



T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**YANGIN SÖNDÜRMEYE DESTEK İNSANSIZ
HAVA ARACI TASARIMI**

Aydın YALÇINKAYA
YÜKSEK LİSANS

Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Aralık-2023
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

İmza

Aydın YALÇINKAYA

Tarih:

ÖZET

YÜKSEK LİSANS

YANGIN SÖNDÜRMEYE DESTEK İNSANSIZ HAVA ARACI TASARIMI

Aydın YALÇINKAYA

Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Ali YAŞAR

2023, 69 Sayfa

Jüri

Dr. Öğr. Üyesi Ali YAŞAR
Dr. Öğr. Üyesi Güzin ÖZMEN
Dr. Öğr. Üyesi Burak YILMAZ

Son zamanlarda İnsansız Hava Aracı (İHA)'nın kullanımı yaşanan teknolojik gelişmelere bağlı olarak hayatımızın her alanında kullanılmaktadır. İHA'ların uzaktan kontrol edilebilmeleri ve otonom olarak hareket etme kabiliyetleri bu teknolojilerin zor şartlar altındaki görev alanlarında da kullanılmasına olanak sağlamaktadır.

Günümüzde yangın ile mücadelede kullanılan teknolojilerin diğer mücadele alanları ile kıyaslandığında daha yavaş gelişmekte olduğu görülmektedir. Yangın sonucu oluşan tahribatın en aza indirilebilmesindeki en önemli faktör, yangının çıkış noktasına hızlı ve etkin müdahale edilebilmesidir. Ancak yangın esnasında oluşan yüksek ısı ve duman gibi faktörler yangına müdahale etmek için kullanılacak ekipmanları kısıtlamaktadır. Bu noktada dünya üzerinde gelişmekte olan teknolojiler ile yangına müdahale yöntemlerinde yeni gelişmelere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu gelişmeler ışığında mevcut ekipman ve yöntemler ile yangına müdahale etmenin zor olduğu alanlara daha hızlı müdahale edebilecek otonom insansız hava araçları kullanılmaya başlanmıştır.

Bu tez çalışması kapsamında hassas konumlama özelliğine sahip, otonom hareket edebilen insansız hava araçlarının geleneksel yangınla mücadele yöntemlerine destek olmak amacıyla yardımcı bir sistem olarak kullanılması hedeflenmiş ve uygulanmıştır. Önerilen bu sistem içerisinde termal kameralı insansız hava araçlarıyla birlikte yangın söndürme topları kullanılması yangını söndürmeye destek bir sistem olarak kullanılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Hassas Konumlama, İnsansız Hava Aracı, Otonom, Yangın ile mücadele yöntemleri, Destek Sistemi

ABSTRACT

MS/Ph.D THESIS

FIRE FIGHTING SUPPORT UNMANNED AERIAL VEHICLE DESIGN

Aydın YALÇINKAYA

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF
SELÇUK UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE / DOCTOR OF PHILOSOPHY
IN MECHANICAL ENGINEERING**

Advisor: Asst. Prof. Dr. Ali YAŞAR

2023, 69 Pages

Jury

Asst. Prof. Dr. Ali YAŞAR

Asst. Prof. Dr. Güzin ÖZMEN

Asst. Prof. Dr. Burak YILMAZ

Recently, the use of Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) has been used in all areas of our lives due to technological developments. The ability of UAVs to be controlled remotely and to move autonomously allows these technologies to be used in mission areas under difficult conditions.

Today, it is seen that the technologies used in fire fighting are developing more slowly compared to other combat areas. The most important factor in minimizing the destruction caused by fire is the rapid and effective intervention to the point of origin of the fire. However, factors such as high heat and smoke generated during the fire limit the equipment to be used to intervene in the fire. At this point, new developments are needed in fire intervention methods with the developing technologies in the world. In the light of these developments, autonomous unmanned aerial vehicles that can intervene faster in areas where it is difficult to intervene in fires with existing equipment and methods have started to be used.

Within the scope of this thesis, it is aimed and implemented to use autonomous unmanned aerial vehicles with precise positioning capability as an auxiliary system to support traditional fire fighting methods. In this proposed system, the use of fire extinguishing cannons together with unmanned aerial vehicles with thermal cameras was used as a support system to extinguish the fire.

Keywords: Precise Positioning, Unmanned Aerial Vehicle, Autonomous, Fire Fighting Methods, Support System

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
İÇİNDEKİLER	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	viii
1. GİRİŞ	1
1.1. İnsansız Hava Araçları	1
1.2. İHA’larda Faydalı Yük Taşıma Sistemleri	3
1.3. Görevler	7
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	10
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	12
3.1. İnsansız Hava Aracı Sınıfları	13
3.1.1. Sabit Kanat İnsansız Hava Aracı	14
3.1.2. Döner Kanat İnsansız Hava Aracı	14
3.2. İnsansız Hava Araçları Bileşenleri	17
3.2.1. Uçuş kontrol kartları	17
3.2.2. Elektronik hız kontrol (ESC)	19
3.2.3. Güç dağıtım kartı	20
3.2.4. Li-Po pil	20
3.2.5. Motor	21
3.2.6. Pervane.....	22
3.2.7. Gövde.....	22
3.3. Uçuş Kontrol Sistemi.....	23
3.3.1. Uçuş kontrol kartı	24
3.3.2. Mission planner.....	29
3.3.3. QGround controller	31
3.3.4. Hassas konumlama sistemi	32

3.4. Yangın Söndürmede Kullanılan Teknolojiler.....	34
3.4.1. Su Tabanlı söndürme sistemleri.....	34
3.4.2. Gaz söndürme sistemleri.....	35
3.4.3. Yüksek basınçlı su söndürme sistemleri.....	36
3.4.4. Toz söndürme sistemleri.....	36
3.5. İnsansız Hava Aracı Tasarımı.....	37
3.5.1. İnsansız hava aracı tasarımı ve analizi.....	38
3.6. Yangın Tespiti.....	44
3.6.1. Hassas yangın tespiti.....	45
3.7. Bulanık Mantık Destekli Karar Destek Sistemi.....	46
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	48
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	50
5.1. Sonuçlar.....	51
5.2. Öneriler.....	53
KAYNAKLAR.....	55
EKLER.....	57
EKLER.....	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
ÖZGEÇMİŞ.....	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

A	: Akım
Θ	: Yunuslama açısı
Φ	: Yuvarlanma açısı
ψ	: Sapma açısı
R	: Rotasyon
V	: Cismin doğrusal hızı
σ	: Cismin açısal hızını
I	: Atalet matrisi
F	: Gövde merkezine etki eden toplam kuvvetleri
τ	: Gövde merkezine etki eden toplam momentleri
Ω_i	: Pervanelerin açısal hızı
Ti	: İtme kuvveti,
Hi	: Yatay eksende etki eden kuvvet
g	: Gram
GB	: Gigabayt
GHz	: Gigahertz
Hz	: Hertz
m	: Metre
mAh	: Miliamper saat
mm	: Milimetre
V	: Volt
dk	: Dakika
sn	: Saniye
A	: Amper
W	: Watt
m ²	: Metrekare
C	: Deşarj oranı
S	: Hücre Sayısı
CO ₂	: Karbondioksit
Ar	: Argon
N ₂	: Azot
dk	: Dakika

Kısaltmalar

BEIDOU	: Çin Uydu Sistemi
BLDC	: Fırçasız Doğru Akım Motoru
ESC	: Electronic Speed Control (Elektronik Hız Kontrol Kartı)
GALILEO	: Avrupa Uydu Sistemi
GLONASS	: Global Navigation Satellite System
GPU	: Graphics Processing Unit (Grafik İşleme Ünitesi)
GPS	: Global Positioning System (Küresel Konumlama Sistemi)
IMU	: Ataletsel Ölçüm Birimi
İHA	: İnsansız Hava Aracı
Li-PO	: Lityum Polimer
PDB	: Power Direction Board (Güç Dağıtım Kartı)
PDGNNS	: Global Navigation Satellite System (Küresel Uydu Sistemi)
PWM	: Pulse Width Modulation (Sinyal Genişlik Modülasyonu)
PID	: Proportional Integral Derivative (Oransal-İntegral-Türevsel)
RTK	: Real Time Kinematik (Gerçek Zamanlı Kinematik)
RTOS	: Real Time Operating System
SBAS	: Uydu Bazlı Alan Büyütme Sistemi
UAV/UAS	: Unmanned Vehicle/Systems (İnsansız Araç/Sistemler)
UART	: Serial Communication Protocol (Seri Haberleşme Protokolü)
QUADCOPTER	: Dört Rotorlu İnsansız Hava Aracı

1. GİRİŞ

Günümüzde birçok alanda kullanılan insansız hava araçları teknolojisi, faydalı model kapsamında farklı alanlarda özel olarak geliştirilmeye başlanmıştır. Ülkemizde de hızlı bir gelişim sağlamakta olan İHA teknolojisi, kritik ve zorlu görevlerde kullanılmaktadır. İnsansız hava araçları, kullanıldığı farklı uygulama alanlarına göre özel tasarım ve donanımlara sahip olarak geliştirilmektedir.

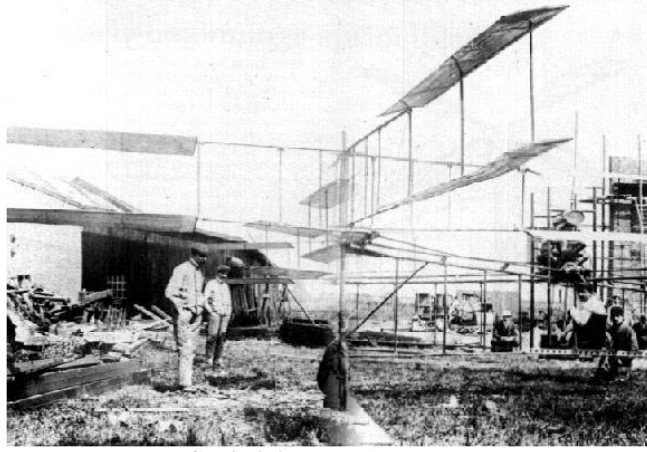
İnsansız hava araçları, insan faktörünün kullanıldığı sistemlere göre daha üstün ve özel yeteneklere sahip olarak üretilebilmektedir. İçerisinde canlı faktörünün bulunmamasından dolayı tehlikeli ve zor şartlar altındaki görevlerde kullanılabilmesi tercih sebebi olmaktadır. Bu üstün kabiliyet ve görev yeteneklerinden dolayı askeri, zor şartlar altındaki arama/kurtarma gibi birçok alanda aktif olarak kullanımı tercih edilmektedir.

Bu tez çalışmasının gerçekleşmesinde öncü olan yangın, yanıcı maddelerin oksijenli ortamda tutuşması ile gerçekleşmektedir. Yanıcı madde içerisinde bulunan enerji oksijenle reaksiyonu sonrası ısı enerjisine dönüşür. Bu reaksiyon sırasında ısıya dönüşen enerji yanıcı maddenin özelliğine göre sıcak gaz, ışık ve ses enerjisi açığa çıkmaktadır (Kılıç, 2003).

1.1. İnsansız Hava Araçları

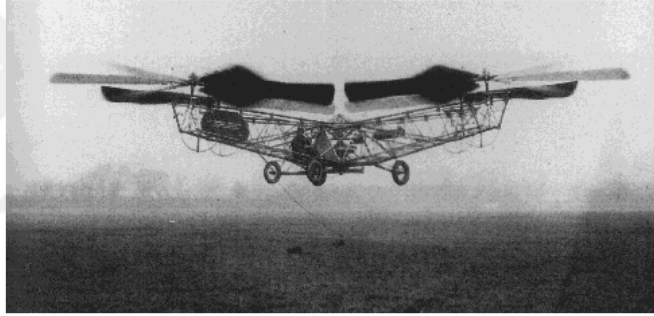
İnsansız Hava Araçları içerisinde sürücü bulunmayan, uzaktan kumanda ile kontrol edilebilen ve otonom sürüş olarak belirlenen güzergâh boyunca uçuş yapabilen araçlardır. Bu araçlar uluslararası “UAV/UAS (*Unmanned Vehicle/Systems*)” olarak tanımlanmaktadır (Mukhamediev ve ark., 2021).

Charles Richet, Fransız bir akademisyen ve bilim insanıdır. *Richer* 20. Yüzyıl başında başarısızlıkla sonuçlanan bir İHA geliştirmiştir. *Richer*'in öğrencisi olan *Louis Breguet* bu başarısız gelişmelerden ilham alarak kardeşi ile birlikte pilotsuz bir helikopter geliştirme çalışmalarına başlamıştır. Bu kardeşler 1907 yılına gelindiğinde No.1 adına sahip bir 4 rotorlu İHA geliştirmeyi başarmışlardır (Leishman, 2006). Geliştirmiş oldukları 4 rotorlu İHA Şekil 1.1’de verilmiştir.



