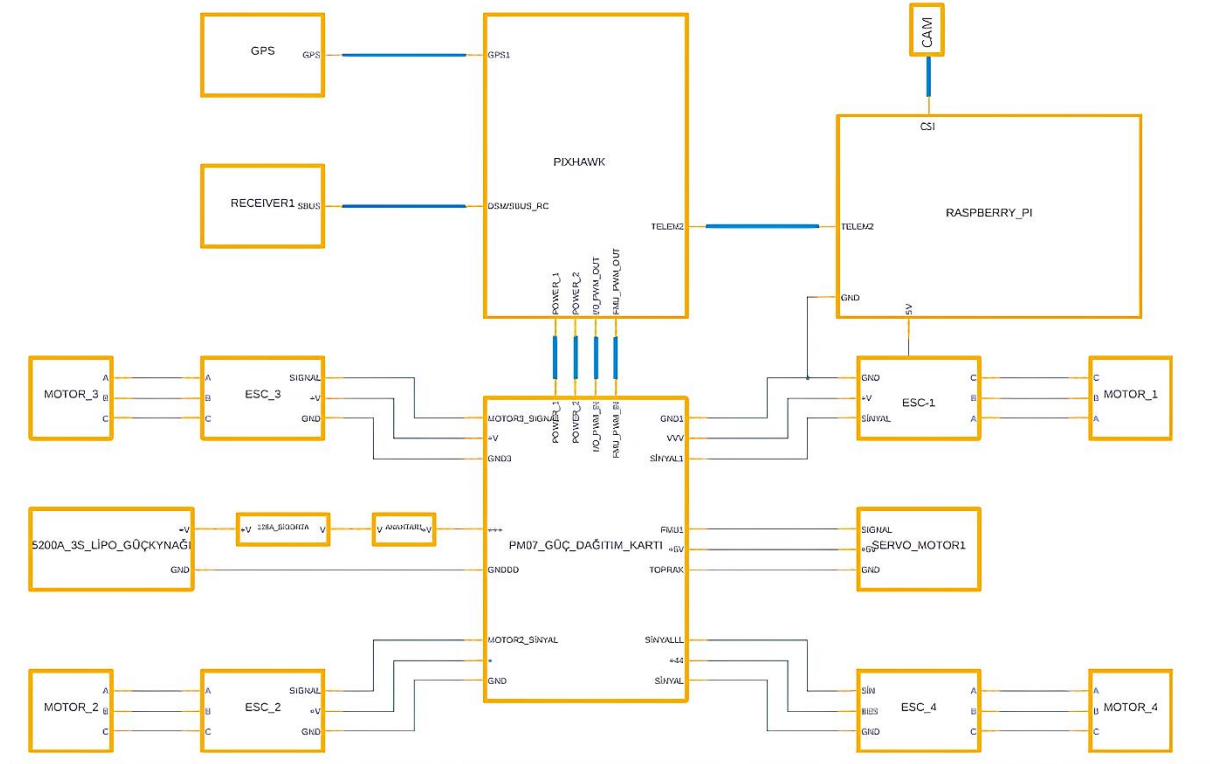
Yukarıdaki tabloda yer verilen teknik özelliklere bakıldığında kameranın görüş alanı GPS'in iniş yapılacak noktaya yaklaşma miktarıyla ilintilidir. 4m de görüntü alınacağı düşünülürse GPS'in yaklaşma miktarı  $2.66m / 2 = 1.33 m$  'yi geçmemelidir. Aruco etiket ise 2,66m çapının içinde bir alanda olmalıdır.



**Şekil 3. 13.** Kamera Görüş Alanı

### 3.1.10 Bağlantı Şeması

Tasarlanan İHA da kullanılan fiziksel parçaların bağlantı şeması aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.

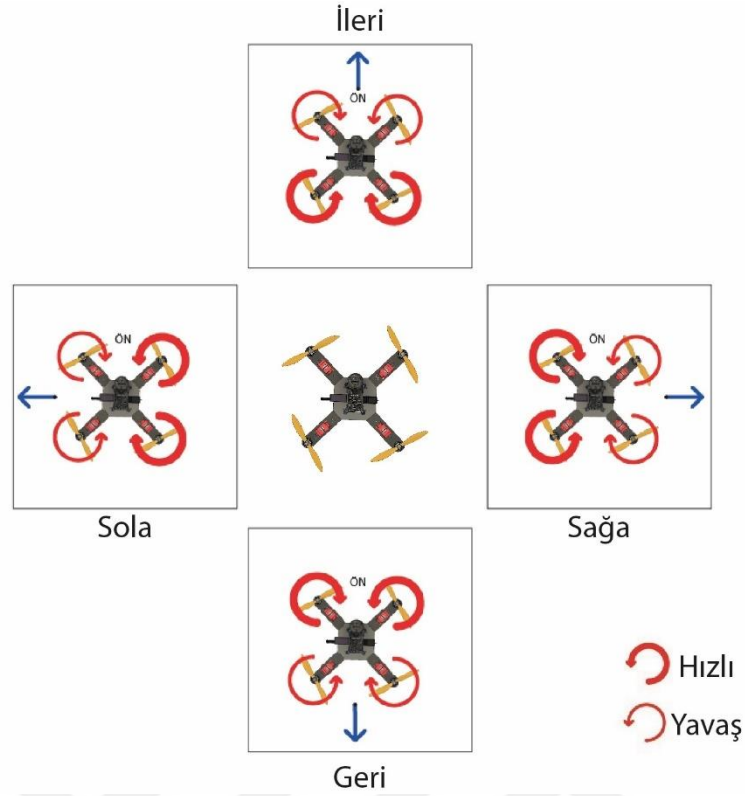


Şekil 3. 14. Bağlantı Şeması

### 3.2. İHA'nın Hareketleri

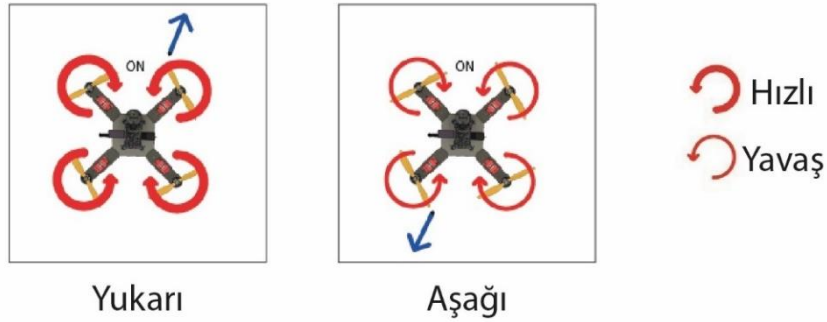
3 Boyutlu hava uzayında döner kanat İHA'lara hareket kabiliyetini; üzerinde bulunan motorların hızları verir. Uçuşun başlamasından sona ermesine kadar motorların yönleri değişmez ve motorlar çapraz olarak aynı yönde dönerler.

Döner kanat insansız hava araçları yatay yönde hareket etmek istediklerinde gidilecek yönün arkasında (ters tarafında) kalan motorların hızı, gidilecek yöndeki motorların hızından fazla olmalıdır. Bu hareketle birlikte İHA'nın ön kısmı aşağı doğru iner (eksenel hareket yapar) ve o yönde ilerler.



Şekil 3. 15. Yatay Düzlemde Hareketler

Dikey yönlü hareketlerde motorlara hız verilerek yukarı, hız düşürülerek ise aşağı yönlü hareket sağlanır.



Şekil 3. 16. Dikey Düzlemde Hareketler

Döner kanat araçların ağırlık merkezlerinin ve uçuş kontrol kartlarının (kart merkezinde denge sensörü vardır) merkezde olmasına dikkat edilmelidir. Bu sayede aksenal hareketleri daha nizami gerçekleşir ve rotadan sapmaların önüne geçilmiş olur.



Şekil 3. 17. Eksen Üzerindeki Hareketler

### 3.3. Süreçte Kullanılan Yazılım ve Bileşenleri

Süreç genelinde kullanılan programlama dili Python olmuştur. Kütüphane yönünden zengin olan dil de kullanılan ana kütüphane ise Dronekit kütüphanesidir.

#### 3.3.1. Dronekit Kütüphanesi

Yerleşik bir yardımcı bilgisayar (Raspberry Pi) üzerinde çalışabilen Dronekit, düşük gecikmeli bağlantısı sayesinde Ardupilot destekli uçuş kartları ile iletişim kurabilmektedir. Uçuş bilgisayarı üzerinde çalışan kütüphanesi uçuş kartı ile bağlantı kurarak MAVlink kodlarının gönderimini sağlar ve İHA'nın havada kontrolü gerçekleştirilmiş olur (Chettri ve ark., 2021).

#### 3.3.2. MAVlink Protokolü

Uçuş bilgisayarı ve uçuş kartı arasında iletişimden MAVlink protokolü sorumludur. Bu noktada uçuş bilgisayarı bir yer istasyonu gibi davranır ve uçuş kartına çeşitli emirler ve doğrulamalar gönderilmiş uçuş kartından da anlık konum, irtifa, yaw durumu, x-y düzleminde eğim açısı, gerilim seviyesi ve anlık çekilen akım miktarı, batarya mevcut gerilimi ve batarya seviyesi miktarı bilgisi alınmıştır.

Çalışmanın güzergah üzerinde dolaşımı için belirlenen varış noktalarının takibinde uçuş kartına emirler Command sınıfı üzerinden yollanmıştır. Güzergah da iniş noktaları dahil her varış noktası için bir komut eklenmiştir. Şekil 3.18. de görsel üzerinde örnek olarak 1. iniş noktasına varış komut yapısı ve MAVlink mesajı gösterilmiştir.

```
komut.add(Command(0, #hedef sistem
                 0, #hedef bileşen
                 0, # sekans (0- oto)
                 mavutil.mavlink.MAV_FRAME_GLOBAL_RELATIVE_ALT, # irtifa parametresi
                 mavutil.mavlink.MAV_CMD_NAV_WAYPOINT, #varış noktası parametresi
                 0, #desteklenmeyen parametre
                 0, #desteklenmeyen parametre
                 0, #parametre 1 Bekleme
                 0, #parametre 2 Boş
                 0, #parametre 3 Boş
                 0, #parametre 4 Boş
                 inis1_x, # enlem
                 inis1_y, # boylam
                 4      # irtifa
                 ))
```

Şekil 3. 18. Şekil 3.3.2. Varış Komut Yapısı ve MAVlink Mesajı

Görseldeki parametre listesinde son yedi parametre MAV\_CMD\_NAV\_WAYPOINT mesajına aittir. Birinci parametre varış noktasına varıldıktan sonraki bekleme süresini belirtirken son üç parametre İHA'nın hedeflenen enlem, boylam ve irtifa değerini belirtmektedir.