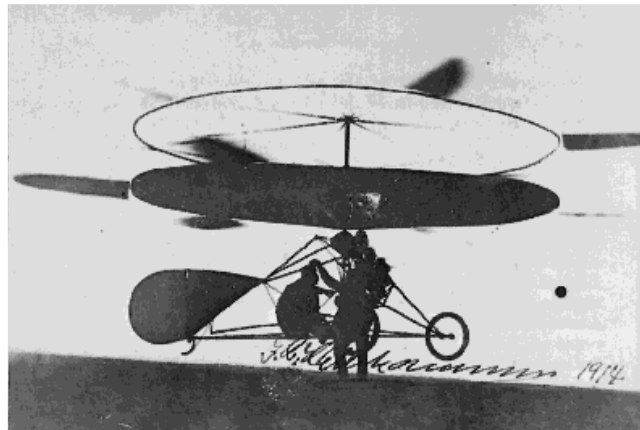
Şekil 1.1. Gyroplane no. 1

Bothezat adında bir mühendis 1922 yılında *George 'de* çapraz şekilde bir gövdeye sahip ve motorların bu çapraz uçlara yerleştirildiği bir *quadrotor* geliştirmiştir (Leishman, 2000). Geliştirilen bu *quadrotor* Şekil 1.2'de verilmiştir.



Şekil 1.2. Bothezat

Danimarkalı *Jen C. Ellehammer* 1914 yılında rotorları dikey olarak yerleştirilmiş bir *coaxial* rotor hava aracı geliştirdiği bilinmektedir (Leishman, 2006). *Ellehammer*'in geliştirmiş olduğu hava aracı Şekil 1.3'te verilmiştir.

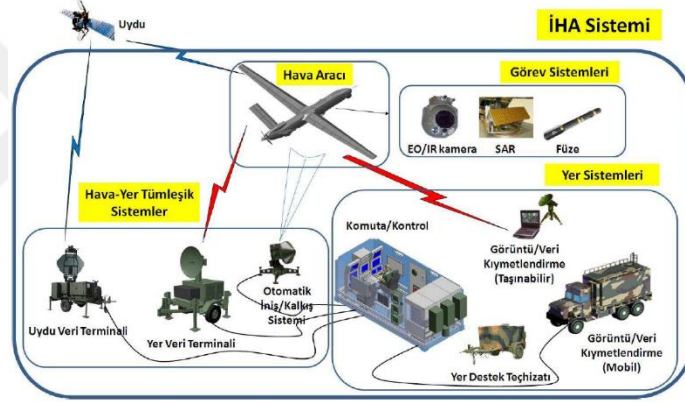


Şekil 1.3. Coaxial rotor helikopter

Dünya üzerinde klasikleşmiş savaş ortamlarında görev yapabilecek İHA sistemlerini geliştirme çalışmaları yapılmaktadır. Yakın gelecekte otonom veya uzaktan kontrollü İHA sistemlerinin mevcut insanlı savaş uçaklarına benzer veya daha üstün kabiliyetlere sahip olacağı öngörülmektedir. Orta ve uzun vadede ise pilot müdahalesi gerektirmeden otonom şekilde anlık karar mekanizmasına sahip sürü halinde görev yapabilecek İHA'nın görülmeye başlanacağı öngörülmektedir (Jordan, 2021).

İnsansız hava araçları tarım, haritalama, arama, savunma sanayi, afet durumlarında ve keşif faaliyetleri gibi geniş bir alanda kullanımı teknolojik gelişmelere paralel olarak ilerlemektedir (Karaağaç, 2014).

Bu tez çalışması doğrultusunda keşif, tespit ve müdahale alanlarında bulunan sistemlere ve bunları gerçekleştirebilecek uygulamalara odaklanılmıştır. İnsansız hava araçları sistemlerine örnek bir görsel Şekil 1.4'te verilmiştir.



Şekil 1.4. İHA Sistemi (Karaağaç, 2014)

1.2. İHA'larda Faydalı Yük Taşıma Sistemleri

İnsansız hava araçları Dünya üzerinde son zamanlarda etkinliğini giderek artıran ve birçok alanda zorlu görevlerin üstesinden gelebilen bir hava aracı olmuştur. Bu hava araçları zorlu askeri uygulamalarda, tarım uygulamalarında, gözetleme, uygulama, keşif ve kurtarma gibi birçok kolay ya da zorlu şartlar altında kullanıldığı bazı uygulamalarda hava aracının bu görevleri başarıyla gerçekleştirebilmesi için üzerlerinde faydalı yük taşıma sistemlerini barındırmaları gerekmektedir. Bu sistemler İHA'ların görevlerini yerine getirebilmesi için büyük önem arz etmektedir (Göde ve ark.).

İnsansız hava araçları kullanıldığı alanlara göre analiz ve tasarımı yapılan faydalı yük taşıma sistemleri barındırmaktadır. Bu faydalı yük taşıma sistemleri, aracın

gerçekleştireceği göreve göre çeşitlilik göstermektedir. Faydalık yük taşıma sistemleri arasında görüntüleme ve algılama sistemleri, iletişim sistemleri, taşıma sistemleri gibi sistemlerde bulunmaktadır (Hassler ve Baysal-Gurel, 2019).

Faydalı yük taşıma sistemleri arasında bulunan iletişim sistemleri, hava aracı üzerine montajı yapılan ve içerisinde uydu haberleşme ekipmanları, alıcı ve vericilerin bulunduğu sistemlerdir. Bu sistemler sayesinde şebekenin (çekim gücünün) bulunmadığı alanlarda arama ve kurtarma çalışmalarını gerçekleştirebilmek gibi birçok acil durumda kullanılmasına olanak sağlamaktadır. Kısa bir süre önce 6 Şubat 2023'te ülkemizde gerçekleşen ve dünya üzerinde sürekli örneklerini gördüğümüz depremlerde bu sistemlere sahip İHA kullanılmıştır. Deprem anında ve sonrasında depremin gerçekleştiği bölgede iletişimin sağlanamaması gibi durumlarda bu araçlar ile bölgede uçuş yapılarak üzerinde bulunan ekipmanlar aracılığıyla bölgeye iletişim ağı kurulması sağlanmıştır. Faydalı yük taşıma sistemleri, iletişim sistemlerine örnek olarak geliştirilmiş bir insansız hava aracı Şekil 1.5'te verilmiştir.



Şekil 1.5. Baz İstasyonu Sistemine Sahip İnsansız Hava Aracı

Bir diğer faydalı yük taşıma sistemi olan görüntüleme ve algılama sistemleri, İHA üzerine montajı yapılan ve içerisinde barındırdığı sensörler, yüksek çözünürlüklü kameralar, termal kameralar, tarayıcılar gibi ileri teknoloji ekipmanları sayesinde keşif, haritalama ve gözetleme için etkin olarak kullanılmasına olanak sağlamaktadır. Bu sistemler sayesinde İHA'ların uçuş yaptığı bölgelerde üzerlerinde barındırdığı algılayıcılara göre veri toplama, izleme ve hedef belirleme gibi birçok bilgiyi merkez birimine ulaştırılmasına olanak sağlamaktadır. Bu sistemler özellikle üzerlerinde barındırdıkları yüksek çözünürlüklü termal kameralar sayesinde afet durumları, askeri

operasyonlar gibi alanlarda da etkin olarak kullanılmaktadır. Örnek olarak bu hava araçları üzerine yerleştirilen hız tespit (radar) kameralar sayesinde araç hız tespit kontrolü yapılmaktadır. Bu uygulama, yüksek avantajlı özellikleri sayesinde ülkemizde Trafik şube ekipleri tarafından sıkça kullanılan bir uygulama haline gelmiştir. Bu kullanıma örnek olarak ülkemizde gerçekleştirilen radar tespit sistemine ait örnek bir uygulama Şekil 1.6'da verilmiştir.



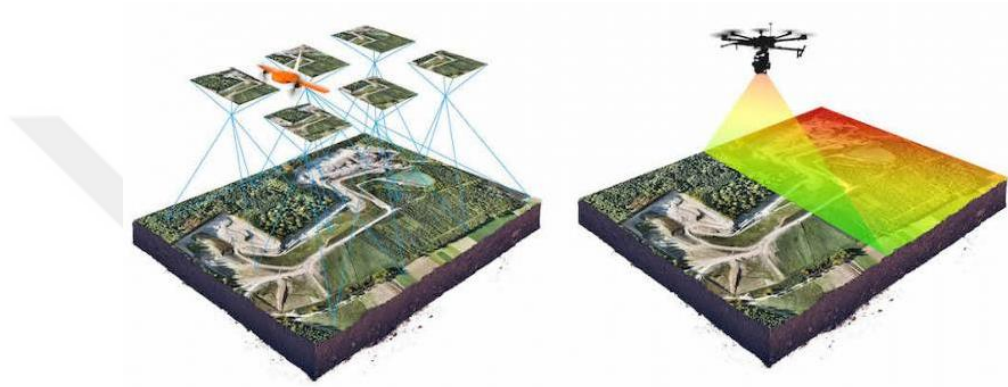
Şekil 1.6. İHA ile Radar Tespiti Uygulaması

Faydalı yük taşıma sistemlerinde İHA'nın kullanılmasında dair diğer bir alan olarak tarım uygulamaları gelmektedir. Tarım alanında insansız hava aracı üzerine yerleştirilen hassas kameralar, ilaçlama (püskürtme) sistemleri tarımda yetiştirilen bitkinin sağlığı, büyüme ve gelişim takibi yapılabilmektedir. Ayrıca üzerinde bulunan sistemler sayesinde hassas ilaçlama ve gübreleme gibi uygulamalarda yapılmaktadır. Bu sistemlerin gelişmesi ile tarımsal teknolojinin gelişmekte olduğu bilinmektedir. Şekil 1.7'de örnek bir zirai insansız hava aracı verilmiştir.



Şekil 1.7. Zirai İnsansız Hava Aracı

İnsansız hava araçları faydalı yük taşıma sistemleri arasında bulunan diğer bir alanda haritalama uygulamaları alanıdır. Bu alanda İHA üzerine yerleştirilen yüksek çözünürlüklü kameralar ve uydu destekli hassas konumlama sistemleri ile uçuş yapılan bölgeden coğrafi veriler, arazi analizi gibi verilerin toplanmasına olanak sağlamaktadır. Bu elde edilen veriler sayesinde bölgenin coğrafi yapısının belirlenmesi ve takibinin yapılmasına, kentsel planlama ve bölgenin haritalaması gibi uygulamaların yapılmasına olanak sağlamaktadır. Bu sistemlere sahip örnek bir insansız hava aracı Şekil 1.8’de verilmiştir.



Şekil 1.8. Coğrafi Haritalama İHA'sı

İnsansız hava araçları faydalı yük taşıma sistemleri arasında bulunan diğer bir alanda lojistik ve taşıma uygulamaları alanıdır. Gelişen teknoloji ile taşımacılık ve lojistik alanlarında İHA'ların kullanımı yüksek avantajlarından dolayı artış göstermiştir. Bu araçların kargo taşımalarında kullanılması o alanda birçok maliyetin azalması, teslimat sürelerinin kısaltılması gibi yüksek avantajlar sayesinde bu alanda hızlı bir şekilde gelişmesine ve kullanılmasına olanak sağlamaktadır.

Dünya üzerinde gelişmiş şirketler bu alan için özel fonlar ve yatırımlar yaparak bu alanda gelişen teknolojiye sahip olmaya çalışmaları teknolojik gelişmelerin daha hızlı ilerlemesine olanak sağlamaktadır. Bu alanın daha da gelişeceğini ve yakın gelecekte taşımacılık sektöründe de kullanılması öngörülmektedir (Nakiboglu, 2020). Örnek bir lojistik taşıma kabiliyetine sahip insansız hava aracı Şekil 1.9’da verilmiştir.



Şekil 1.9. Lojistik ve Taşıma Dronu

Bu tez çalışması kapsamında kullanılacak ikinci bir İHA ile yangının çıkış noktasının tespit edilmesi gerçekleştirilmiştir. Tespiti yapılan yangın koordinat verileri yer istasyonu vasıtası ile üzerinde yangın söndürme topu taşıyan İHA'ya yüklenmiştir. Ardından üzerinde yangın söndürme topu taşıyan İHA'nın otonom bir şekilde kalkış ve uçuş yaparak verilen koordinata hassas bir şekilde üzerinde bulunan faydalı yükün serbest düşüş ile bırakması gerçekleştirilmiştir. Bu sayede yangının çıkış noktasından yangının söndürülmesine katkı sağlayacak destek sistemin, hızlı ve etkin bir şekilde kullanılmasına olanak sağlamıştır.

1.3. Görevler

Yangınlar ülkemizde ve tüm Dünya'da küresel bir tehdit olarak kabul edilmektedir. Yangınlar doğal ya da canlı kaynaklı olarak oluşabilmektedir. Doğal kaynaklı olarak, özellikle ilkbahar aylarında kuruyan ağaçların yüksek ısıya maruz kalması sonucunda yangınlar oluşabilmektedir. Bu ve benzeri doğal sebeplerden (Yıldırım, İklim, vb.) dolayı Akdeniz iklim kuşağında yer alan Türkiye'de de ormanların büyük bir bölümü yangın tehdidi altında bulunmaktadır. Canlı kaynaklı oluşan yangınlar olarak da bilinen insanların doğaya zarar verebilecek gıda ambalajının bilinçsizce doğaya bırakılması, sigara izmariti, piknik ateşi gibi etkenlerden de oluşabilmektedir. Bu durumun önüne geçilebilmesi için insanların yangın çıkış nedenleri hakkında bilinçlendirilmesi T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı ve sivil toplum kuruluşları tarafından birçok iletişim aracı vasıtasıyla gerçekleştirilmektedir.

Yangın esnasında oluşan enerji, yangın devam ettiği sürece artar ve bu durum yangının kontrol altına alınmasını güçleştirmektedir. Bu yüzden yangınla mücadelede en

önemli hususlardan birisi de yangının başlangıç esnasında oluşan bu enerji büyümeden (daha geniş yüzeylere yayılmadan) müdahale edilebilmesidir. Yangınların oluşabileceği zaman ve konum öncesinde tespit edilemediğinden dolayı yangınlara müdahale esnasında yangının çıkış konumu önem arz etmektedir. Ülkemizin coğrafi durumu ve çarpık şehirleşme gibi istenmeyen nedenlerden dolayı yangınlara erken müdahale etme noktasında zorluklar yaşanabilmektedir.

Dünya üzerinde gerçekleşen teknolojik gelişmeler neticesinde İHA teknolojisi her alanda insan hayatında olabilecek güçlüklerin kolaylaştırılmasında kullanılmaya başlamıştır. Bu tez çalışmasında, yangın ile mücadele hususunda en önemli hususlar arasında bulunan hızlı ve etkin müdahalede esnasında insansız hava aracı teknolojisini kullanarak yarar sağlanması amaçlanmıştır. Bu sayede ulaşımı güç olan noktalarda başlayan yangınlara hızlı ve etkin müdahale yöntemi geliştirilmesi sağlanmıştır (Ausonio ve ark., 2021).

Bu tez çalışması kapsamında tasarımı ve üretimi yapılan insansız hava aracı üzerinde yangına müdahalede kullanılan yangın söndürme topu (*Super Fire Ball*) kullanılmıştır. Tasarımı ve üretimi yapılan insansız hava aracı bir adet yangın söndürme topu taşıyabilme ve onu bırakabilme kabiliyetine sahip olacak şekilde yapılmıştır.

Yangının tespit edilmesi için kullanılan insansız hava aracı yüksek çözünürlüğe sahip termal kamera, uzun uçuş süresi ve stabil uçuş özelliklerine sahip olacak şekilde seçilmiştir. Bu hava aracı üzerinde bulunan yüksek çözünürlüklü termal kamera ile yangın alanında tarama yapılarak, alandaki ısının en yüksek olduğu noktanın yangının güçlü olduğu nokta olarak kabul edilerek koordinatları belirlenmiştir. Bu sayede ilk aşama olan yangının çıkış noktasının tespit işlemi tamamlanmıştır.

Tez çalışması kapsamında üretimi yapılan insansız hava aracına, tespiti yapılan yangının koordinat verilerinin sisteme yüklenmesinden sonra İHA otonom olarak verilen konuma ulaşır ve üzerinde taşımakta olduğu yangın söndürme topunun istenilen noktaya serbest düşüşünü sağlanmıştır. Yangın söndürme topunun yangın ile etkin bir şekilde müdahale edebilmesi için yangının tam çıkış noktasına bırakılması önem arz etmektedir. Yangın söndürme topunu belirtilen noktaya yüksek hassasiyet ile tam hedefe bırakılması için insansız hava aracına hassas konumlama teknolojisi olan RTK (*Real-Time Kinematik*) konumlama sistemi dâhil edilerek yüksek konum hassasiyeti sağlanmıştır. Bu sayede yangın çıkış noktasını hedefleyen insansız hava aracının, yangın söndürme topunu yangının çıkış noktasına yüksek hassasiyet ile bırakması sağlanmıştır.

Yangın üzerine serbest düşüş ile bırakılan yangın söndürme topu, yangın içerisinde yüksek ısıya maruz kalması ile patlayarak içerisinde bulunan kimyasal maddelerin yangına yayılması ve kimyasal reaksiyon ile yangının söndürülmesine destek sağlamıştır.



2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Üzerinde yaşamakta olduğumuz dünyada her gün belli belirsiz tedbirsizliklerden veya kasıtlı olarak başlatılan yangınlar, hızlı ve etkin müdahale olmadığında kısa sürede çok geniş alanlara yayılmakta bunun sonucunda canlı ve mal kayıplarına sebep olmaktadır. Oluşan bu yangınlar neticesinde hektarlarca alandaki ormanlar kül olmakta ve bu nedenle Dünyamızda canlı yaşamı tehlikeye girmektedir (Toptaş ve Yılmaz, 2021).

Yangın ile mücadelede coğrafi koşullar en büyük etken olarak kabul edilmektedir. Yangın alanına kara yolu ulaşımının sağlanamaması, hava ve deniz yolu ile müdahalede ise bu alanda kullanılan teknolojinin yetersiz kalması gibi durumlardan dolayı yangın söndürme çalışmaları zorlaşmaktadır. Yangın ihbarı veya gelişmiş teknolojik cihazlar ile tespiti yapılan yangına müdahalede bulunacak ekiplerin bölgeye ulaşamamasında dolayı geçen kritik sürenin kısaltılabilmesi için bölgeye daha hızlı bir şekilde ulaşip, yangının büyümesini engelleyecek ve yangının söndürme çalışmalarına başlayacak yüksek teknolojiye sahip bir insansız hava aracının tasarlanması, geliştirilebilirliği ve kritik parametrelerin seçilmesi problemi ortaya çıkmaktadır (Mert ve ark., 2023).

Bu uygulamalara yönelik insansız hava aracı tasarımı, geliştirilebilirliği ve kritik parametrelerin belirlenmesi için hedeflenen görevin yerine getirilmesi açısından önemli bir husustur. Ayrıca bu hava aracının maliyetinin kurum ve kuruluşların maddi taraftan uygun olabilecek şekilde tasarlanması ve planlanması gerekmektedir. Bu nedenden dolayı kullanıcıların için en uygun çözümü bulmak önemli bir husus olmaktadır (Güngör ve İşler, 2004).

Yangınlar, kırsal ve ormanlık alanlar için tehdit oluşturmaktadır. Yangınların genişleme hızının yüksek olması doğaya zarar vermesi, doğada yaşayan canlılara tehdit oluşturması ve insan yaşamının bulunduğu alanlara ilerleyerek insan yaşamına olumsuz etki oluşturma potansiyeline sahip olduğundan, kontrollü zordur. Bu nedenlerden dolayı orman yangınları ekonomi, iklim ve canlı yaşamına önemli olumsuz etkiler oluşturmaktadır (Jolly ve ark., 2015).

Orman yangınlarının oluşturmuş olduğu olumsuz etkilerinin fazlalığından dolayı, bu etkileri minimuma indirmeye çalışmaları birçok farklı alanlarda devam etmektedir. Hava durumu kontrolü, kuraklık izleme, yangın potansiyeli olan alanlara yerleştirilen ısı algılayıcılar gibi sistemler, yangınla mücadelede etkin rol oynamaktadır. Yangının söndürülmesi ve sonrasında bölgenin normalleştirilmesi çalışmaları gibi eylemler de yangın sonrası dikkate alınması gereken hususlardır. Bu hususların çoğunluğunun

incelenme çalışmaları İHA'lar ile gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalarda İHA'ların kullanılması iki önemli hususu ortaya çıkarmıştır. Bunlardan birisi, yangının başladığı andan itibaren müdahale ekiplerinin yangın alanına ulaşım müdahaleye başladığı ana kadar geçen süredir. Yangının büyüyerek daha geniş alanlara yayılarak müdahale edilemez duruma gelmemesi açısından müdahale süresinin en aza indirgenmesi önem arz etmektedir. Bir diğer önemli unsur ise yangının boyutunun tespit edilmesi ve bunun neticesinde acil durum müdahale planının gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Yangın anında oluşan olumsuz etkiler (örneğin, oluşan dumandan dolayı görüş mesafesinin düşmesi), yangın anında alınan kısıtlı veriler ile değerlendirmesi neticesinde en iyi müdahale yolunun seçilmesi açısından önemli rol almaktadır. Bu önemli hususlar, yangının algılanması, izlenmesi ve müdahale planının oluşturulması açısından ele alınmaktadır. Bu araştırmalar neticesinde konuya duyulan ilgi araştırma camiasında artmış ve konu ile ilgili yazılan yayınların sayısında artışa neden olmuştur (Akhloufi ve ark., 2021).

Texas A&M Üniversitesinde Burç Han Aydın ve arkadaşları tarafından gerçekleştirilen çalışmada maddi kaynaklardan dolayı daha küçük hacimde çim üzerinde bir yangın söndürme topu ile çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma ile A ve B sınıfı kapsamında oluşturulan yangın benzer söndürme yöntemi ile başarılı bir şekilde söndürülmüştür (Aydın ve ark., 2019).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

İnsansız hava araçları, üzerinde pilot desteği bulunmadan uzaktan manuel olarak ya da öncesinde belirlenen rota boyunca (otonom) olarak belirtilen özelliklerde uçuş gerçekleştiren hava araçlarıdır. Bu araçlar sabit ve döner kanatlı olarak iki çeşitte tanımlanmaktadır. İHA'lar geniş kullanım alanına sahip teknolojik hava araçlarıdır. İHA'ların tasarımında ve geliştirilmesinde kullanılan ve üzerlerinde bulunan ekipmanların performans, ağırlık, maliyet, materyal ve yöntemler gibi birçok faktörü etkilemesinden dolayı bu araçların tasarım sürecinde ekipmanların seçimi önemli yer almaktadır (Wu ve ark., 2019).

İnsansız hava aracı üretiminde kullanılan ağırlık faktörünü etkileyen materyaller, kompozit malzemeler, plastikler ve hafif metallerdir. Kompozit malzemeler, yüksek mukavemet oranına ve düşük ağırlığa sahip olmasından dolayı İHA'larda sıkça kullanılan malzemelerdir. Polikarbon, polipropilen ve ABS gibi malzemeler, hafif olmaları, kolay şekillenebilirliği ve düşük maliyetlerinden dolayı İnsansız hava aracı sistemlerinde sıkça kullanılmaktadırlar.

İnsansız hava araçlarında kullanılan hafif metaller olarak bilinen titanyum ve alüminyum malzemeler, yüksek dayanıklılık ve mukavemet sağlamaktadırlar. Ayrıca düşük ağırlığa sahip olmalarından dolayı hava araçlarında kullanımı yaygındır. İnsansız hava araçları döner ve sabit kanat sistem görselleri Şekil 3.1'de verilmiştir.



Şekil 3.1. İnsansız Hava Araçları Çeşitleri

Bu tez çalışması kapsamında uygulama yapılacak görev için tasarımı ve imalatı yapılan insansız hava aracı hassas konumlama yapabilmesi açısından döner kanat kategorisinde geliştirilmiştir. Geliştirilen bu araç için gövde yapısı üstün özelliklerinden dolayı karbon fiberden üretilen iskelet kullanılmıştır. Ayrıca hava aracı üzerine

eklenilecek ekipmanların tutucu mekanizmaları (faydalı yük taşıma sistemi) yeni teknoloji olan 3 boyutlu yazıcılar kullanılarak ABS malzemesinden üretilmiştir. Kullanılan bu malzemenin hafif olması tercih nedeni olmuştur. Şekil 3.2’de örnek bir 3 boyutlu yazıcı görseli görünmektedir.