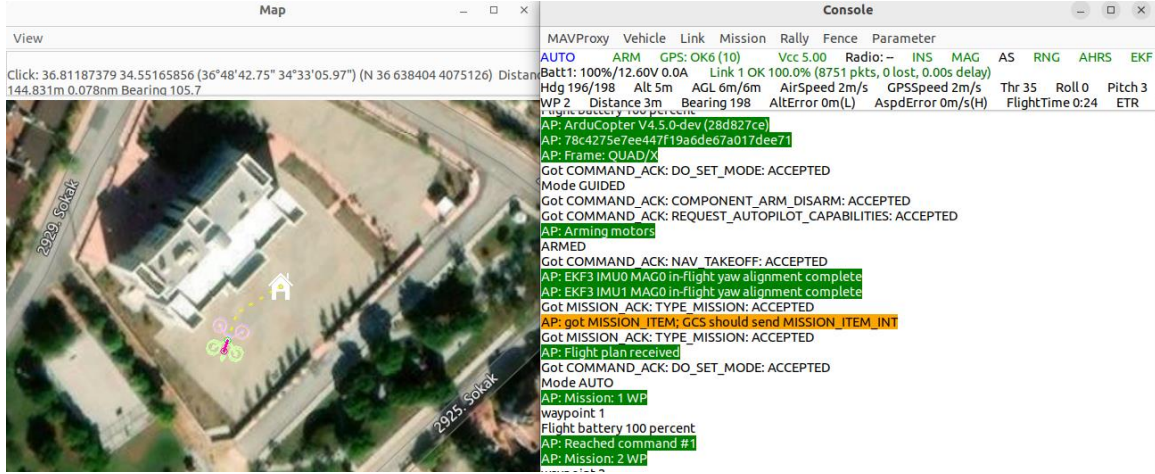
### 3.3.3. OpenCV Kütüphanesi

Görüntü işleme kütüphanesi olan OpenCV Kütüphanesi, İHA'nın kamera ile inişinden sorumludur. İniş platformu üzerinde kullanılan Aruco etiketinin bulunması ve kamera merkezi ile Aruco etiketi arasındaki mesafenin alınmasında kullanılmıştır.

Çalışma da OpenCV kütüphanesinin bir diğer kullanıldığı alan mevcut Raspberry Pi kamerasının kalibrasyonun gerçekleştirilmesidir.

### 3.3.4. Ardupilot-Sitl

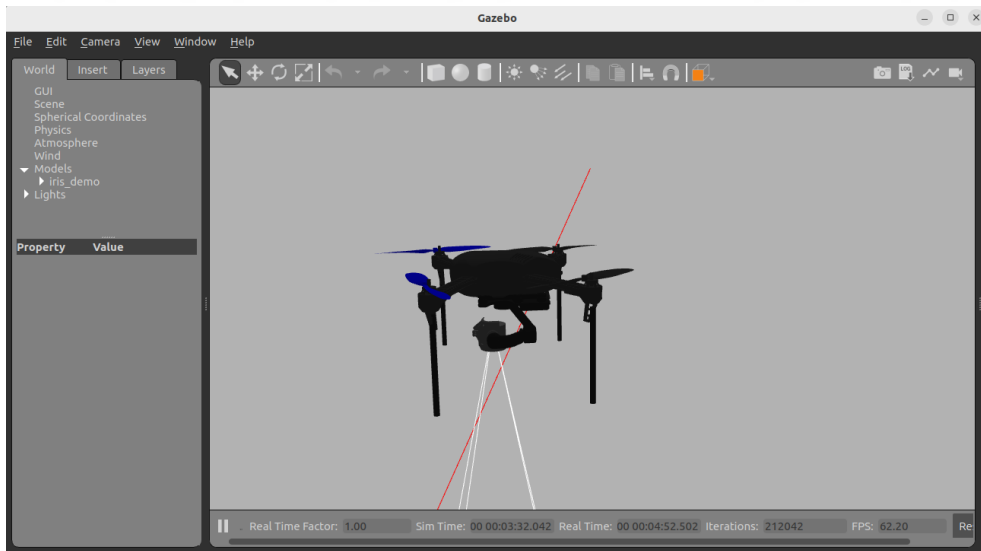
İki boyutlu simülasyon programı olan Ardupilot-Sitl ile programın 2D uçuşları kontrol edilmiştir. Özellikle geçiş noktalarının kontrolünde gerçek uçuştan önce yapılacak simülasyon uçuşu hayat kurtarıcı olabilmektedir (Li ve ark., 2022). Ubuntu işletim sistemli PC üzerinden kolay şekilde çalıştırılabilen uygulama ile takip edilen sayfalar Şekil 3.19. da gösterilmiştir.



Şekil 3. 19. Ardupilot-Sitl Arayüzü

### 3.3.5. Gazebo

İHA'nın 3D davranışlarını kontrol etmek için Gazebo Simülasyon programı kullanılmıştır. Özellikle İHA'nın arm (pervanelerin kalkış öncesi dönerek kalkışa hazır olduğunu gösteren hareket) olma, kalkış ve iniş testleri gerçek ortandan önce Gazebo simülasyon ortamında gerçekleştirilmiştir. Bize içeriğine ait kamera desteği olan bir döner kanat İHA ve çalışma ortamı sunan Gazebo programının arayüze Şekil 3.20. de gösterilmiştir.



Şekil 3. 20. Gazebo Arayüzü

### 3.4. Çalışma Sahasının ve Waypoint'lerin Seçimi

Dolaşılacak noktaların (geçiş noktaları-waypoint) seçimini çalışma sahasının alanı belirlemiştir. Çalışma alanı olarak Yenişehir Belediyesi Bilim ve Sanat Merkezinin açık alanı tercih edilmiş ve

çalışmalar kurumun kapalı olduğu zaman dilimlerinde gerekli güvenlik önlemleri alınarak gerçekleştirilmiştir.



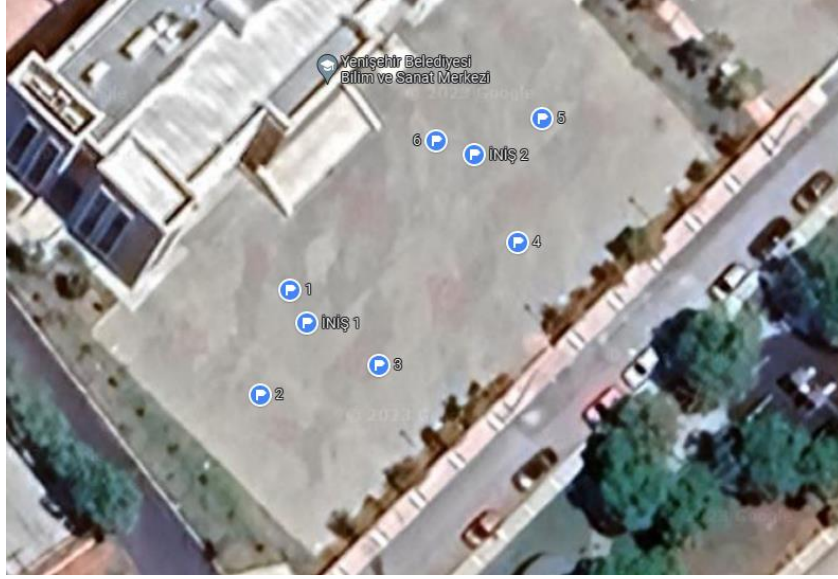
Şekil 3. 21. Çalışma Alanı

Uzun süre havada kalacak İHA için 6 geçiş ve 2 adet iniş noktası belirlenmiştir.

Tablo 3. 5. Geçiş ve İniş Noktalarının Koordinatları

	Enlem (x-Latitude)	Boylam (y-Longitude)
Waypoint 1	36.8121687	34.5500064
Waypoint 2	36.8120796	34.5499742
Waypoint 3	36.8121043	34.5501016
Waypoint 4	36.8122095	34.5502491
Waypoint 5	36.8123147	34.5502746
Waypoint 6	36.8122965	34.5501620
İniş Noktası 1	36.8121408	34.5500243
İniş Noktası 2	36.8122841	34.5502020

Google Haritalar üzerinden koordinatlar etiketlenerek Şekil 3.22. de gösterilmiştir.

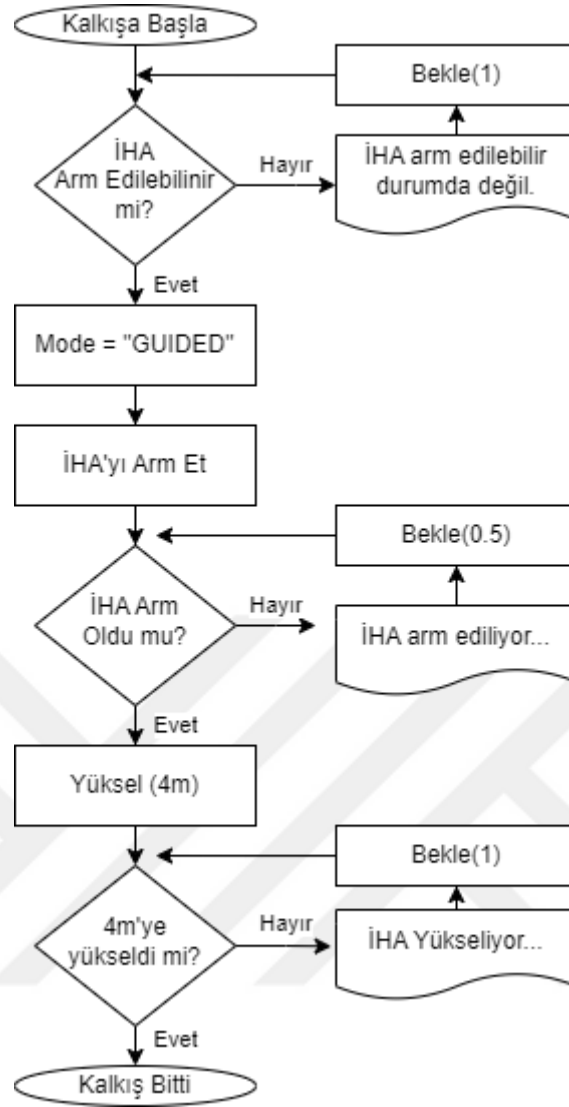


Şekil 3. 22. Geçiş ve İniş Koordinatları

Çalışma sahasının herhangi bir noktasına bırakılan İHA öncelikle 1 konumuna hareket etmektedir. Daha sonra sırasıyla 2,3,4,5,6 noktalarını dolaşmaktadır. 6 nolu geçiş noktasına gelindiğinde güzergah komutları tekrar yüklenerek tekrar 1 nolu geçiş noktasına yönelir. Bu sayede çalışma alanında geçiş noktaları üzerinde tur attırılmış olundu. Kapalı devre şeklinde sürekli tur dönüşü sağlanmıştır.

### 3.5. Kalkış

Alan üzerinden herhangi bir konumdan kalkacak olan İHA istenilen irtifaya çıkana kadarki sürecinin akış diyagramı Şekil 3.23. de gösterilmiştir.