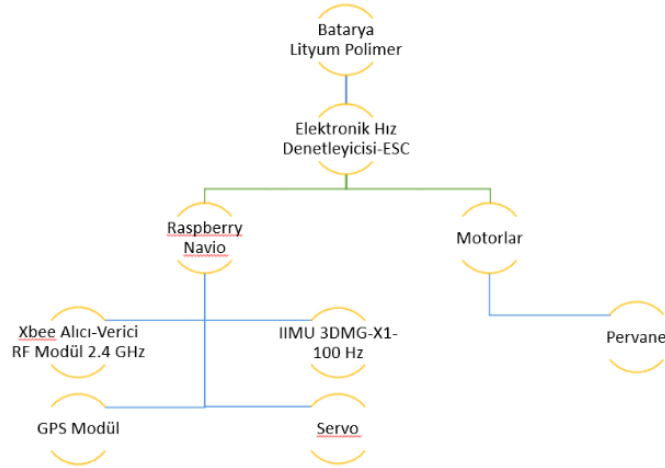
Şekil 3.2. 3 Boyutlu Yazıcı

3.1. İnsansız Hava Aracı Sınıfları

Bu tez çalışması kapsamında döner kanat İHA (*Quadrocopter*) kategorisinde iskelet yapısına sahip 476 gram ağırlığına sahip hafif ve dayanıklı malzeme olan karbon fiber iskelet tercih edilmiştir. İnsansız hava aracının taşıyabileceği ağırlıklar ve görevler göz önünde bulundurularak 6000 mAh lityum polimer batarya kullanılmıştır.

Batarya gövde kısmının altına yerleştirilebilecek şekilde tasarlanmış ve imal edilmiştir. Bataryadan beslenecek olan İnsansız hava aracını elektriksel dalgalanmalardan koruyabilmek için gövde içerisine PDB (*Power Direction Board*) güç dağıtım kartı yerleştirilmiştir. Güç kartı, güç çıkışlarından ESC’ler ve 5V çıkış kısmından kumanda alıcısı, uçuş kontrol kartı ve taşıma sisteminde bulunan servo motor beslenmiştir.

İHA üzerinde bulunan yangın söndürme topunu taşıyacak ve belirtilen noktada topun bırakılmasına sağlayacak ekipman için *servo* motor seçilmiştir. İnsansız hava aracı üzerinde bulunan hava aracının elektronik şeması Şekil 3.3’de belirtilmiştir.



Şekil 3.3. İnsansız Hava Aracı Elektronik Yapısı

3.1.1. Sabit Kanatlı İnsansız Hava Aracı

Motorları yüzeye yatay olacak şekilde yerleştirilen, havanın aerodinamik etkisi ile havada yükselen, otonom (uçuş öncesi belirlenen bir uçuş planı) ya da uzaktan kumanda kontrolü ile uçuş kabiliyetleri bulunan bu araçlar, sabit kanatlı İHA olarak belirtilmektedir. İnsansız hava araçları ticari ya da sivil ve ağırlıklarına göre sınıflandırılmaktadır (Keane ve ark., 2017).

Günümüzde sabit kanatlı İnsansız hava araçları birçok sektörde görüntüleme, tespit ve incele gibi alanlarda kullanılmaktadır. Örnek bir sabit kanatlı insansız hava aracı Şekil 3.4’de verilmiştir.



Şekil 3.4. Sabit Kanatlı İnsansız Hava Aracı

3.1.2. Döner Kanatlı İnsansız Hava Aracı

Döner kanatlı İHA yüzeye dikey şekilde yerleştirilen, yüksek uçuş manevra yeteneğine sahip hava araçları olarak tanımlanmaktadır. Havada sabit kalabilmesi için

sürekli bir itme kuvvetine ihtiyaç duyduğundan dolayı daha kısa uçuş sürelerine sahiptirler. Dikey iniş-kalkış yapabilme yeteneklerinden dolayı herhangi bir piste ihtiyaç duymamaktadırlar. Havada sabit (Asılı) kalabilme ve her yöne uçuş kabiliyetlerinden dolayı hassas sabit görüntüleme, noktasal yük atışı gibi birçok üstün özelliklere sahiptirler.

Çok motorlu İHA barındırdıkları motor sayılarına göre çeşitli isimler almaktadırlar. Bu araçlardan dünya üzerinde en sık kullanılan dört motorlu İHA'dır. Bu araç boyutlarının değişkenlik göstermekte, insanların erişemeyeceği alanlarda rahatlıkla kullanılabilmekte ve geniş manevra yetenekleri doğrultusunda zorlu görevlerde yüksek başarı elde etmektedir. Şekil 3.5'de bir döner kanatlı insansız hava aracı görülmektedir.

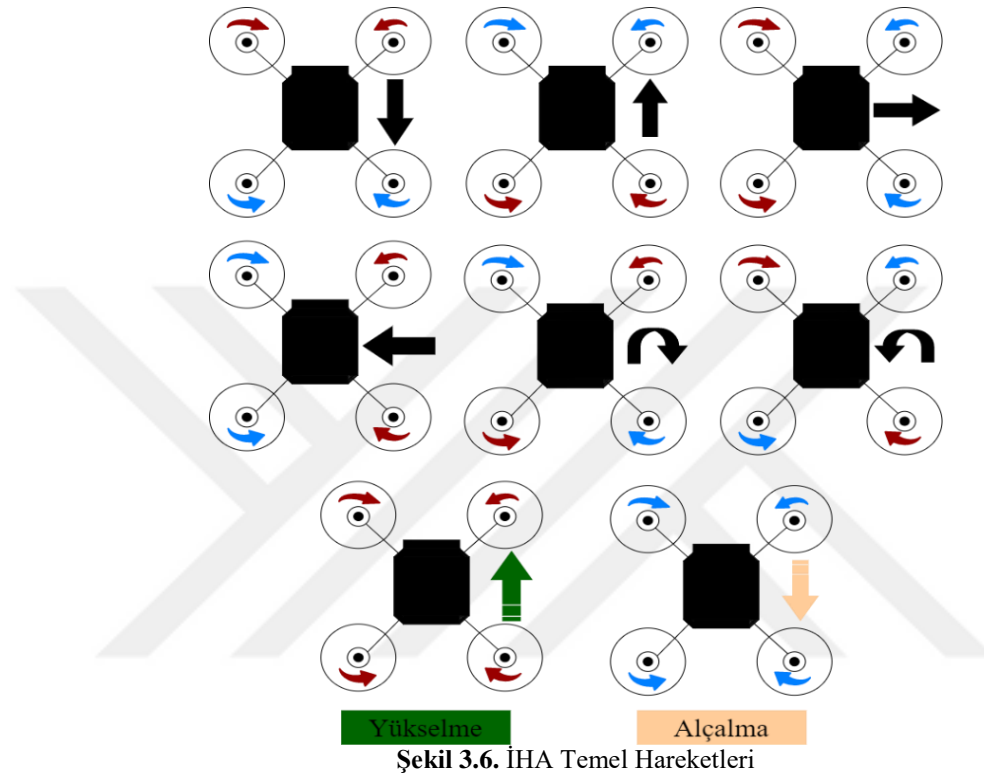


Şekil 3.5. Döner Kanatlı İnsansız Hava Aracı

Dört motorlu İHA'da kullanılan motorların iki tanesi saat yönünde dönerken diğer ikisi saat yönü tersine dönmektedir. Bu araçların havada uçuş gerçekleştirmesi motorların ters yönde dönmesiyle oluşmaktadır. Aracın arkasında bulunan iki motorun önde bulunan motorlara göre daha hızlı dönmesiyle ileri yönlü hareket, Önde bulunan iki motorun arkada bulunan motorlara göre daha hızlı dönmesiyle araç geri yönlü hareket etmektedir. Solda bulunan iki motorun sağdaki motorlara göre daha hızlı dönmesiyle sağ yönlü hareket, Sağda bulunan iki motorun solda bulunan motorlara göre daha hızlı dönmesiyle sol yönlü eylemsel hareket sağlanmaktadır (Önkol, 2010).

Araçların kendi etraflarında dönme hareketini, saat yönüne dönen motorların diğerlerine göre daha hızlı dönmesi ile saat yönü tersine dairesel hareket sağlanmaktadır. Diğer yönde dönüşü ise saat yönü tersine dönen motorların diğer motorlara göre daha

hızlı dönmesiyle saat yönüne dairesel hareket sağlanır. Bu araçlarda yukarı yönlü yükselme hareketini tüm motorların dönüş hızlarının yükselmesiyle sağlanmaktadır. Alçalma işlemi için ise tüm motorların dönüş hızlarının azalmasıyla oluşmaktadır. Şekil 3.6'da dört motorlu insansız hava aracı motor dönüş yön ve hızlarına göre temel hareket yönleri verilmiştir (Turgut, 2011).

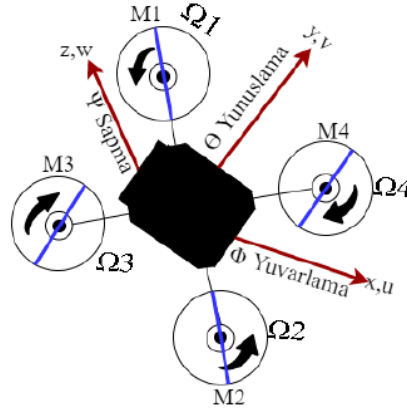


Şekil 3.6. İHA Temel Hareketleri

İHA'larda $X+$, $X-$, $Y+$, $Y-$, $Z+$, $Z-$ olmak üzere toplamda altı adet serbestlik açısı bulunmaktadır. Araçlarda M1 (sol ön) ve M2 (sağ arka) motorları saat yönünü tersine dönüş hareketi yaparken, M3 (sol arka) ve M4 (sağ ön) motorları saat yönüne dönüş hareketi yapmaktadır. Bu araçlarda motorların dönüş hızlarının uçuş kontrol kartı ile dönüş farkları oluşturularak temel hareketler gerçekleştirilir. Bu temel hareketler, yunuslama açısı (θ), yuvarlama açısı (Φ) ve sapma açısı (Ψ) olarak adlanmaktadır (Turgut, 2011).

Yunuslama açısı (θ), aracın ön kısmının yukarı veya aşağı hareketi yaparak X ekseninde öteleme ve Y ekseninde dönme hareketleri yapmaktadır. Bu hareket motorların değişken hızlar oluşması ile oluşmaktadır. Yuvarlanma açısı (Φ), X ekseninde öteleme, Y ekseninde ise dönme hareketleri yapmaktadır. Bu hareketler M2 (sağ arka), M3 (sol arka) motorlarının, M1 (sol ön), M4 (sağ ön) motorlarında daha hızlı yada yavaş dönme hareketi yapması sonucunda oluşmaktadır. Sapma açısı (Ψ), Saat yönü ve saat yönü tersine

dönüş hareketi yapan motorların birbirleri arasında dönüş hızı farkı oluşarak Z ekseninde hareket oluşturmaktadır. Bu sapma açısı dönel harekettir (Önkol, 2010). Şekil 3.7’de serbestlik açısı modelleri verilmiştir (Önkol, 2010).



Şekil 3.7. İHA Serbestlik Açısı Modeli

3.2. İnsansız Hava Araçları Bileşenleri

İnsansız hava araçları, içerisinde karmaşık birçok sistem barındırmaktadır. Bunlardan en temeli uçak ve yer kontrol noktaları oluşmaktadır. Bu sistemlerde tek bir İHA kullanılabildiği gibi, çok sayıda İHA’ da kullanılabilir. İHA’lar arasındaki bu iletişim ağını, geliştirilen yazılımlar aracılığı ile sağlanmaktadır (Liu ve ark., 2021).

İHA’lar iskelet üzerine yerleştirilen mekanik ve elektronik sistemlerin adapte edilmesiyle hava uçuşu gerçekleştirebilirler. İHA’lar üzerinde bulunan ekipmanlar başlıca olarak; GPS sistemi, motorlar, iskelet, uçuş kontrol kartı, pervaneler, batarya ve ESC’lerden oluşmaktadır. Bu araçlarda bulunan ekipmanlar detaylı olarak aşağıda bulunan başlıklarla açıklanmıştır.

3.2.1. Uçuş kontrol kartları

İnsansız hava araçlarının beyni olarak nitelendirilen, araç üzerinde bulunan tüm donanım ve sistemlerin kontrolünü ve veri akışını sağlayan sistemler, uçuş kontrol kartları olarak adlandırılmaktadır. Uçuş kontrol kartı, insansız hava aracının kumanda ile (manuel) kontrol edilmesini, içerisine uçuş öncesi yüklenmiş olan (otonom) rota ve görevlerin eksiksiz yerine getirilmesi ve araç üzerinde bulunan sensörlerden gelen veriyi işleyerek çıktı oluşturabilen bir devre kartıdır.

Uçuş kontrol kartları İHA'nın otonom olarak kontrol edilmesini, içerisine uçuş öncesi yer istasyonu programları ayrıcalığıyla yüklenen yazılımların işlenerek kusursuz bir şekilde donanım kontrolü yaparak gerçekleştirebilmektedir. Ayrıca araç üzerinde bulunan motorları, elektronik hız kontrol kartları aracılığı ile hız ve tork kontrolü yaparak aracın istenilen manevrayı yapmasına olanak sağlamaktadır.