Şekil 3. 23. Kalkış Akış Diyagramı

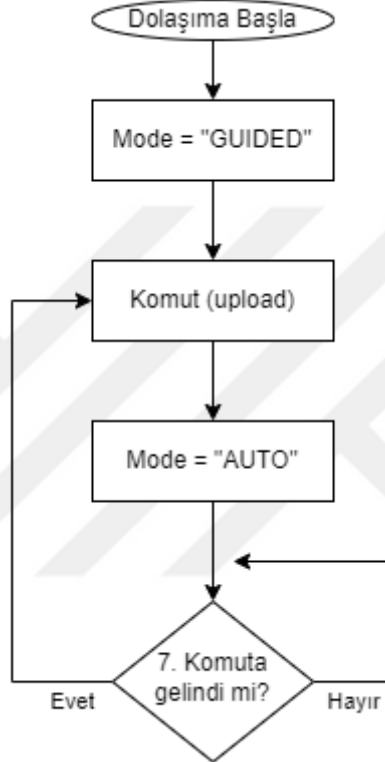
Kalkışın ilk aşaması İHA'nın hazır hale getirilmesi yani arm olma durumudur. Arm durumuna hazır olması için uçuş kontrol kartının onayı gereklidir. Gerekli onay alındıktan sonra İHA Guided (emirleri kabul eden mod) modunda arm durumuna geçirilir ve motorlar dönmeye başlar. Bu aşamada İHA kalkmaya başlamaz sadece kalkışa hazır olduğunu ifade eder. Arm olan İHA'ya takeoff (yüksel) emri verilir, yükselme miktarı sürekli kontrol edilir. Hedeflenen yüksekliğe çıktığı an dolaşım komutları İHA'ya gönderilerek güzergah da dolaşım başlar.

### 3.6. Güzergah Takibi

GPS yardımıyla geçiş noktaları üzerinde ilerleyerek hareket edecek olan İHA, kalkıştan belirli bir batarya seviyesinin altına düşene kadar bir güzergahı takip etmektedir.

Komutlar, kalkışın tamamlanıp belirli irtifaya yükselmesinden sonra uçuş bilgisayarından uçuş kontrol kartına tek parça halinde gönderilir.

Uçuş kontrol kartı emir listesine göre geçiş noktalarını dolaşırken uçuş bilgisayarı istenilen durumda araya girer. 1'den 6 ya kadar tur tamamlandığında yeni bir tura geçilmesini söyler. Uçuş kontrol kartına 6. komutla birlikte 7. bir komutta aktarılır bu komuta doğrulama komutu diyebiliriz. Doğrulama komutu turun son görevi olan 6. komutun kopyasıdır. 7. komut uygulandığı esnada kontrolle İHA 'ya komutlar tekrar yüklenir ve böylece tur tekrar başlar. Şekil 3.24. de güzergah takibinin akış diyagramında da görüldüğü üzere komut yüklenme öncesinde İHA emir kabul eden Guided moduna daha sonra ise bu komutları uygulaması için "AUTO" moduna alınmıştır.



Şekil 3. 24. Güzergah Takibinin Akış Diyagramı

İHA'nın tur döngüsünün Ardupilot-Sitl simülasyonundan alınan görüntüsü Şekil 3.25. de görülmektedir. Burada İHA kalkıştan sonra ilk turunu tamamlamış ve yeni tur için 1. geçiş noktasına gitmektedir.



**Şekil 3. 25. İHA'nın Tur Döngüsü**

Dolaşım sürecinde İHA'nın geçiş noktası, tur sayısı, batarya gerilimi, anlık çekilen akım miktarı ve batarya seviyesi 0.1 saniyede bir sürekli kontrol edilir ve bu değerler bir log dosyasına aktırılır.

### 3.7. Batarya Seviyesinin İzlenmesi

Çalışmada kullanılan 3S 6000mAh Lipo bataryanın Volt seviyeleri Tablo 3.6. da gösterilmiştir.

**Tablo 3. 6. Batarya Volt Seviyeleri**

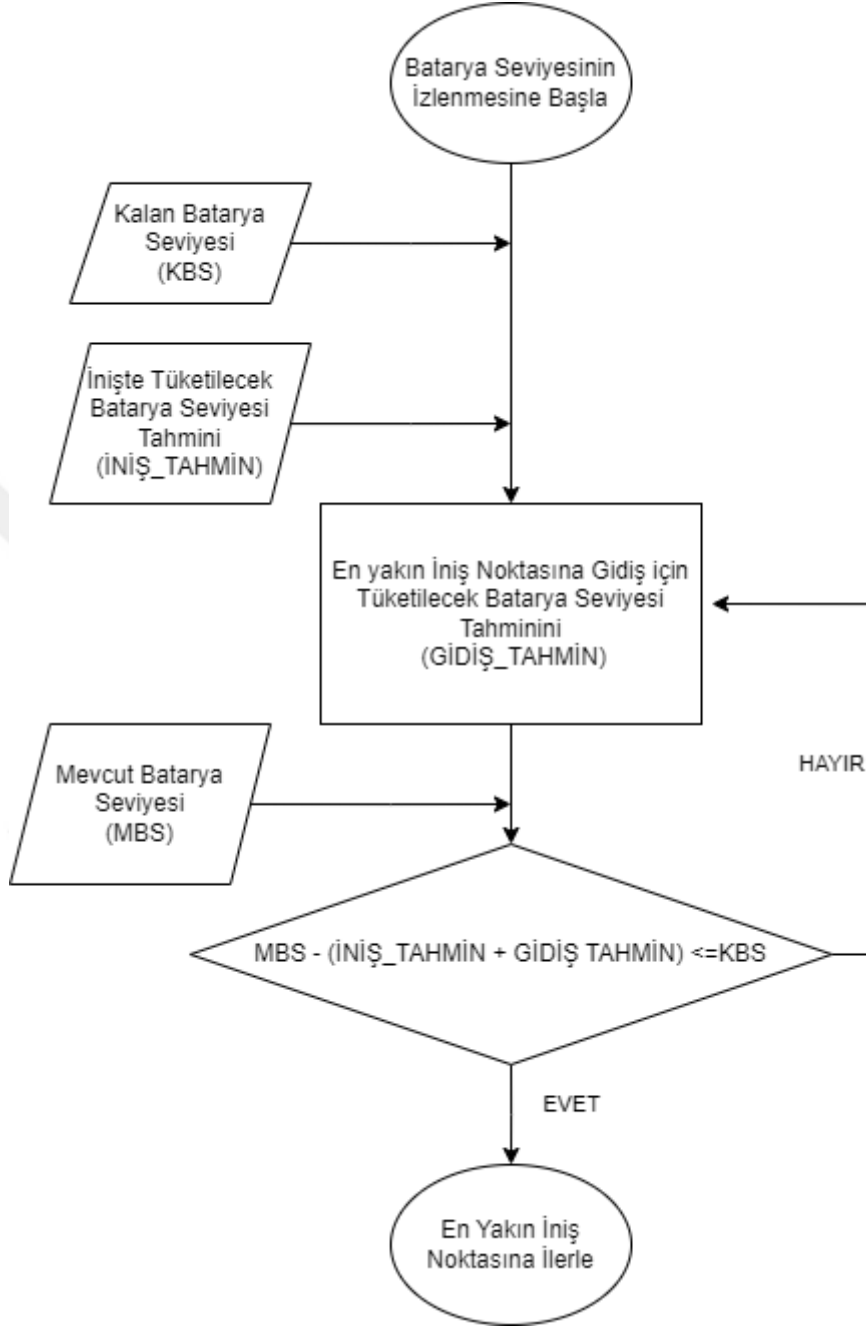
<b>Hücre Sayısı</b>	3S
<b>Minimum Kesme Seviyesi (V)</b>	9.6
<b>Nominal Şarj Seviyesi (V)</b>	11.1
<b>Tam Şarj Seviyesi (V)</b>	12.6

Havada yaşanabilecek olumsuz bir durum, görüntü işleme ile iniş sürecinin uzaması aynı zamanda pil sağlığı da düşünülerek bataryanın seviyeleri incelendiğinde minimum kesme ve nominal değeri arasında (9.6 – 11.1) bir seviyede inişe geçmesi planlanmıştır.

Gerilim seviyesinin sınırları uçuş için kritik önemde olsa da havada kalış süresinin asıl belirleyicisi bataryanın toplam tüketilen akım seviyesinin göstergesi olan batarya seviyesidir.

Çalışmanın saha testlerinde kalan batarya seviyesi %60, %50, %40, %35, %30 değere göre işlem yapılmış ve İHA'nın iniş batarya seviyesi bu değer üzerinden oluşturulmuştur.

Havada dolaşım esnasında 0.1 sn'de bir uçuş bilgisayarı tarafından batarya seviyesi kontrol edilmektedir.



Şekil 3. 26. Batarya Seviyesinin İzlenmesine Ait Akış Diyagramı

İHA arm durumuna geçmeden hemen önce, önceden yapılmış iniş çalışmalarına ait kayıtlar ışığında iniş tahmininde bulunur. Daha sonra güzergâhta dolaşırken ayrı bir log dosyası üzerine her geçiş noktası arasında tüketilen batarya seviyesi, bu iki nokta arasındaki merkez noktanın enlem ve boylam bilgileri ile gidilen mesafe bilgisini yazmaktadır. 0.1 sn'de bir bu veriler ışığında en yakın iniş noktasına

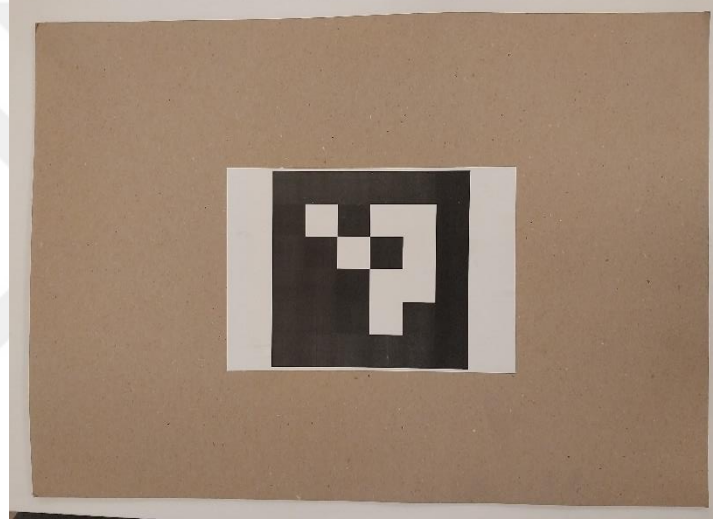
giderken tüketilecek batarya seviyesini hesaplamakta ve mevcut batarya seviyesini uçuş kartından talep etmektedir.

Herhangi bir anda batarya seviyesi yukarıda yüzde ile belirtilen değerlerin (KBS- Kalan Batarya Seviyesi) altına düştüğünde İHA kendisine en yakın iniş platformuna ilerlemektedir.

### 3.8. İnilcek Platformun Seçimi

Çalışmada iki adet iniş platformu belirlenmiştir. Aruco etiketlerinin yer aldığı bu noktaların enlem ve boylam bilgileri daha önceden İHA'nın o noktalara bırakılması suretiyle tespit edilmiştir.

İHA'nın inişi esnasında etikete uyguladığı hava etiketin yer değiştirmesine sebep olmaktadır bu sebeple etiketler mukavvalara yapıştırılmıştır.



Şekil 3. 27. İniş Platformu



Şekil 3. 28. İniş Alanlarının Yerleşimi

GPS yardımıyla mevcut konum uçuş kartından alınmış ve önceden belirlenen iniş noktalarının mevcut konuma olan uzaklığı 0.1 sn de bir hesaplanmıştır. İki coğrafi konum arasındaki mesafe Haversine formülü sayesinde Geopy kütüphanesi kullanılarak elde edilmiştir.

$$a = \sin^2(\Delta\phi/2) + \cos \phi_1 \cdot \cos \phi_2 \cdot \sin^2(\Delta\lambda/2)$$

$$c = 2 \cdot \text{atan2}(\sqrt{a}, \sqrt{1-a})$$

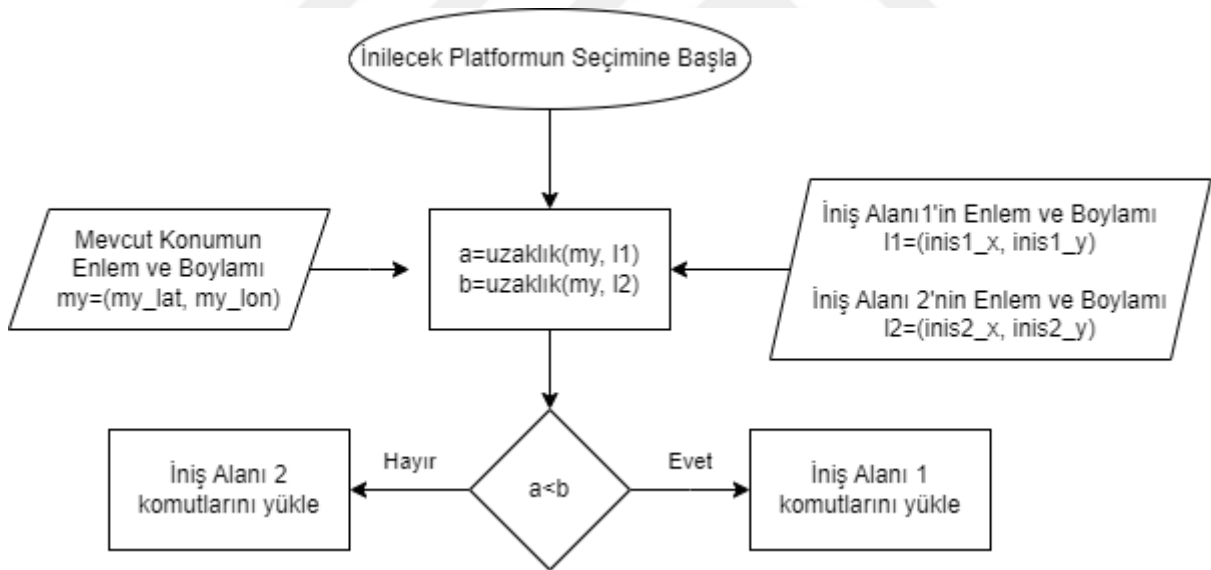
$$d = R \cdot c$$

$\phi$ : enlem

$\lambda$ : boylam

$R$ : dünyanın yarıçapı

Şekil 3.29. da iniş alanının seçimine dair akış diyagramında da ifade edildiği gibi her iki iniş alanının mevcut konuma olan uzaklığının hesaplanmasıyla birlikte yakın olan tercih edilerek İHA o iniş alanına MAVlink komutları ile yönlendirilmiştir.



Şekil 3. 29. İniş Alanının Seçimi

Yazılımın Ardupilot-Sitl 'de simüle edildiğinde oluşan görüntü Şekil 3.30. da gösterilmiştir. 3. geçiş noktasından 4. geçiş noktasına doğru ilerleyen İHA'nın batarya seviyesi eşik değerinin altına inince kendisine yakın olan platformu tercih etmiş ve o yöne doğru hareket sağlamıştır.



Şekil 3. 30. İHA'nın 1. İniş Platformuna Yönelişi

Bu sürece ait datalog kaydı ise Şekil 3.31. de gösterilmiştir. 1. iniş alanı ve 2. iniş alanına uzaklıkları m cinsinden hesaplanmış ve yakın olan tercih edilmiştir.

```
Land1 e uzakligi: 6 m  
Land2 e uzakligi: 16 m  
İniş 1'in Komutları Yükleniyor  
Land1'e hareketlendi
```

Şekil 3. 31. Datalog Kaydı

### 3.9. Görüntü işleme ile İniş

İniş noktasının yakınına kadar GPS kullanarak gelen İHA, kameradan aldığı görüntüleri yorumlayarak iniş alanındaki görsel işaretçiye (Aruco Marker) olan aksenal uzakları tespit eder ve işaretçiye doğru dikeyde ve yatayda hareket yaparak inişi sağlar.

#### 3.9.1. Kamera Kalibrasyonu

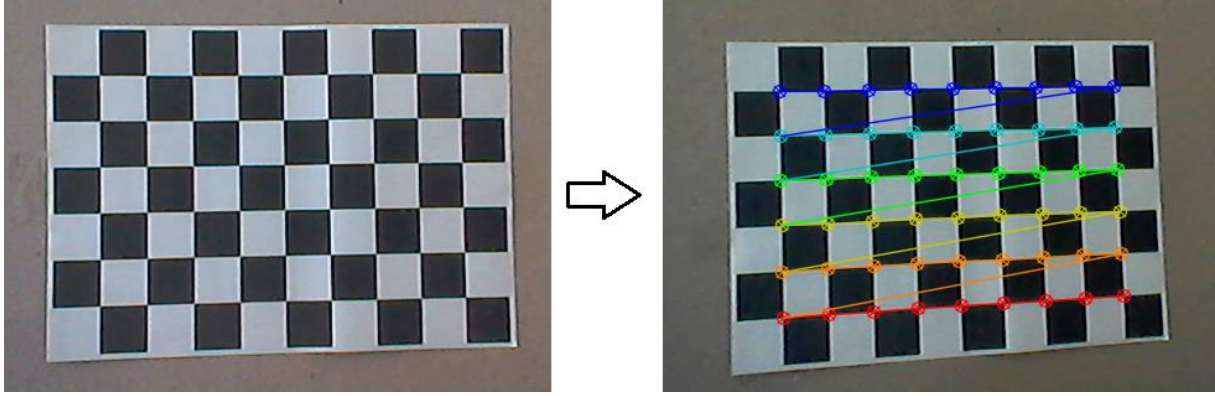
İnsansız hava aracı gibi havada hareketli bir araca monte edilen kameralardan görüntü almanın çeşitli zorlukları vardır.

Kameranın montajının yapıldığı İHA'nın kanat çırpması ve motorlardaki devinimin titreşim olarak kamerayı etkilemesi muhtemeldir. Çalışma da bunun önüne geçmek için titreşim sönümleyici lastikler ve silikon bantlar kullanılmıştır.

Diğer bir zorluk ise kameranın içsel bir sebebi olan görüntü almada ve görüntünün tanımlanmasında kamera lensinin çeşitli distorsiyonlara yani bozulmalara sahip olmasıdır. Bu yüzden dijital kameraların lensleri yapılan işe göre kalibre edilmelidir (Wang ve ark., 2008).

Çalışma da kullanılan Raspberry pi v1.3 kameranın kalibrasyonu OpenCV kütüphanesi ile elde edilmiştir.

Kalibrasyonlarda kullanılan farklı motifler arasında Aruco motifine (kareler formasyonu) benzerliğinden dolayı 10x7'lik (her kare 22mm) Şekil 3.9.1. de gösterilen chessboard motifi tercih edilmiştir.

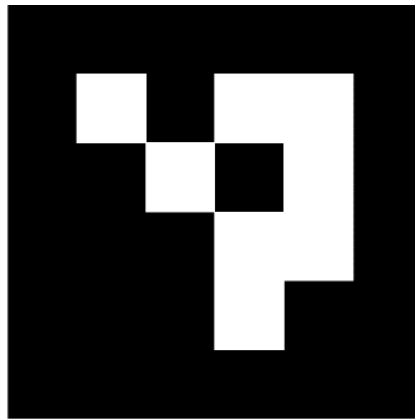


Şekil 3. 32. Motif ve Kalibrasyonu

### 3.9.2. Aruco Etiketi

Dolaşımı biten ve yere inme zorunluğu bulunan İHA'nın doğru noktaya indirilmesi için İHA ile iletişim kuran donanımsal iniş platformlarının yanında daha az maliyetli olan 2B görsellerde tercih edilebilir.

Çalışmada İHA iniş platformu olarak Şekil 3.33. de gösterilen 4x4 matrisli, 0 nolu ID'ye sahip Aruco görseli kullanılmıştır.



Şekil 3. 33. Çalışmada Kullanılan Aruco Etiketi

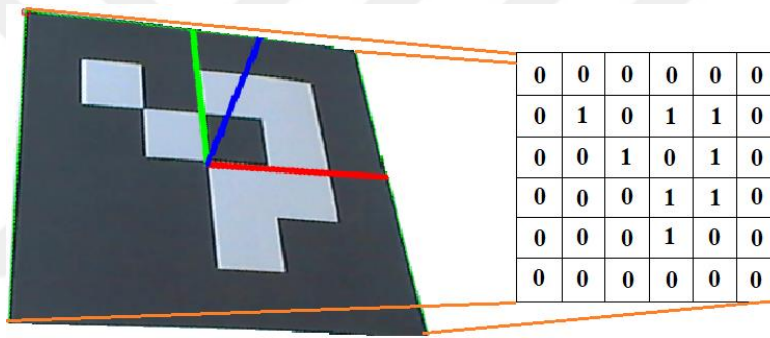
Çeşitli web adreslerinden generate edilebilen Aruco etiketi istenilen matris boyutu, id ve metrik ölçülerde indirilebildiği gibi yazılımlarla da daha yüksek matrisli, oval tipleri üretilebilir (Garrido-Jurado ve ark., 2014).

Aruco etiket görseli incelendiğinde kare yapıda olması görselle olan mesafeyi bulmamızı sağlarken içerisindeki ikili kodlama ile oluşturulmuş küçük kareler sayesinde ise referans oluşturarak id tespitini gerçekleştirilir (Marut ve ark., 2019). Böylece yakında bulunan birden fazla etiket arasından istenilen etiket seçilmiş olur. Çalışmam da iniş platformlarının arasındaki mesafe uzak tutularak aynı etiket kullanılmıştır.