Bu kartlar araç üzerinde bulunan, uçuş esnasında uçuşun sorunsuz gerçekleşebilmesi için gerekli sensörlerden gelen verileri anlık olarak telemetri sistemi ile yer istasyonu programına aktarmaktadır. Bu sayede aracın uçuş anındaki verileri yer istasyonu programı başında takip eden ekibin veri takibi yapabilmesi ve anlık olarak araca müdahale yapabilmesine olanak sağlamaktadır. Yer istasyonu, teknik ekibe araca ait dış hava sıcaklığı, motor devri, basınç, radyo sinyalleri gücü, yükseklik, *pitch*, *yaw*, *rol* değerleri yatay ve dikey hızı gibi verileri anlık olarak sunmaktadır.

İnsansız hava araçları için azami öneme sahip olan uçuş kontrol kartının üzerinde bulunan sensörler ve açıklamaları aşağıda verilmiştir.

- Jiroskop: İnsansız hava araçları stabilizasyonu için gerekli sensördür. Bu sensör aracın üç ekseninde (*roll*, *yaw*, *pitch*) dönüş yönü ve hızını belirler. Uçuş kontrol kartı motor kontrolünü bu sensörden gelen veriler ile sağlamaktadır.
- Barometre: Atmosfer basıncını ölçerek insansız hava aracının yüksekliğini tespit etmekte kullanılan sensördür. Aracın otonom şekilde kalkış, uçuş ve inişini sağlayan en önemli ekipmandır.
- İvmeölçer: *Jiroskop*'dan alınan veriler ile işlenmektedir. İnsansız hava aracının ivme ölçümünü yapmaktadır.
- Hava hız sensörü: Sabit kanatlı İHA'nda kullanılmaktadır. İnsansız hava aracı üzerinde havanın oluşturduğu statik ve basınç verilerini ölçerek araç hızının hesaplanmasını sağlamaktadır.

İnsansız hava araçlarında mevcutta yaygın olarak kullanılmakta olan uçuş kontrol kartlarının sahip olduğu, özellikler açısından kıyaslanma tablosu Çizelge 3.1'de verilmiştir. Yukarıda özellikleri verilen bu uçuş kontrol kartları Şekil 3.8'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Uçuş Kontrol Kartları

	Uçuş Kontrol Kartı	Desteklenen Motor Sayısı	Desteklenen IMU Sayısı	Dahili GPS	UART Girişi	Port
1	<i>Pixhawk 2.4.8</i>	8	1	Yok	2	
2	<i>Pixhawk cube</i>	12	3	Yok	4	
3	<i>Navio 2</i>	12	2	Var	1	



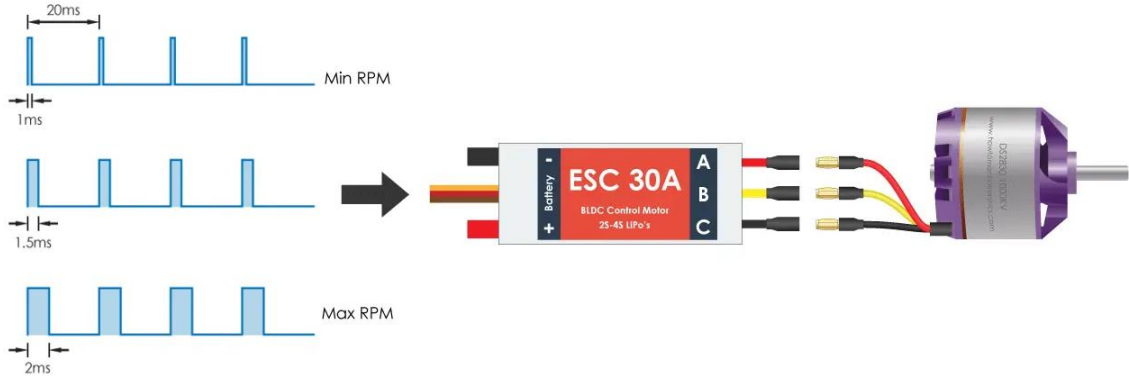
Şekil 3.8. Uçuş Kontrol Kartları

3.2.2. Elektronik hız kontrol (ESC)

Elektronik hız kontrolü (*ESC*) fırçasız doğru akım motorlarına (*BLDC*) hareket kabiliyeti sağlamak amacıyla kullanılan kartlardır. Bataryadan gelen akımı, uçuş kontrolcüsünün göndermiş olduğu Darbe Genişlik Modülasyonu (*PWM*) sinyaline göre düzenleyerek uçuşun istenilen yönde ve hızda olmasını sağlamaktadır. Ayrıca dinamik frenleme özelliği ile hava aracına yüksek kontrol gücü sağlamaktadır. Bu sürücülerde birçok haberleşme protokolü bulunmaktadır. Bunlar; Sinyal Genişlik Modülasyonu (*PWM*), *DSHOT*, *ONESHOT*, *MULTISHOT* gibi protokolleridir. Bu protokoller içerisinde *DSHOT* hariç diğer protokoller “*Analog*” protokollerdir. *Analog* sinyaller elektromanyetik kirliliğe dijital sinyallere göre daha hassastır. Protokoller hızlarına göre sıralandığında *PWM*, *ONESHOT*, *MULTISHOT* ve *DSHOT* şeklindedir.

Tez çalışmamız kapsamında geliştirilen insansız hava aracında kullanılacak *ESC*'ler 2-6S voltaj, maksimum akım seviyesi 40 amperdir. Tez çalışması kapsamında *ESC* haberleşme protokolü olarak Sinyal Genişlik Modülasyonu (*PWM*) protokolü kullanılmıştır. Bunun nedeni eylemsizlik kuvvetinin ters tepki kuvvetinden fazla olmaması istendiği için dinamik frenleme özelliği ile hava aracına yüksek kontrol gücü sağlamasıdır.

Sinyal Genişlik Modülasyonu (*PWM*) protokolü talep edilen çıkışı darbe uzunluğu şeklinde kodlayarak işler. Minimum hız yani durma 1 ms döngü uzunluğu, maksimum hız 2 ms döngü uzunluğu olarak sisteme aktarmaktadır. Bu protokol 2 ms gecikmeye sahiptir. Aşağıda bulunan Şekil 3.9’da hızlara göre *PWM* sinyalleri verilmiştir.



Şekil 3.9. Elektronik Hız Kontrol Kartı

3.2.3. Güç dağıtım kartı

Çalışma kapsamında 4 katmanlı, düzenlenmiş 5V ve 12V çıkışlara sahip, 36 x 50 x 4 mm boyutlarında güç dağıtım kartı kullanılmıştır. Batarya ile *ESC'ler* arasına yerleştirilen bu kartta harici 5V ve 12V çıkışlar sistemde kullanılacak RC Alıcı, *Servo* gibi ekipmanların beslemesi için kullanılmıştır. Şekil 3.10'da örnek güç dağıtım kartı verilmiştir.



Şekil 3.10. Güç Dağıtım Kartı

3.2.4. Li-Po pil

Lityum Polimer piller taşıdığı kapasitelerine göre küçük boyutta olması, dayanıklılığı ve ağırlığın önemli olduğu alanlarda avantajlı olmalarından dolayı günümüzde kara, deniz ve hava araçlarında ve birçok farklı alanda kullanılmaktadır.

Li-po pil teknolojisine sahip piller yüksek depolama alanı, kısa şarj süresi ve uzun kullanım süresine sahiptirler. Bu pillerin yüksek enerjiye sahip olması ve düşük ağırlıkta olması İHA teknolojisi dışında askeri uygulamalar, telefon, bilgisayar, akıllı saat, elektrikli araçlar gibi alanlarda kullanılmaktadır (Sezgin, 2017).

Li-po piller bir veya birden fazla hücrenin birleşiminden oluşmaktadır. Bu hücreler minimum 3.7V gerilim barındırmaktadırlar. Bu barındırdıkları gerilim şarj edilerek 4.2V'a kadar yükseltilebilir. Piller içerisinde barındırdıkları hücre sayısını S olarak belirtilir. Piller üzerinde belirtilen mAh (Miliamper saat) değeri pilin kapasitesini yani verebileceği akım miktarını belirtmektedir. Bir diğer değerde pilin verebileceği maksimum akım değeri C ile ifade edilmektedir.

İnsansız hava araçlarında ağırlık önemli bir husus olmasından dolayı seçilecek *Li-po* pilin optimum seviyede (istenilen uçuş süresi ve göreve bağlı olarak) seçilmesi gerekmektedir. Bu tez çalışması kapsamında belirlemiş olduğumuz görev, ağırlıklar ve ekipmanlar (motor ve *esc'ler*) göz önüne alınarak Şekil 3.11'de belirtilen 6000mAh 22.2V 35C 6S1P *Li-Po* batarya kullanılmıştır.



Şekil 3.11. *Li-po* pil

3.2.5. Motor

Bu tez çalışması kapsamında yüksek verimlilik, sabit tork, daha az gürültü, bakıma ihtiyaç duymaması ve uzun ömürlü olması gibi birçok avantajlarından dolayı *BLDC* fırçasız motor kullanılmıştır. Çizelge 3.2'de tez çalışması kapsamında kullanılan *BLDC* fırçasız motorun teknik özellikleri verilmiştir.

Çizelge 3.2. Motor Özellikleri

No	Pervane	Volt (V)	Amper (A)	İtme (GF)
1	15x5.5	25	15	2300
2	16x6	22.2	28.5	3360
3	16x6	25	28,8	3500

Fırçasız DC motorlar hız kontrolü sabit tork ile yapılabilmektedir. Bu tez çalışmasında Şekil 3.12’de gösterilen 400 kv fırçasız doğru akım motor kullanılmıştır.



Şekil 3.12. BLDC Motor

3.2.6. Pervane

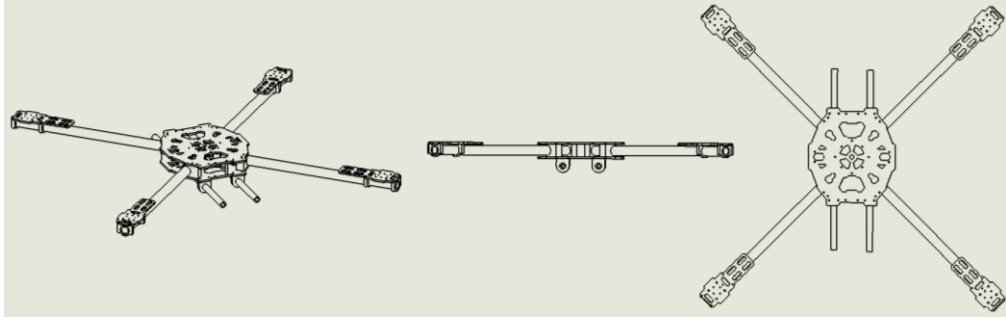
Döner bir milin üzerine yerleştirilmiş, uygun bir aerodinamik ya da hidrodinamik biçim verilmiş palalardan oluşan; itme veya çekme gücü sağlayan alete pervane denir. Dört rotorlu insansız hava aracında havada kalması için pervane kullanılır. Kullanılan motorun parametrelerine göre 16 inç karbon fiber pervane (1655 16*6) tercih edilmiştir. Kullanılan bu pervanelerin özellikleri Çizelge 3.3’te verilmiştir.

Çizelge 3.3. Pervane Özellikleri

Pervane çapı	16*6	Çalışma sıcaklığı	40°C ile 65°C
Ağırlık	28gr	Saklama derecesi	10°C ile 50°C
Materyal	CF + Epoxy	Ortalama devir	4000-6000 rpm
Yüzey alanı	Cilalı	İtme kuvveti	7 kg

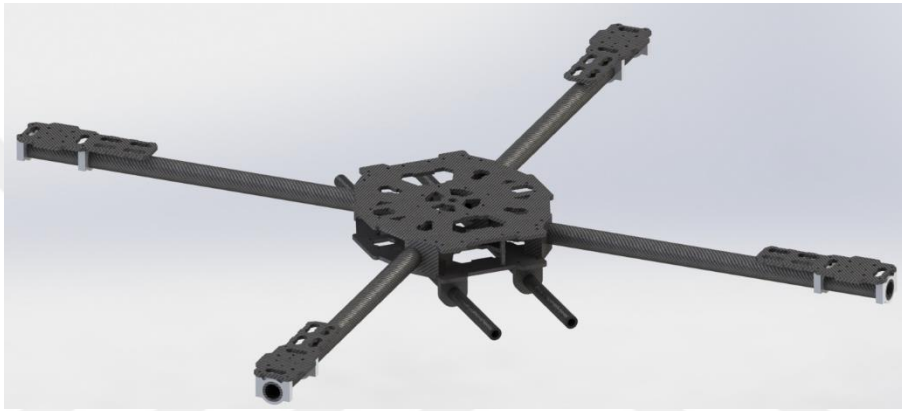
3.2.7. Gövde

Bu tez çalışması kapsamında üretilen hava aracı gövdesi yüksek devirli motorların ortaya çıkardığı momentlere dayanabilecek sertlikte ve ağırlık bakımından dezavantaj sağlamaması için hafif olmalıdır. Bu nedenle karbon fiber kompozit malzeme kullanılarak araç şasisi oluşturulmuştur. İmal edilen mekanik yapıyı *Solidworks* 3B çizim programında ağırlık ve dayanım hesaplamaları göz önüne alınarak tasarım yapılmıştır. Tasarımı yapılan gövdeye ait teknik görüntü Şekil 3.13’te verilmiştir.