### 3.9.3. Aruco Tespiti

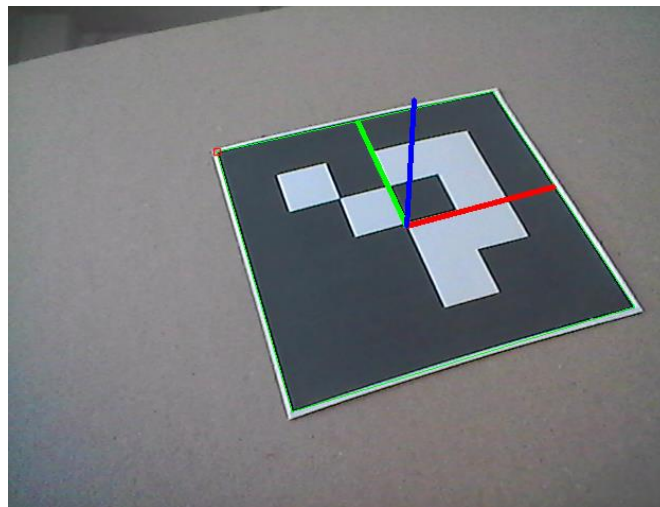
OpenCV'nin Aruco desteği sayesinde Aruco tespiti için OpenCV kütüphanesi kullanılmıştır.

Kalibrasyonu tamamlanmış olan kameradan alınan görüntü öncelikle eşikleme yöntemi ile gri seviyeye çekilir böylece kareler üzerinde dolaşma fırsatımız olur. Dolaşım esnasında siyah ve beyaz kutular birer matris dizisine dönüştürülür (Yasin Eser, 2018). Dönüştürülen matris dizisi var olan ID ile eşleşiyorsa sonuca ulaşılmış olunur.

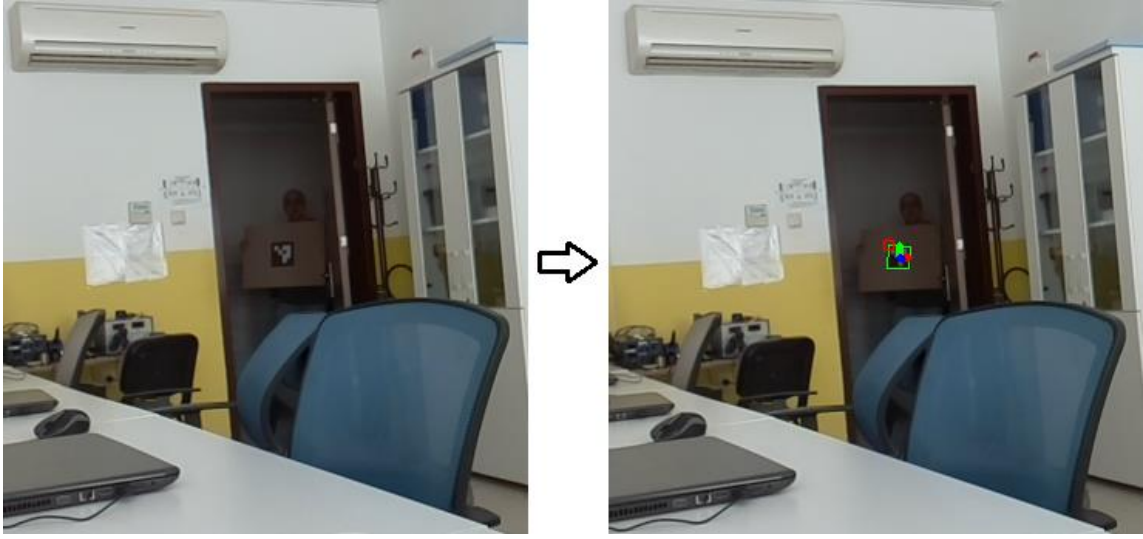


Şekil 3.34. Matris Dönüşümü

Şekil 3.35. ve Şekil 3.36. da gösterilen Aruco etiketi, çeşitli açı ve uzaklıklardan İHA kamerasına tutularak testleri yapılmıştır.

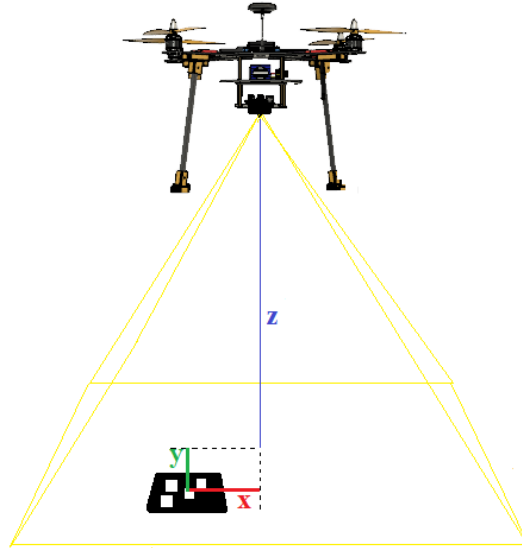


Şekil 3.35. Aruco Etiketi ile Yakın Mesafe Testi



Şekil 3. 36. Aruco Etiketi ile Uzak Mesafe Testi

Programda daha önce parametre olarak verdiğimiz matris (4x4), ID (0) ve Aruco boyutu (20 cm) ile kamera merkezi ile Aruco merkezi arasında dikey eksenli x,y,z değerleri alınır. Şekil 3.37 de gösterildiği gibi x ve y değeri yatay da hareketimizi Z değeri (kamera ile Aruco etiketi arasındaki mesafe) ise dikeyde hareket miktarımızı belirler.



Şekil 3. 37. X, Y, Z Değerleri

Aşağıdaki görselde görüldüğü gibi x, y ve z değerleri iniş esnasında kayıt altına alınmıştır.

```
33 nolu marker pozisyonu: x=8.06 y=-0.76 z=64.70
Yükseklik = 65cm
Marker found x = 1 cm y = 8 cm -> angle_x = 0.672995 angle_y = 7.101037
Marker N = 6 cm E = -6 cm Yaw = -131 deg
Low error: descending
UAV Location Lat = 36.8122588 Lon = 34.5502081
Commanding to Lat = 36.8122593 Lon = 34.5502074
```

---

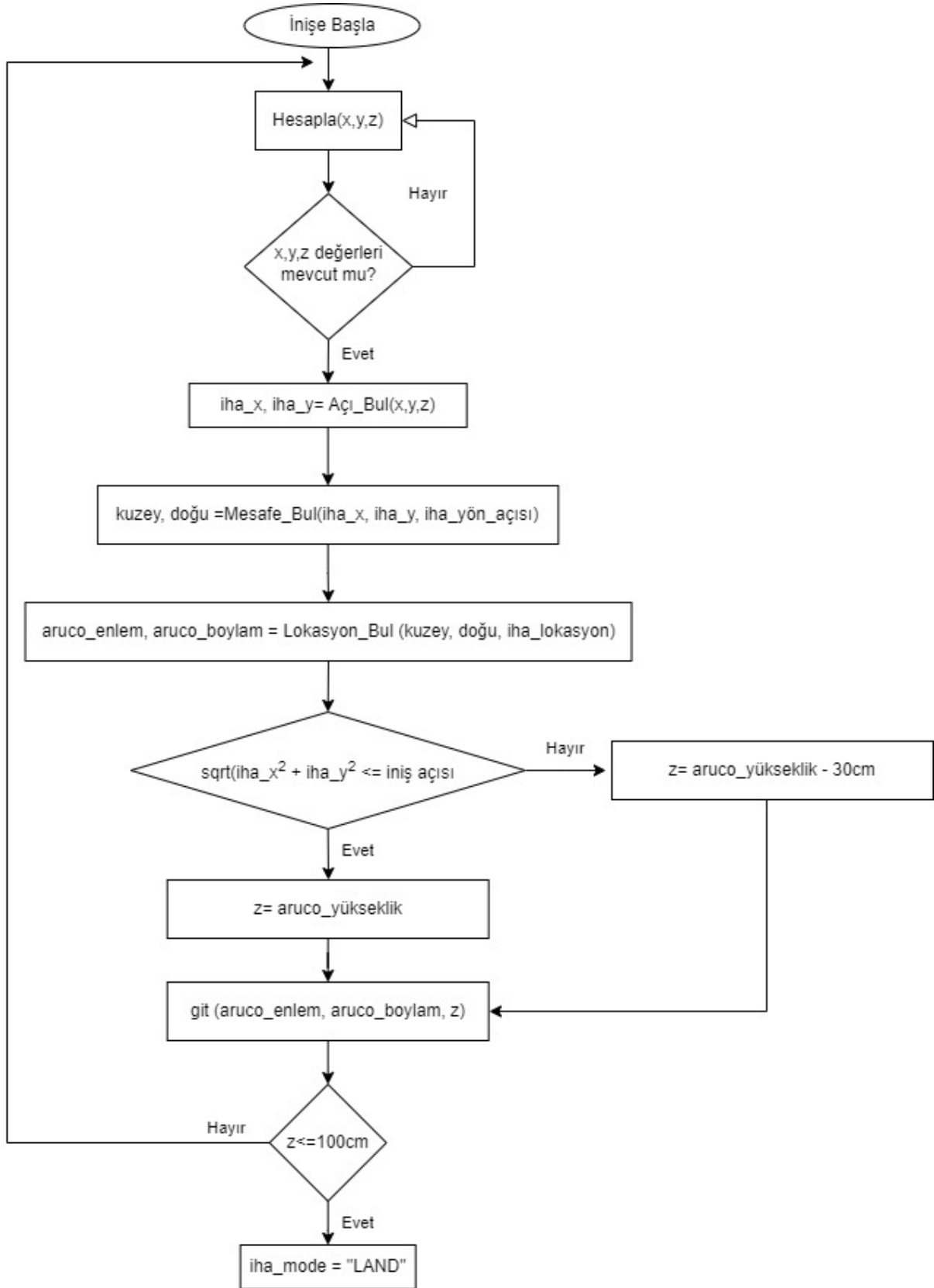
**Şekil 3.38.** Datalog Dosyasına Kaydedilen X, Y, Z Değerleri

Yukarıdaki görsel de belirtilen 33 nolu marker pozisyonu ile belirtilen değer kamera ile her alınan karenin (frame) sayısını belirtmektedir. Burada hareket gecikmelerinden dolayı her frame işlenmemiş ya da değerlendirilmemiş olabilmektedir.

#### 3.9.4. İniş

Otonom iniş, kompleks hesaplamalar gerektirdiği için havacılık sektöründe zorlayıcı bir alan olarak gösterilir. Özellikle iniş yapacak aracın küçük ve sınırlı işlem gücüne sahip olduğu düşünülürse durum daha da zorlayıcı olmaktadır (Komandur ve ark., 2020).

Aruco etiketine olan uzaklıkların tespit edilmesi o noktaya gitmek için yeterli değildir. İHA'yı o noktaya gönderebilmek için o noktanın koordinatlarının hesaplanması gerekmektedir. Koordinatların hesabı ve İHA'nın yönlendirilmesine ait akış diyagramı Şekil 3.39 da gösterilmiştir.



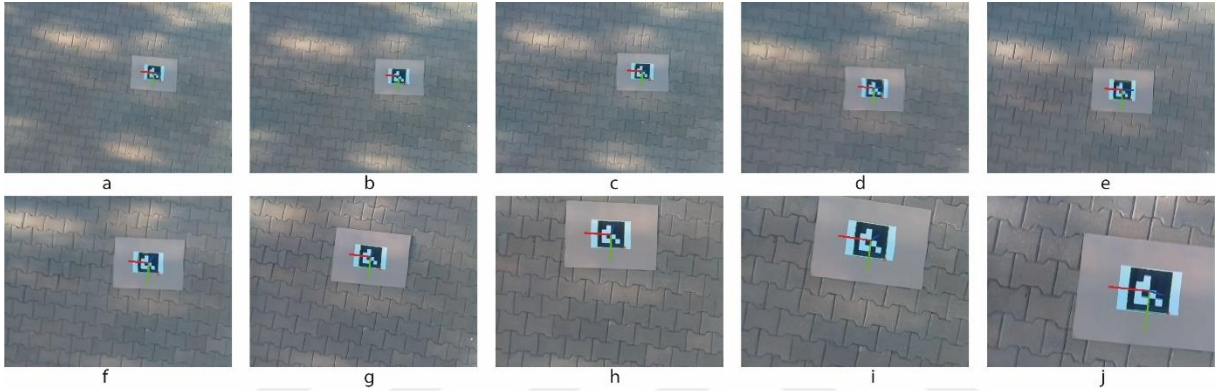
Şekil 3. 39. İniş Ait Akış Diyagramı

Görüntü karesinden Aruco'ya ait elde edilen  $x,y,z$  değerleri Aruco'nun merkezi ile kamera merkezi arasındaki düşey değerlerdir. İHA'nın mevcut yönünü (yaw) ayarlamak ve Aruco merkezinin coğrafi konum değerlerine ulaşmak için bu değerlerden faydalanılır.

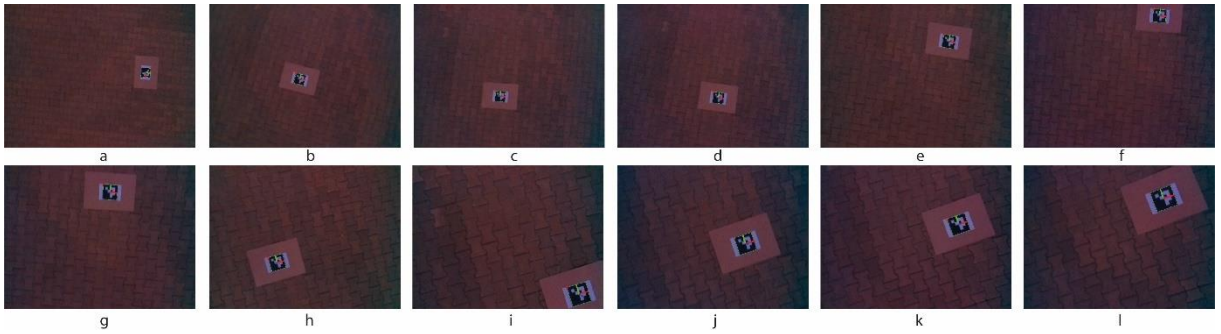
Belirlenen noktaya ilerleme için mavlink komutları gönderilir, mavlink komutlarında gidilecek noktanın enlem ve boylamı ile birlikte yükseklik değeri de gönderilir. Ne zaman İHA'nın mevcut  $z$  (yükseklik) değeri 100 cm'nin altına düşerse olduğu yere in modu olan "LAND" moduna geçilir.

Tüm bu işlemler 1sn aralıklarla sürekli tekrarlanarak iniş akış sağlanmıştır.

Şekil 3.40. ve Şekil 3.41. de günün farklı saatlerinde İHA'dan alınan iniş görüntüleri paylaşılmıştır.



Şekil 3. 40. İHA'dan Alınan İniş Görüntüleri 1



Şekil 3. 41. İHA'dan Alınan İniş Görüntüleri 2

### 3.10. Makine Öğrenmesi ile Batarya Seviyesi Tahmini

Çalışmada iki adet tahmin mevcuttur. Birincisi yatay ekseninde iniş noktasına gidilirken tüketilecek batarya seviyesinin tahminlenmesi ikincisi ise bu noktaya varıldıktan sonra yere inişte tüketilecek batarya seviyesinin tahminlenmesidir.

Elimizdeki veriler ışığında süreçte bağımlı değişkenimiz (tüketilen batarya seviyesi) yani etiketlenmiş bir verimiz olduğu için denetimli öğrenme söz konudur (Bilgin, 2017).

Denetimli öğrenme, sınıflandırma ve regresyon olmak üzere iki çalışma alanı barındırır. Çalışmamızda batarya seviyesi diğer bağımsız değişkenlere göre süreçte değişebilen değerler aldığı için regresyon analizine uygundur.

Regresyon analizinde tahmin öncesi seçilecek bağımsız değişkenlerin uyumuna bakmak için R2 (R-Kare) ve Adj. R2 (Düzeltilmiş R-Kare)' değerlerine bakılmıştır.

R2 değeri bize bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkenler üzerindeki etkisini göstermektedir (Gümüş ve ark., 2017).

$$R^2 = 1 - \frac{\text{Hata Varyansı}}{\text{Ortalama Varyans}}$$

*Hata Varyansı:* Regresyon eğrisi üzerindeki değerlerinin gerçek değerlerle olan varyansı

*Ortalama Varyans:* Bağımlı değişkenin ortalama değerine olan varyansı

Düzeltilmiş R2 (Adjust R2) ise daha çok multi regresyon yöntemlerinde kullanılan veri sayısını da işe katmakta ve her bir bağımsız değişkenin bağımlı değişken üzerindeki etkisini açıklamada daha iyi sonuçlar vermektedir. (Yiğit, 2020).

$$A. R^2 = 1 - \frac{(1 - R^2) \times (n - 1)}{n - k - 1}$$

$R^2$ : R-kare

$n$ : veri sayısı

$k$ : bağımsız değişken sayısı

Regresyon model seçiminde ise dikkat edilen bir unsur F istatistiğidir. Modelin anlamlılığını test etmek için kullanılmaktadır. Genel olarak modelin en az bir bağımsız değişkeninin bağımlı değişken üzerinde anlamlı bir etkisi olup olmadığını göstermektedir.

Çalışmada R2, A.R2 ve F istatistiği değerleri; scikit-learn kütüphanesi yardımıyla kurulan ve eğitilen doğrusal ve doğrusal olmayan regresyon modelleri ile Statmodels Kütüphanesi üzerinden OLS raporları ile ortaya çıkarılmıştır.

### 3.10.1. İniş Noktasına Gidilirken Tüketilecek Batarya Seviyesinin Tahminlenmesi

Rota üzerinde yatay ekseninde dolaşım esnasında uçuş bilgisayarına dolasim\_veri.txt dosyasına Şekil 3.42. de gösterildiği gibi geçiş noktaları arasındaki veriler kaydedilmiştir.

wpler	mesafe	enlem	boylam	Voltaj	Bat_tuketimi
wp1-wp2	9	36.812194	34.550044	11.410	1
wp2-wp3	9	36.812154	34.550032	11.291	1
wp3-wp4	10	36.812164	34.550092	11.383	0
wp4-wp5	17	36.812219	34.550165	11.279	1
wp5-wp6	10	36.812265	34.550172	11.204	1

Şekil 3. 42. Dolasim\_veri.txt Dosyasına Ait Veriler

Dolasim\_veri.txt dosyasına kaydedilen veriler sırasıyla geçiş noktaları, iki nokta arası katedilen mesafe, iki noktanın merkezindeki enlem, iki noktanın merkezindeki boylam, anlık volt değeri ve iki nokta arasında tüketilen batarya seviyesi bilgisidir.

Veri sayısının da önemli bir husus olmasından dolayı İHA batarya seviyesinin yarısını tüketecek kadar havada tur attırılarak 49 adet veri elde edilmiştir.

Bu veriler ışığında en yakın iniş noktasına gidişte tüketilecek batarya seviyesi tahminlenmeye çalışılmıştır.

İlk sütündeki wp ile belirtilen kısım göz ardı edilmiştir. Dolaşımdaki geçiş noktalarının arasındaki konumun enlem ve boylam bilgisinin sürece dahil edilmesinde İHA'yı etkileyen rüzgar gibi dış etkenler düşünülmüştür. Birbirine yakın konumlarda benzer batarya seviye azalmaları olabileceği öngörülmüştür.

Volt değerinin işe katılmasının sebebi ise Lipo pillerin nominal volt değerinin toplam akım seviyesinin bir göstergesi olan batarya seviyesi ile oransal ilişkisinin olmasıdır.

4 adet bağımsız değişken (mesafe, enlem, boylam, volt) ve bir adet bağımlı değişken (tüketilen batarya seviyesi) 2 farklı makine öğrenmesi regresyon (doğrusal, doğrusal olmayan) tahminlenmesi ile tahminlenerek en uyumlu regresyon tipi ortaya çıkarılmaya çalışılmıştır.

Tablo 3. 7. Modellerin R2, A.R2 ve F değerleri

	Mesafe (x1), Enlem (x2), Boylam (x3), Volt(x4), Bat_seviyesi (y)		
	R-squared	Adj. R-squared	F – statistic
<b>Doğrusal Regresyon</b>	<b>0.993</b>	<b>0.993</b>	<b>1682.0</b>
<b>Polynomial Regresyon (2. derece)</b>	0.934	0.929	160.3
<b>Polynomial Regresyon (4. derece)</b>	0.658	0.627	21.6

Modeller incelendiğinde en yüksek değerler doğrusal regresyon ile elde edildiği görülmektedir. Doğrusal olmayan Polynomial Regresyon 3 farklı derece ile teste tabi tutulmuştur.

İHA belirli bir yüksekliğe ulaşmış dolaşıma başlaması ve dolaşımın sonlanıp inişe geçtiği zaman aralığında topladığı veriler ile 0.1 sn de bir en yakın iniş noktası için tüketilecek batarya seviyesi tahmininde bulunmaktadır. Bu süreçte tahminde, lineer regresyon modeli kullanılmıştır. İHA'nın havada gerçek zamanlı tahmine başlama süreci 12 adet verinin (2 tur dolaşımı sonrası) toplanmasıyla başlamaktadır.

### 3.10.2. İnişte tüketilecek batarya seviyesinin tahminlenmesi

Farklı yüksekliklerden görüntü işleme ile Aruco etiketi üzerine indirilen İHA'nın datalog kayıtları analiz edilerek inisverileri.txt dosyası oluşturulmuştur. 6 adet inis verisi kaydı tutan dosya uçuş bilgisayarına aktarılmıştır.

	yükseklik	tüketilen_bat
0	375	2
1	412	3
2	429	3
3	409	5
4	903	8

Şekil 3. 43. inisverileri.txt Dosyasına Ait Veriler

Yukarıda Şekil 3.43. de gösterilen verilerden yükseklik verisi ile tüketilen batarya seviyesi miktarı tahminlenmeye çalışılmıştır.