Şekil 3.13. Gövde Tasarımı

Tasarım programı ile tasarımı gerçekleştirilen gövdeye ait *render* görüntüsü Şekil 3.14’de verilmiştir.



Şekil 3.14. Gövde *Render* Görüntüsü

Bu tez çalışması kapsamında gövde hesaplamaları ve tasarımı yapılmıştır. Yapılan bu tasarıma en yakın ve daha optimal bulunan *Tarot Iron Man 650 Quadcopter* karbonfiber iskelet hazır olarak alınmış ve hesaplamalar bunun üzerine yapılmıştır. Gövde özellikleri aşağıda bulunan Çizelge 3.4’te verilmiştir.

Çizelge 3.4. Gövde Özellikleri

Motordan Motora Genişlik	Ağırlık	Yükseklik	Uygun motor çapı	Uygun pervane ölçüsü
650mm	476g	180mm	22-40	10 - 16 inç

3.3. Uçuş Kontrol Sistemi

Uçuş kontrol sistemi araç üzerinde bulunan donanımların koordineli bir şekilde birlikte çalışmasını sağlayan sistemdir. Araç üzerinde bulunan sensörlerden gelen veriler anlık olarak işlenerek uçuşun sorunsuz olarak gerçekleştirilmesini sağlamaktadır. Uçuş kontrol sisteminin ana ekipmanı uçuş kontrol kartıdır. Uçuş kontrol kartları üzerlerinde bulunan elektronik ekipmanlar ve sensörler verilerin matematiksel işlemlerin yapılmasını

ve bunun doğrultusunda çıktıların işlenmesini sağlayarak aracın sorunsuz bir şekilde görevini yerine getirmesini sağlamaktadır. İnsansız hava araçlarında kullanılan uçuş kontrol kartları aşağıda verilmiştir.

- *Pixhawk Cube Orange*
- *Navio2*
- *Pixhawk 4*
- *EagleTree Vector*
- *Pixhawk 2.4.8-2.4.8*
- *Naze32*
- *CC3D*

Bu tez çalışması kapsamında bu uçuş kontrol kartları içerisinde bulunan *Navio 2* uçuş kontrol kartı kullanılmıştır. Üzerinde bulunan sensörler ve donanımlar sayesinde profesyonel uçuş ve zorlu görev ve işlemlerin yapılmasına olanak sağlamaktadır.

İnsansız hava, su ve kara araçlarında otonom sürüş gerçekleştirilebilmesi için belirli parametrelerin ve uçuş esnasında kullanılacak modların sisteme yüklenmesi için bir yer istasyonu programına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu programlar sayesinde uçuş anında uçuş kontrol kartından gelen telemetri verilerinin ara yüz ile kullanıcılara sunulmaktadır. Gelişen teknoloji ile birçok ara yüz programları bulunmaktadır. Bu ara yüz programları aşağıdaki gibidir.

- *Mission Planner*
- *QGround Control*
- *AndroPilot*
- *Happy Killmore*
- *APM Planner 2*

Bu tez çalışması kapsamında geliştirilen yer istasyonu programları arasında açık kaynak kodlu program olan *Mission Planner* kullanılmıştır.

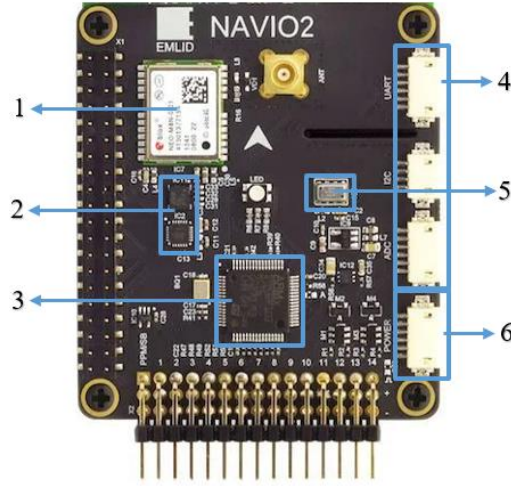
3.3.1. Uçuş kontrol kartı

Tez çalışması kapsamında geliştirilen İHA'da uçuş kontrol kartı olarak *Navio 2* kullanılmıştır. Bu uçuş kontrol kartı ile entegreli olarak çalışabilecek mikroişlemci olarak

Linux tabanlı çalışan ve *rasbian* işletim sistemine sahip *Raspberry Pi 4* entegre edilmiştir. *Raspberry Pi* ile uyumlu çalışan *Navio 2* uçuş kontrol kartı uçuş öncesi belirlenecek görevin otonom olarak gerçekleştirilmesini sağlamıştır.

3.3.1.1. *Navio 2* uçuş kontrol kartı

Navio 2 uçuş kontrol kartı sahip olduğu yüksek donanım ve yazılım sayesinde kullanıcıya kolaylık sağlamaktadır. Genellikle robotik, hava ve deniz araçları projelerinde kullanılmaktadır. *ROS* ve *Linux* tabanlı çalışan bir uçuş kontrol kartıdır. Bu uçuş kontrol kartı *Raspberry Pi* ile entegreli çalışması sayesinde ek hiçbir kablolamaya veya donanıma ihtiyaç duymadan özel otonom programlamalarını yüksek hızda desteklemektedir. Ayrıca *Navio 2* uçuş kontrol kartları, üzerlerinde bulundukları uçuş için gerekli birçok sensöre sahip olması ve uçuş yazılımı ile çalışması gibi üstün avantajlara sahip bir uçuş kontrol kartıdır. Şekil 3.15’de *Navio 2* uçuş kontrol kartı üzerinde bulunan donanım numaralandırılarak belirtilmiştir ve aşağıda açıklanmıştır.



Şekil 3.15. *Navio 2* Üzerinde Bulunan Donanımlar

1. GNSS alıcısı: *GPS*, *BEIDOU*, *GALILEO*, *GLONASS*, *SBAS* ve harici anten bağlantısı ile yüksek hassasiyet sağlayacak uydulara bağlanarak daha kaliteli bir uçuşa olanak sağlamaktadır.

2. *Dual IMU*: İvmeölçer, manyetometre ve jireskoplar ile 3 eksen de açısını belirleyerek hava aracının dengeli bir şekilde uçuş yapmasını sağlamaktadır. Ayrıca aracın karşılaşılabileceği manyetik alanlara karşı çift koruma sağlamaktadır.
3. RC I/O Yardımcı İşlemci: *SBUS/PPM* girişlerini uygun, motorlar ve servolar için 14 *PWM* çıkış kanalı sağlamaktadır.
4. Uzatma Portları: Radyolar ve sensörler için açıkta *ADC*, *I2C* ve *UART* Ara yüzlerine sahiptir. Sahip olduğu *UART* protokolü sayesinde yüksek hızlarda haberleşme sağlamaktadır ve *ADC* portu sayesinde batarya verilerini izlememize olanak sağlamaktadır.
5. Yüksek Çözünürlüklü Barometre: 10 cm çözünürlük ile hassas rakım algılama işlemini gerçekleştirmektedir.
6. Üçlü Yedek Güç Kaynağı: Akım ve gerilim algılama için aşırı gerilim koruması ve güç modülü portudur.

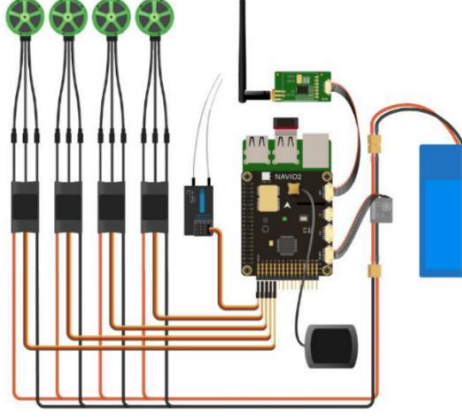
Navio 2 uçuş kontrol kartları ile uyumlu bir şekilde çalışan ve entegre edilebilen kartlar:

- *Raspberry Pi 3 Model A +*
- *Raspberry Pi 3 Model B*
- *Raspberry Pi 3 Model B +*
- *Raspberry Pi 2 Model B*

Navio 2 uçuş kontrol kartının enerji beslemesi, 5v'a düşüren *power* modül adı verilen voltaj dönüştürücüye bağlanmalıdır. Bu kullanılacak modül 36 Volt'a kadar destek vermektedir. Motorlardan gelen 3 faz motor sürücüyeye bağlanmaktadır. Uçuş kontrol kartı ve motorların kontrolünü sağlayan *ESC* bağlantısı için *ESC'lerden* gelen 3 pinli kablunun *Navio 2'nin* çıkış pinlerine sıralı bir şekilde bağlanması gerekmektedir. Örnek *Navio 2 ESC* bağlantısı Şekil 3.16'da verilmiştir.

GPS/GNSS anten bağlantı kablosu *Navio 2* üzerinde bulunan sarı renkli sokete bağlantı yapılarak bağlantı tamamlanmaktadır. Sistemde kullanılacak kumandanın araç üzerinde bulunan alıcı bağlantısı, alıcı ve *Navio 2* pinleri arasında 3 soketli kablo ile yapılmaktadır. Sistemde kullanılan uçuş kontrol kartı *SBUS* protokolünü desteklediğinden dolayı, kullanılacak bu alıcı *SBUS* haberleşme protokolüne sahip olması gerekmektedir.

Navio 2 ve telemetri bağlantısı, kart üzerinde bulunan *UART* portuna bağlantısı yapılarak gerçekleştirilir. Bu bağlantıda kullanılacak frekanslara dikkat edilmesi gerekmektedir. Bu tez çalışması kapsamında geliştirilen uçuş aracı elektronik sistem şeması Şekil 3.16’da verilmiştir.



Şekil 3.16. *Navio 2* Bağlantı Şeması

Raspberry Pi bilgisayar bileşenleri olan bellek, işlemci, giriş/çıkış portları, grafik kartı gibi bileşenleri üzerinde barındıran ve bilgisayara oranla daha küçük boyutlara sahip bir devre kartıdır. Bu kart birçok programlama dilleriyle programlanmaya olanak sağlamaktadır ve *Linux* tabanlı işletim sistemine sahiptir.

Genel olarak kullanılan uçuş araçlarında, uçuşun gerçekleştirilmesi için gerekli mikrodenetleyici kullanılırlar. Bu tez çalışması kapsamında tasarlanan uçuş kontrol aracında bir mikro bilgisayar olan *Raspberry Pi* kullanılmıştır. *Raspberry Pi* tek kartlı bilgisayarlardır. *Raspberry Pi* diğer mikrodenetleyici tabanlı geliştirme kitleriyle karşılaştırıldığında daha yüksek işlem gücüne (*processing power*) sahiptir. *Raspberry Pi*, *Linux* işletim sistemi ile çalışan tek kartlı bir bilgisayardır. Bu bilgisayar çok işlemlerli işletim sistemi (*multitasking operation system*) gibi her 10 ms’de *task switching/polling* yapar, her çevrimde bir *interrupt* (kesme) isteği yapar. Bu şekilde tasarlanan hava aracı uçuş esnasında, sisteme yüklenen görevin işlenmesi anında başka bir görev gerçekleşmesi durumunda o an 10 ms’lik zaman diliminde sistemde yüklü olan görev yazılımının kesintiye uğraması anlamına gelmektedir. Bu süre hava araçlarında, diğer tip araçlara göre (kara, deniz) sahip olduğu dinamiğe ve potansiyeline göre çok önem arz etmektedir. Buna göre mikrodenetleyici tabanlı çalışan sistemler *RTOS (Real Time Operating System)* ile veya sisteme yüklenen yazılımın kritik noktalarında düşük gecikme zamanı (*latency*)

çalışma imkânı sunan interrupt-driven komut kümesi ile çalışmaktadırlar (Taslı ve Karakoyun, 2022).