1 adet bağımsız değişken (yükseklik) ve bir adet bağımlı değişken (tüketilen batarya seviyesi), 2 farklı makine öğrenmesi regresyon (doğrusal, doğrusal olmayan) tahminlenmesi ile tahminlenerek en uyumlu regresyon tipi ortaya çıkarılmaya çalışılmıştır.

Tablo 3. 8. Modellerin R2, A.R2 ve F değerleri

	Yükseklik (x), Tüketilen_Bat (y)		
	R-squared	Adj. R-squared	F – statistic
<b>Lineer regresyon</b>	<b>0.998</b>	<b>0.998</b>	<b>3222.0</b>
<b>Polynomial Regresyon (2. derece)</b>	0.998	0.998	2757.0
<b>Polynomial Regresyon (3. derece)</b>	0.995	0.994	292.2
<b>Polynomial Regresyon (4. derece)</b>	0.983	0.980	292.2

Doğrusal olmayan polinomial regresyon farklı dereceler ile teste tabi tutulmuştur. Modeller incelendiğinde en yüksek R2 ve A.R2 değerleri doğrusal regresyon ve doğrusal olmayan 2. Derece polinomial regresyon modeli ile elde edildiği görülmektedir.

Veri sayısının azlığı overfitting (aşırı uyum) sorununa yol açabileceği için doğrusal regresyon ile verilerdeki değerlerle test edilmiş farklı değerler alınarak overfitting probleminin olmadığı gözlemlenmiştir.

Burada tercih olarak modelin anlamlılık (F istatistiği) değeri daha yüksek olan ve overfitting sorunu gözlemlenmeyen doğrusal regresyon seçilmiştir.



## 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

### 4.1. İstenen ve Gerçekleşen Batarya Seviyesi Farkı

İHA'nın kalkış öncesinde istenen batarya seviyesinde yere inmesi için farklı batarya seviyelerinde (istenen) ve farklı irtifalarda 5 adet uçuş gerçekleştirilmiştir.

**Tablo 4. 1.** Uçuş Test Verileri

Uçuş No:	1	2	3	4	5
İniş Sonrası İstenen Batarya Seviyesi (%)	60	50	40	35	30
Uçuş İrtifası (cm)	800	500	700	600	500
İniş Sonrası Toplam Tahmin (%)	59.89	49.61	39.79	34.82	29.56
Yatayda İniş Noktasına Mesafesi (m)	4	6	5	2	7
İniş Noktasına Gidiş Tahmini (%)	0.22	0.29	0.25	0.14	0.33
İniş Tahmin (%)	6.89	4.10	5.96	5.04	4.10
İniş Sonrası Batarya Seviyesi (%)	59	50	43	34	29
Batarya Seviyesi Farkı (%)	1	0	3	1	1

Uçuş test verileri incelendiğinde uçuş öncesi istenen ve uçuş sonrası gerçekleşen batarya seviyeleri arasında %0 ile %3 arasında farklar ortaya çıkmıştır.

En yüksek farkın olduğu 3 nolu uçuşun veri kayıtları incelendiğinde bu farkın iniş esnasında görüntünün yakalanmasındaki gecikmelerden kaynaklandığı görülmüştür.

Anlık batarya seviyesi bilgisinin uçuş kartından çekilirken tam sayı tipinde ve 0 -100 arasında bir değer alması farkların daha hassas ölçülmesinin önüne geçmiştir.

### 4.2. Uygun İniş Platformuna Uzaklıklar ve İniş Platformunun Seçimi

Var olan 2 adet iniş platformu süreç içerisinde sürekli takip edilmiş kritik batarya seviyesine ulaşıldığında doğru seçim yapılmıştır. 5 adet test uçuşuna ait platform uzaklıkları ve seçimler Tablo 4.2. de gösterilmiştir.

**Tablo 4. 2.** İniş Platformu Seçimi

Uçuş No:	1	2	3	4	5
İniş1 Platformuna Uzaklık (m)	17	6	17	2	21
İniş2 Platformuna Uzaklık (m)	4	21	5	26	7
Tercih	İniş 2 P.	İniş 1 P.	İniş 2 P.	İniş 1 P.	İniş 2 P.

### 4.3. Görüntü İşleme ile İniş

İniş alanlarından yakını tercih eden İHA bu noktaya GPS ile ulaşmaktadır. İnişe geçilebilmesi için Aruco etiketine ihtiyaç duyan İHA'nın Aruco etiketini ilk yakalama uzaklığı GPS sinyalinin başarısını göstermektedir. Tablo 4.3.de İHA'nın Aruco etiketine ilk uzaklığını belirten yatay eksen mesafeleri yer almaktadır.

**Tablo 4. 3.** İHA'nın Aruco Etiketine İlk Uzaklığı

Uçuş No:	1	2	3	4	5
X Yatay Ekseni Uzaklığı (cm)	57.28	51.95	245.96	57.13	91.41
Y Yatay Ekseni Uzaklığı (cm)	0.51	127.76	110.36	54.25	29.43
Mesafe (cm)	57.282	137.91	269.58	78.78	96.03

En iyi yaklaşma mesafesi 57.28 cm iken en uzak yaklaşma mesafesi 269.58 cm olmuştur.

İHA'nın merkezine yerleştirilen Raspberry Pi 1.3v kamera yardımıyla yere stabil olarak indirilen araçta toplam frame (görüntü) yakalama sayıları ve bu yakalanan görüntülerden kaçının işleme alındığını gösteren tablo Tablo 4.4. de gösterilmiştir.

**Tablo 4. 4.** Kamera Görüntü Yakalama Sayısı ile İşleme Alınan Görüntü Sayısı

Uçuş No:	1	2	3	4	5
İniş İrtifası (cm)	800	500	700	600	500
Yakalanan Görüntü Sayısı	83	28	103	53	44
İşleme Alınarak İniş Yapılan Görüntü S.	19	12	17	15	13
İşleme Alınan İlk Görüntüdeki İrtifa (cm)	764	412	672	612	521

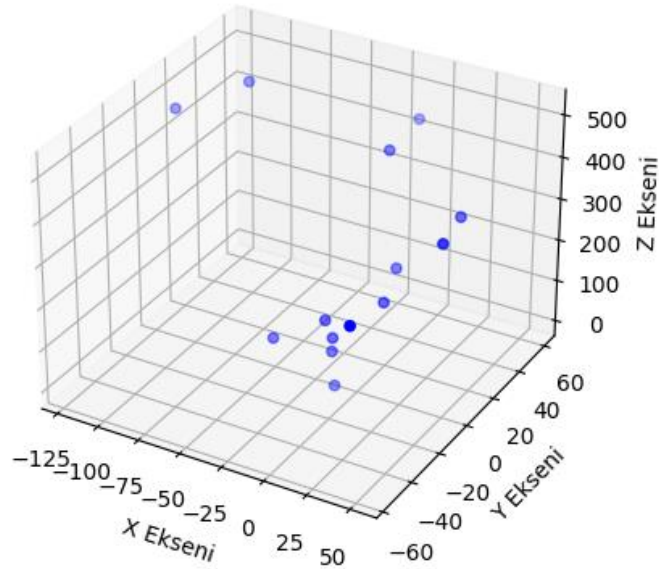
Burada yakalanan görüntü sayısı Aruco etiketinin tespit sayısını ifade etmektedir. İşleme alınarak iniş yapılan görüntü sayısı ise İHA'yı yatay ve dikey ekseninde harekete geçiren görüntü sayısıdır. İHA hareketini gerçekleştirirken 1 sn sonra yeniden harekete geçme isteğinde bulunur. Bu sayede inişe akış sağlanmıştır. Bu 1sn sürecinde arada yakalanan diğer görüntüler işleme alınmamaktadır.

En başarılı inişin gerçekleştiği son uçuşun veri kaydı incelendiğinde işleme alınan Aruco etiketiyle yatayda ve dikeyde mesafelerini gösteren veriler Tablo 4.5. de gösterilmiştir.

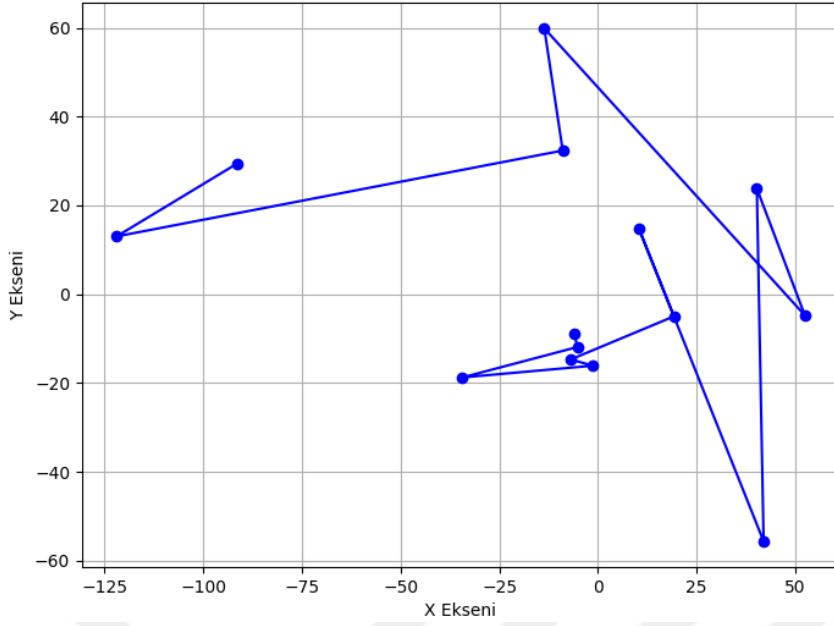
**Tablo 4. 5.** İniş Esnasında Farklı Eksenlerdeki Mesafelerin Değişim Tablosu

	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Z</b>
1	-91.41	29.43	521.71
2	-121.99	13.01	471.07
3	-8.94	32.35	437.91
4	-13.61	59.87	430.94
5	52.41	-4.77	395.07
6	40.24	23.81	358.86
7	41.96	-55.65	351.90
8	10.34	14.80	229.68
9	19.25	-4.98	219.25
10	-6.92	-14.70	175.70
11	-1.28	-16.09	144.64
12	-34.37	-18.74	112.72
13	-5.21	-11.89	93.67
Son	-6	-9	14

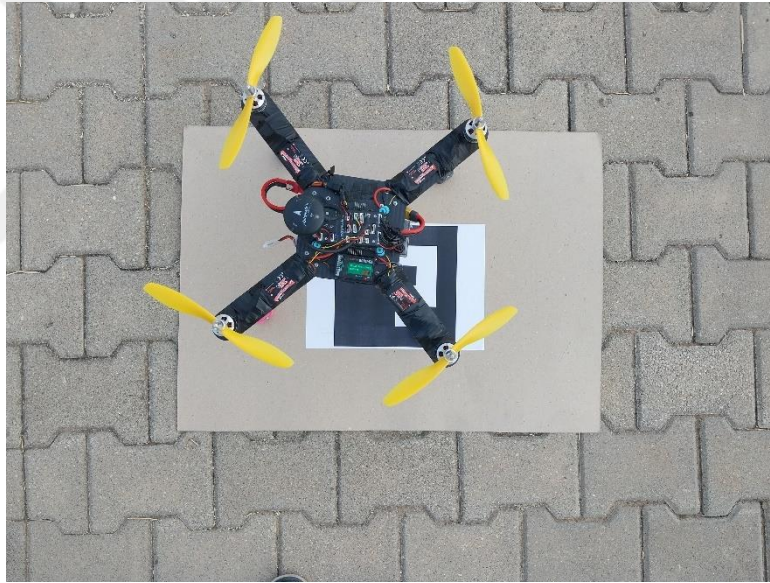
İHA'nın yere inişle cetvel yardımıyla ölçülen değerler son ile ifade edilen satırda görülmektedir. Kameranın yerden yüksekliği 14 cm olduğu için Z değeri bu şekilde tabloya eklenmiştir. Tabloya ait verilerin 3 boyutlu veri grafiği Şekil 4.1. de gösterildiği gibidir.

**Şekil 4. 1.** İniş Ait 3 Boyutlu Konum Grafiği

İHA'nın x ve y ekseninde yataydaki hareket davranışı Şekil 4.3.2.de gösterilmiştir.



Şekil 4. 2. İniş Ait Yatay Eksen Hareket Davranışı Grafiği



Şekil 4. 3. İniş Sonrası Görsel

İHA'nın iniş sonrası görseli Şekil 4.3. de gösterildiği gibidir. Aruco etiketi merkezinden İHA merkezine uzaklık 10.81 cm'dir. İnişin stabil olmasının yanında Aruco etiketine yaklaşma miktarı da önemlidir. İHA'nın merkezde bir sokete bağlanarak şarj olması istenirse görüntü işleme ile iniş tek başına yetersiz kalabilir fakat kablosuz şarj istasyonuna inişte bu değer yeterlidir.

Ayrıca Şekil 4.4. de gösterildiği gibi öğlen güneşin dik geldiği zaman dilimlerinde yüksek irtifada Aruco da parlamalar olabilmektedir. Bu da inişte gecikmelere sebep olmaktadır.



**Şekil 4. 4.** Alçak ve Yüksek İrtifada İHA'dan Alınan Aruco Görüntüsü



## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Gelişen insansız hava araçları teknolojisi farklı yaklaşımlarla irdelenmektedir. Bu çalışmada kalkışından inişine kadar döner kanat İHA istenilen batarya seviyesinde yere indirilmeye çalışılmış ve bu süreç farklı açılardan gerçek koşullar üzerinde sahada araştırılmıştır.

Rota üzerindeki dolaşım esnasında gerçek zamanlı toplanan verilerle en yakın iniş istasyonuna gidişte tüketilebilecek batarya seviyesi tahminlenmiştir. İHA'nın kapalı döngü üzerinden benzer yollardan geçmesinden dolayı bu tahminde en yüksek başarıma sahip çoklu doğrusal regresyon seçilmiştir.

GPS yardımıyla iniş noktasına belirli bir irtifada varan İHA'nın bu noktadan yere inişte tüketebileceği batarya seviyesi miktarı ise önceden kayıt altına alınan iniş verileri ile tahminlenmeye çalışılmış ve burada da başarılı sonuçlar elde edilen doğrusal regresyon kullanılmıştır.

Çalışmanın sonuçlarının gözlemlenmesi için farklı irtifa ve farklı batarya seviyelerinde yere indirilmeye çalışılan 5 test uçuşu gerçekleştirilmiştir.

Bu uçuşlarda istenilen batarya seviyesi ile iniş sonrası batarya seviyeleri arasında %0 ile %3 arasında farklar olduğu gözlemlenmiştir.

Yapılan test uçuşlarıyla iniş platformunun merkezine minimum 10.81cm mesafede kırımsız stabil iniş yapılmıştır.

Çalışmada toplam batarya seviyesindeki fark ortaya korsa da yapılan iki tahminden biri olan iniş noktasına gidişte (yatayda) tüketilen batarya seviyesi tahmininin sonuçları; uçuş kartından çekilen batarya seviyesinin 0-100 arasında tam sayı değerler olması ve çalışma sahasındaki geçiş noktalarının arasındaki mesafenin dar olması ile paylaşılammıştır. Bu tarz bir araştırmada daha geniş bir çalışma sahasının seçiminde fayda olduğu gözlemlenmiştir.

## KAYNAKLAR

- Alyassi, R., Khonji, M., Karapetyan, A., Chau, S., C. -K., Elbassioni, K., & Tseng, C. -M., (2023). Autonomous Recharging and Flight Mission Planning for Battery-Operated Autonomous Drones. *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, vol. 20, no. 2, pp. 1034-1046, April 2023, doi: 10.1109/TASE.2022.3175565.
- Bilgin, M. (2017). Gerçek veri setlerinde klasik makine öğrenmesi yöntemlerinin performans analizi. *Breast*, 2(9), 683.
- Çaşka, S. ve Gökçe, B. (2023). Mikro İnsansız Hava Aracı İçin Batarya Tüketim Modelinin Elde Edilmesi. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 13(1), 252-258.
- Chettri, P., Giri, R., Lepcha, Z., & Lal, A. (2021). PI Drone using Python. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, 10(9), 221-226.
- De Lange, Maarten & Gordijn, Hugo & Derriks, Harry & Gelauff, George, (2017). Drones in passenger and freight transport. *KiM | Netherlands Institute for Transport Policy Analysis*.
- Garrido-Jurado, S., Muñoz-Salinas, R., Madrid-Cuevas, F. J., & Marín-Jiménez, M. J. (2014). Automatic generation and detection of highly reliable fiducial markers under occlusion. *Pattern Recognition*, 47(6), 2280–2292. doi:10.1016/j.patcog.2014.01.005
- Gümüş, U. T., Şakar, Z., AKKIN, G., & Şahin, M. (2017). Finansal analizde kullanılan oranlar ve firma değer ilişkisi: BİST’de işlem gören çimento firmaları üzerine bir analiz. *Karadeniz Sosyal Bilimler Dergisi*, 9(16), 1-23.
- Junaid, A. B., Lee, Y., & Kim, Y. (2016). Design and implementation of autonomous wireless charging station for rotary-wing UAVs. *Aerospace science and technology*, 54, 253-266.
- Kardasz P, Doskocz J, Hejduk M, Wiejkut P, Zarzycki H. (2016). Drones and Possibilities of Their Using. *J Civil Environ Eng* 6: 233.
- Khazetdinov, A., Zakiev, A., Tsoy, T., Svinin, M., & Magid, E. (2021). Embedded ArUco: a novel approach for high precision UAV landing. *2021 International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON)*. doi:10.1109/sibcon50419.2021.9438855

- Komandur, D., Karki, S., Silvester, S., & Kashyap, G. (2020, November 31) Descent Angle Calculation for UAVs using Monocular Camera. *International Journal of Computer Applications*, 975, 8887.
- Konar, M. (2019). GAO Algoritma tabanlı YSA modeliyle İHA motorunun performansının ve uçuş süresinin maksimizasyonu. *European Journal of Science and Technology*, (15), 360-367.
- Li, P., Liu, D., Xia, X., & Baldi, S. (2022, December). Embedding adaptive features in the ardupilot control architecture for unmanned aerial vehicles. In *2022 IEEE 61st Conference on Decision and Control (CDC)* (pp. 3773-3780). IEEE.
- Lozano-Hernández, Y.; Martínez de la Cruz, I.; Gutiérrez-Frías, O.; Lozada-Castillo, N.; Luviano-Juárez, A. Design Procedure of a Low-Cost System for Energy Replenishment in a Quadrotor UAV through a Battery Exchange Mechanism. *Drones* 2023, 7, 270. <https://doi.org/10.3390/drones7040270>
- Marut, A., Wojtowicz, K., & Falkowski, K. (2019, June). ArUco markers pose estimation in UAV landing aid system. In *2019 IEEE 5th International Workshop on Metrology for AeroSpace (MetroAeroSpace)* (pp. 261-266). IEEE.
- Perdigão, J. A. A. (2018). Integration of a Precision Landing System on a Multirotor Vehicle Initial Stages of Implementation (Doctoral dissertation, Universidade da Beira Interior (Portugal)).
- Podszędkowski, M., Konopiński, R., Obidowski, D., & Koter, K. (2020). Variable pitch propeller for UAV-experimental tests. *Energies*, 13(20), 5264.
- Prasetia, A. S., Wai, R.-J., Wen, Y.-L., & Wang, Y.-K. (2019). Mission-Based Energy Consumption Prediction of Multirotor UAV. *IEEE Access*, vol. 7, pp. 33055-33063, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2903644.
- Putra, H. M., Fikri, M. R., Riananda, D. P., Nugraha, G., Baidhowi, M. L., & Syah, R. A. (2020, April). Propulsion selection method using motor thrust table for optimum flight in multirotor aircraft. In *AIP conference proceedings* (Vol. 2226, No. 1). AIP Publishing.
- Saha, B., Saha, B., Koshimoto, E., Koshimoto, E., Quach, C., Quach, C., ... & Goebel, K. (2011). Predicting battery life for electric UAVs. In *Infotech@ Aerospace 2011* (p. 1517).

Şener Y. (2020, February 3). Makine öğrenmesinde python ile basit doğrusal regresyon modelinin kurulması ve yorumlanması. *Medium*. <https://yigitsener.medium.com/makine-%C3%B6%C4%9Frenmesinde-python-ile-basit-do%C4%9Frusal-regresyon-modelinin-kurulmas%C4%B1-ve-yorumlanmas%C4%B1-4cf918e1adf>

Tezde, E. İ., & Okumuş, H. İ. (2018). Batarya modelleri ve şarj durumu (SoC) belirleme. *EMO Bilimsel Dergi*, 8(1), 21-25.

Upton, E., & Halfacree, G. (2016). *Raspberry Pi user guide*. John Wiley & Sons.

Wang, J., Shi, F., Zhang, J., & Liu, Y. (2008). A new calibration model of camera lens distortion. *Pattern recognition*, 41(2), 607-615.

Yacef, F., Rizoug, N., Degaa, L., & Hamerlain, M. (2020, June). Energy-efficiency path planning for quadrotor UAV under wind conditions. In *2020 7th International Conference on Control, Decision and Information Technologies (CoDIT)* (Vol. 1, pp. 1133-1138). IEEE.

Yasin Eser, A. (2018, June 15). Opencv ile aruco işaretçilerinin takibi. *Medium*. <https://medium.com/i%CC%87yi-programlama/opencv-ile-aruco-i%C5%9Faret%C3%A7ilerinin-takibi-435ecd2eb45f>

Yiğit, E., Yazar, İ. & Karakoç, T. H. (2018). İnsansız hava araçları (iha) ‘nın kapsamlı sınıflandırması ve gelecek perspektifi . *Sürdürülebilir Havacılık Araştırmaları Dergisi* , 3 (1) , 10-19.