İşlem hızının ve hata oranının çok düşük olması gereken bu sistemlerde *Raspberry Pi* gibi tek kartlı bilgisayarların kullanılması, mikrodenetleyicilerden kaynaklı oluşabilecek zamanlama ve gecikme gibi sorunlarla karşılaşılmasını sağlayacaktır. Uçuş esnasında gerekli yüksek düzey navigasyon işlemleri, yüksek işlem gücüne sahip *Raspberry Pi* ile gerçekleştirilmiştir.

Bu tez çalışmamız kapsamında kullanılacak *Raspberry Pi 4 Model B* piyasaya sürülen en son modeldir. Önceki modellere göre daha gelişmiş *ARM Cortex-A72* Dört çekirdekli 1.5 GHz ve 4 GB bellek gücü ile sisteme yüksek bir katkı sağlamaktadır. Bu mikro bilgisayar aşağıda belirtilen programlama dillerini destekleyerek kullanıcılara kolaylık sağlamaktadır:

- *Scratch*: *Raspbian* işletim sistemi içerisinde desteklenmektedir. Görsel bir programlama diline sahiptir.
- C++/C: Az seviyede performans ve kontrol gerektiren işler için genel kullanımı olan bu diller, *ARM* tabanlı işlemciye sahip *Raspberry Pi* için geniş kullanım aralığı bulunmaktadır.
- *Python*: Kolay programlama dili sayesinde *Raspberry Pi*'de yaygın olarak kullanılan dildir. Geniş kütüphane desteği ile kullanıcılara kolaylık sunmaktadır.

Raspberry Pi yeni gelişmeler doğrultusunda sağladığı avantajlar ile kullanımı gün geçtikçe artmaktadır. Sahip olduğu işlevlere ve donanımlara göre diğer bilgisayarlara oranla daha küçük boyutlara sahip olması ve fiyat olarak daha uygun olması kullanım alanını genişletmektedir. İnsansız hava aracı projelerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Şekil 3.17'de tez çalışması kapsamında kullanılan *Raspberry Pi 4 Model B* verilmiştir.



Şekil 3.17. *Raspberry Pi 4*

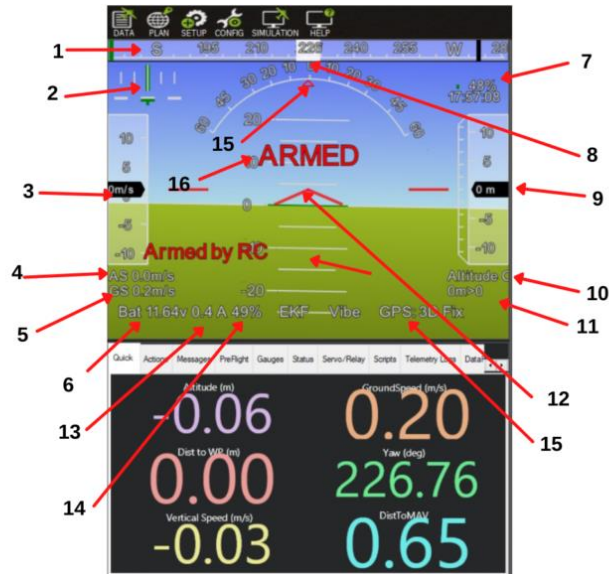
3.3.2. Mission planner

Uçuş anında hava aracının hız, yükseklik ve üzerinde bulunan ekipmanların kontrolleri gibi veriler sistem üzerinden girilerek uçuş kontrol kartına yüklenir. Uçuş kontrol kartı, yüklenen bu verileri uçuş anında işleyerek komutları gerçekleştirerek otonom uçuşu gerçekleştirmektedir. Şekil 3.18’de örnek bir *mission planner* arayüzü verilmiştir.



Şekil 3.18. Mission Planner Arayüzü

Araç üzerinde bulunan uçuş kontrol kartının yer istasyonuna gönderdiği canlı verileri program ana ekranında (*HEADS-UP Display*) kullanıcıya sunulmaktadır.

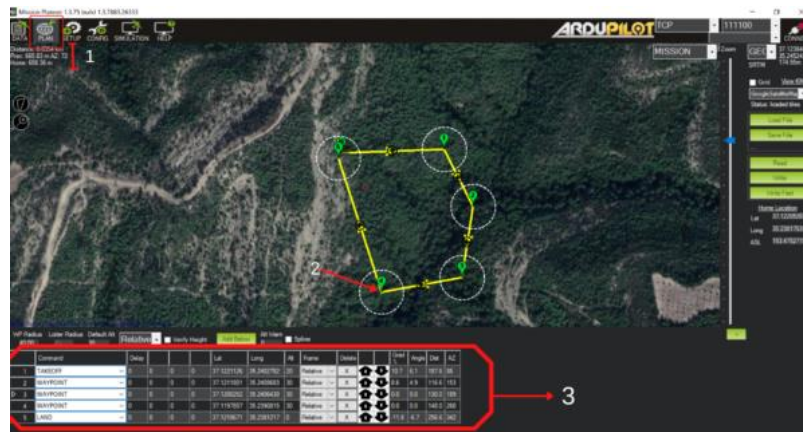


Şekil 3.19. Mission Planner Ana Ekranı

Şekil 3.19’da bulunan ana ekran açıklamaları aşağıda verilmiştir.

1. Pusula Dönüş Açısı
2. Pusula Dönüş Göstergesi
3. Hava Aracı Hızı (Hava hızı sensör takılı değilse yer hızı)
4. Hava Aracı Hızı (Sayısal gösterim)
5. Yer Hızı
6. Batarya Durumu
7. Telemetri Bağlantı Kalite Göstergesi
8. Araç İstikamet Yönü
9. Aracın Toplam İrtifası
10. Anlık Uçuş Modu
11. Mesafe Uzaklığı
12. Hava Aracı Uçuş Yönü
13. Elektronik Ekipmanın Kullandığı Akım Miktarı
14. Pil Doluluk Yüzdesi
15. GPS Aktif Durumu

Otonom uçuşun rota, konum, yükseklik gibi veriler mission planner programı içerisinde bulunan “Uçuş Planı” ekranından girilmektedir. Örnek bir uçuş planı ekranı olarak Şekil 3.20’de verilmiştir.



Şekil 3.20. Uçuş Planı Arayüzü

Bu ekran içerisinde bulunan veri giriş ve bilgilendirmeleri aşağıda açıklanmıştır.

1. *Mission Planner* arayüzünde üst kısımda bulunan “plan” butonundan otonom uçuş planlamasına ulaşılır.
2. Hava aracının uçuş planına dayanarak toplam mesafe, anlık **waypoint** ile sonraki *waypoint* arası arasındaki mesafe, İHA'nın otonom şekilde hareket etmesi için *waypointler* (noktalar) işaretlenir.
3. İkinci bölgede planlama yapılan *waypointler*'e görev ataması yapılır. (iniş, kalkış, *gimball* hareketleri, hava aracı irtifa ayarları, istenilen konumda enlem ve boylam hareketleri)

3.3.3. QGround controller

İnsansız hava araçları kontrol programlarından bir diğeri olan *QGround Controller* yazılımıdır. Bu yazılım açık kaynak kodlu bir kontrol istasyon yazılımı olması ve kolay kullanım ara yüzüne sahip olmasından dolayı hava araçları uygulamalarında sıkça kullanılmaktadır.

Bu yazılım sayesinde aracın uzaktan kontrolünü sağlayan operatöre operasyonun yönetimini ve araca ait tüm verilerin anlık canlı olarak izlenilmesine olanak sağlamaktadır. Bu sayede operasyon anında hızlı reaksiyon alınması, kontrol dışı hareket ve durumların izlenilmesine fayda sağlamaktadır.

QGround Controller yazılımı sayesinde drone üzerinde bulunan ve uçuşu etkileyen parametrelerin online olarak kontrol edilmesi ve değiştirilmesi olanağını sunmaktadır. Uçuş anında kullanılacak modların seçilmesi, aracın uçuş esnasında davranışlarının kontrol edilmesini sağlamaktadır (Konar ve Kekeç, 2021).

Hava aracının otonom modda kullanılmasında, havada aracın gideceği rota ve bu rota boyunca aracın yapacağı manevra ve tepkilerin planlanmasını ve araç üzerinde bulunan uçuş kontrol kartına yüklenmesini kolay bir şekilde sağlamaktadır. Bu yazılım hava aracı ile kablosuz bir şekilde bağlı olarak kalması, uçuş esnasında aracın anlık konum, yükseklik, hız gibi verilerin görüntülenmesini operatöre sunmaktadır. Şekil 3.21'de *QGround Controller* Arayüz görseli verilmiştir. Bu verilerin anlık olarak uçuş esnasında takip etme olanağının bulunması uçuşun güvenli bir şekilde gerçekleşmesi için önem arz etmektedir.



Şekil 3.21. QGround Controller Arayüzü

QGround Controller yazılımı sayesinde operatörler drone yazılımının güncellemesini ve yeni özelliklerinin araca yüklenmesini, kullanılmasını sağlamaktadır.

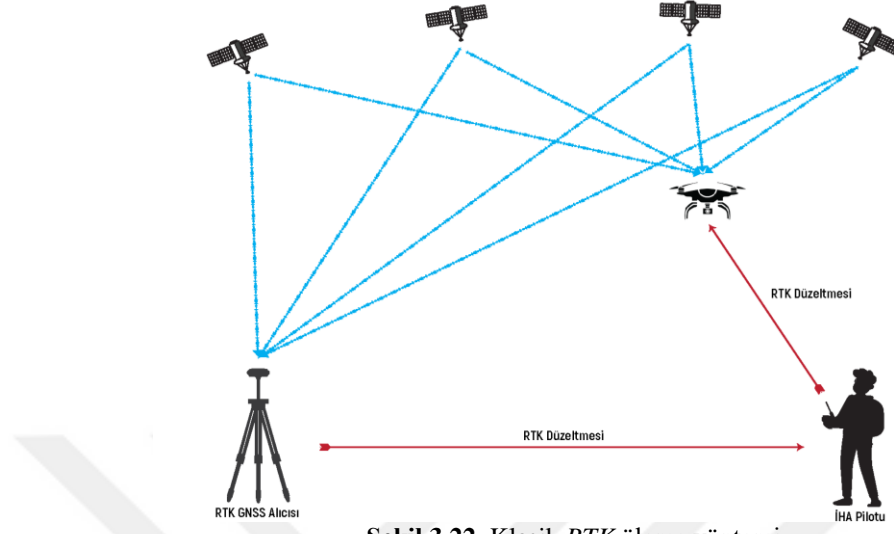
3.3.4. Hassas konumlama sistemi

Hassas konumlama sistemi, gerçek zamanlı olarak uzay *segmentinde* yer alan farklı uydulardan alınan sinyaller dünyada bulunan monitörlere gönderilir. Burada monitörlere ulaştırılan bu sinyaller filtrelenerek tekrar uydulara gönderilerek kullanıcı *segmentine* ulaştırılması sağlanır. Bu verilerin filtrelenerek tekrar ulaştırılması çok kısa sürelerde gerçekleştirilmektedir. Kullanıcı *segmentinde* bulunan cihazlar uydulara ulaştırılan kullanıcı *segmentine* ait bu sinyaller içerisinde kaliteli sinyalleri kullanarak *GPS* sistemini oluşturur.

GPS sistemi, dünya üzerinde bulunan cihazların konum bilgisini saptayabilmek için *trilaterasyon* işlemini kullanmaktadır. Bu işlem, bir uydudan gönderilen sinyal ile aralarındaki mesafenin ölçünü ile başlar. İlk uydudan alınan mesafe bilgisinin ardından ikinci uydudan gelen sinyal ile 2 ortak nokta bulunmuş olur. Bu işlem kesin konumumuzu bulmaya yeterli değildir. Ardından 3. uydunun da bağlanması ile bu üç mesafe kullanılarak kesin yer tespiti elde edilir.

RTK ölçüm yöntemi, koordinatları bilinen bir referans noktasında bulunan yer istasyonu ile hedef noktaların koordinatlarını belirleyecek gezici alıcıdan oluşmaktadır. *RTK* uygulamasında gezici alıcı tarafından üretilen faz ölçüleri ile referans

istasyonlarından gönderilen düzeltme ölçüleri ile konum bilgisi anında hassas olarak belirlenir. Bu yöntem temsili olarak Şekil 3.22’de görsel olarak verilmektedir.



Şekil 3.22. Klasik RTK ölçme yöntemi

RTK yöntemi doğruluğu gezici alıcı ile referans istasyonu arasındaki mesafeye bağlı olarak değişmektedir. Gezici alıcı ile referans istasyonu arasındaki mesafenin 20 km’yi geçmemesi istenmektedir (Cankurt, 2016).

Bu yöntem uydudan gelen kaliteli sinyallerin işlenilerek referans noktasında hesaplama yapan cihazın gezici alıcı belirtilen sisteme aktarılması ile hassas tespitini gerçekleştirilmesini sağlamaktadır.

Bu tez çalışması kapsamında üretilen insansız hava aracının otonom uçuş esnasında hassas konumlama gerçekleştirebilmesi için GNSS kullanılması gerekmektedir. GNSS yöntemi için hassas konumlamaya sahip RTK ve M+ kullanılmıştır. Bu kullanılan küresel konumlama sistem ile konum hassasiyeti cm miktarına indirilmiştir. Bu sistemin kullanılması için RTK modül ’den iki adet kullanılması gerekmektedir. Sistemde Emlid Reach M+ Tallysman GNSS anten kullanılmıştır. RTK sisteminin hassas bir şekilde çalışabilmesi için antenin görev bölgesinden 10 ile 15 cm arasında olması gerekmektedir. Bu tez çalışması kapsamında kullanılan insansız hava aracının otonom uçuşu sırasında cm ve mm düzeyinde hassasiyeti sağlayabilmesi için kullanılan telemetri sistemi 915 Mhz frekans bandında kullanılarak gezici ve referans istasyon arasında bağlantı sağlanmıştır. Hassas konumlama için kullanılan bu cihazlar L1, L2 ve L5 bantlarını desteklemektedirler. RTK sisteminde bulunan bu bant gösterimi Şekil 3.23’te verilmiştir.



Şekil 3.23. RTK Sinyal Kalitesi

İnsansız hava aracı üzerinde bulunan *Reach M+* cihazı uçuş kontrol kartı ile üzerinde bulunan *USB* portu ile bağlanmaktadır. Bu bağlantı ile aktarılan verilen IP sistemi üzerinde *RTCM 3.0* protokolüyle *NMEA* verilerine dönüştürülerek *UART* bağlantısı ile telemetri sistemiyle haberleşme sağlatılarak veriler *GPS* sistemiyle kontrol edilmektedir. Kontrol ile verilerin kalitesi yüzde 50 üzerinde ise o uyduya ait veriler kullanılmaktadır.

3.4. Yangın Söndürmede Kullanılan Teknolojiler

Yangın çağımızın en büyük afetleri arasında bulunmaktadır. İnsanoğlu yangın ile mücadelede kullanılan yöntemleri çağlar boyunca geliştirmeye çalışmaktadırlar. Dünya üzerinde yaşanan teknolojik gelişmeler bu alanda da kullanılan yöntemlerde ilerleme kat edilmesine olanak sağlamıştır. Bu alanda kullanılan yöntemler arasında, su tabanlı söndürme, gaz söndürme, yüksek basınçlı su, toz söndürme sistemleri bulunmaktadır. Yangında kullanılacak bu yöntemler yangının çıkış noktasına, yangının oluşma tipine, yangının oluştuğu nokta gibi özelliklere göre değişmektedir.

3.4.1. Su Tabanlı söndürme sistemleri

Yangın söndürme sistemleri arasında en yangın olarak kullanılan yöntemdir. Yangının bulunduğu bölgeye havadan suyun bırakılması ya da yerden suyun püskürtülmesi ile yangının bulunduğu bölgedeki ısının ve yanıcı maddenin ısısının düşürülmesi ile yangının devam etmesini engelleyen bir sistemdir. Bu sistem kullanıldığı alana göre kullanım şekli ve kullanılan ekipmanlar değişmektedir. Evlerde, fabrikalarda, açık alanlarda ve orman yangınlarında kullanılmak üzere kullanım şekillerinde değişiklik göstermektedir. Ülkemizde ve dünyada görülen orman yangınlarında da bu

yöntem sıkça kullanılmaktadır. Hava araçları (Uçak, Helikopter) üzerine eklenen ekipmanlar ile orman alanında başlayan ve devam eden yangınlara havadan suyun bırakılması şeklinde kullanılmaktadır (Kılıç, 2003). Şekil 3.24'te yangın söndürmede kullanılan bir hava aracı görülmektedir.



Şekil 3.24. Yangın Söndürme Helikopteri

3.4.2. Gaz söndürme sistemleri

Yangın söndürmede kimyasal bazlı gaz kullanılan bir diğer yöntemdir. Yangının çıktığı bölgeye kimyasal bazlı gaz püskürtülerek ateş ile oksijen arasında teması keserek yangının sönmesine olanak sağlamaktadır. Bu yöntemde kullanılan gazlar yangın olarak karbondioksit (CO_2), Argon (Ar), Azot (N_2)'dur. Bu yöntem genellikle endüstriyel tesisler, Arşivler ve veri merkezleri gibi hassas söndürme gerektiren ortamlarda kullanılmaktadır. Şekil 3.25'te Gaz söndürme sistemine sahip bir veri merkezi görseli verilmiştir.



Şekil 3.25. Gaz Söndürme Sistemi

3.4.3. Yüksek basınçlı su söndürme sistemleri

Sisteme eklenen bir pompa yardımıyla suyun basıncı artırılarak su uçları ile yangın üzerine püskürtülerek yangının söndürülmesini sağlayan sistemdir. Bu yöntem genellikle binalarda, gemilerde, endüstriyel tesislerde ve çimento fabrikalarında kullanılmaktadır (Mawhinney ve Solomon, 1997). Bu sisteme örnek olarak endüstriyel bir tesiste devreye girmiş yüksek basınçlı su söndürme sistemi Şekil 3.26’da verilmiştir.



Şekil 3.26. Yüksek Basınçlı Su Söndürme Sistemleri

3.4.4. Toz söndürme sistemleri

Özel bir kimyasal tozun yangın bölgesine püskürtülmesiyle yangını söndürmeyi amaçlayan bir diğer yangın söndürme sistemidir. Bu sistemde kullanılan kimyasal toz yangının oksijenle arasındaki teması keserek yangının sönmesini sağlamaktadır. Sistemin kullanıldığı alana göre içerisinde kullanılan kimyasal toz mono amonyum fosfat ya da *alkali klorid* grubu olarak değişim göstermektedir. Bu sistem çoğunlukla elektronik sistemleri bulunduğu, Elektrik panoları gibi alanlarda kullanılmaktadır. Elektrik panolarında kullanılan toz söndürme sistemine örnek bir görsel Şekil 3.27’de verilmiştir.



Şekil 3.27. Toz Söndürme Sistemleri

3.5. İnsansız Hava Aracı Tasarımı

İnsansız hava araçları, uzaktan operatör kontrolü olacak şekilde ya da herhangi bir insan desteği olmadan otonom şekilde uçuş yapabilen araçlardır. İHA'lar ticari, sivil, askeri ve özel uygulamalarda olabilecek gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Bu araçlar özel uygulamalar içinde o alana uygun şekilde tasarlanarak kullanılabilirler.

İnsansız hava araçları mekanik tasarımının temelini, aracın kullanılacağı alan, amaç ve yapacağı görevi belirler. Bu araçlar askeri, tarım, gözetleme, fotoğrafçılık gibi birçok alana göre tasarlanıp ve kullanılmaktadır. Hava araçlarının kullanılacağı alan ve yapacağı görevler, aracın uçuş süresi, boyutu, faydalı yük taşıma kapasitesi gibi birçok parametreyi belirlemektedir. İnsansız hava aracı tasarımında etken olan başlıca başlıklar, istenilen otonom yetenekler, uçuş performansı, görev, güç sistemleri, iletişim ve kontrol sistemleri ve navigasyon ve donanım sistemleridir (Sezgin, 2017).

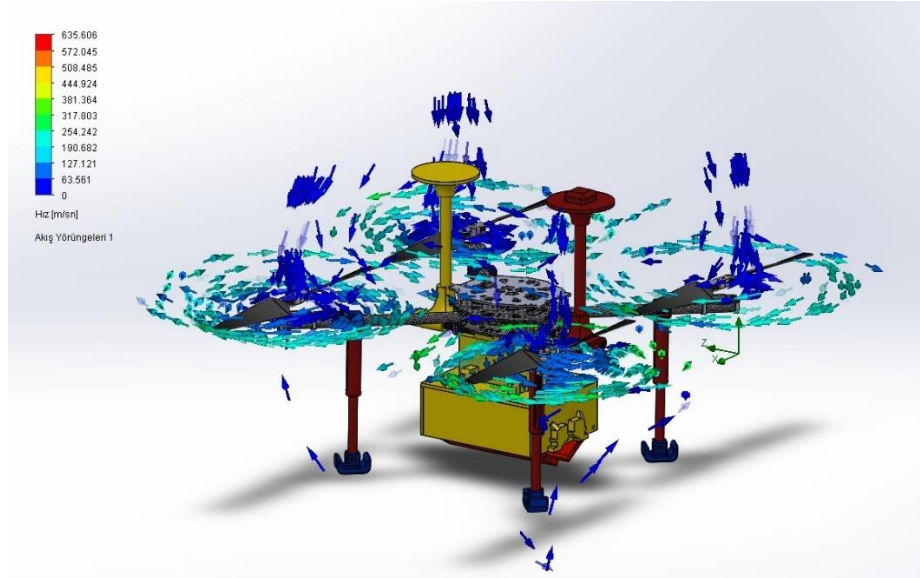
Hava aracı tasarımda başlıca etkenlerden olan otonom yetenekler, aracın gerçekleştireceği göreve, görev için uçuş yapılacak alana ve uçuş kabiliyetine bağlı olarak belirlenmektedir. Bu etkenler, araçta kullanılacak uçuş kontrol kartını, kanatları, boyutunu, kullanılacak uçuş kontrol yazılımını ve faydalı yük taşıma sisteminin tasarımını da etkilemektedir. Tasarımda etken olan uçuş performansı, İHA'nın faydalı yük taşıma kapasitesi, uçuş hızı, uçuş irtifası ve uçuş menziline bağlı olarak belirlenmektedir. Bunlar araç tasarımında kullanılan kanatlar, pil, motor, aerodinamik özellikler ve haberleşme gibi özelliklerin belirlenmesinde etkindir. İHA'lar gözetleme, arama kurtarma, askeri, tarım ve taşıma gibi birçok alanda görevler için kullanılmaktadır. Bu görevler doğrultusunda aracın tasarımın aşamaları belirlenmektedir. Hava aracının tasarımında kullanılacak motorlar ve güç sistemleri, araçta kullanılacak bataryanın elektronik hız kartını ve pervanelerin tasarımlarını belirlemektedir. Bu güç sistemlerinin seçimi esnasında hava aracının üzerinde taşınacak faydalı yük ağırlığını belirleyeceğinden seçim esnasında bu parametrenin dikkate alınması gerekmektedir.

İHA tasarımında etken olan iletişim ve kontrol sistemlerinin belirlenmesinde, aracın uçuş menzili, uçuş modu (otonom, yarı otonom ve manuel) ve uçuş esnasındaki veri alışverişi verileri etkili olmaktadır. Navigasyon ve donanım sistemlerinin tasarlanmasında, İHA'nın kullanılacağı görev, uçuş esnasında toplanacak veriler ve uçuş için istenilen uçuş hassasiyetine göre tasarlanmaktadır. Hava araçları üzerinde tasarıma göre ivmeölçer, manyetometre, *GPS*, kamera, tarayıcılar, termal kameralar ve *jiroskop* gibi birçok sensör eklenebilmektedir.

3.5.1. İnsansız hava aracı tasarımı ve analizi

Bu tez çalışması kapsamında geliştirilen dört rotorlu İnsansız hava aracının tasarımı tasarım programı ile yapılmıştır. Bu tasarım programının sunmuş olduğu aerodinamik test verileri ile tasarım esnasında oluşabilecek hata payı düşürülmüştür. Hava aracı mekanik yapısı, kanatlar, faydalı yük taşıma sistemi ve araç gövdesinden oluşmaktadır. Kanatlarda bulunan motorların uçuş esnasında oluşturacak yüksek moment ve kuvvetlere karşı kanatların dayanabilmesi için kanatın yapılacağı maddenin bunlara uygun bir şekilde seçilmesi gerekmektedir. Bu seçim yapılır iken maddenin ağırlığı da göz önünde tutularak, aracın toplam ağırlığına bakıldığında dezavantaj sağlaması da gerekmektedir. Bu veriler doğrultusunda kanatlar ve araç gövdesinin yapılacağı ham madde karbon fiber kompozit seçilmiştir. Bu seçilen maddenin yüksek dayanıklılık ve düşük ağırlığa sahip olmasından dolayı projede kullanılması uygun görülmüştür. Ayrıca kullanılacak bu hammaddenin seçimi tasarım programında ağırlık ve dayanım hesaplamaları simüle edilerek seçilmiştir.

Tasarımı yapılan bu insansız hava aracının döner kanat şase tipi “Quadrotor” (4 motorlu) olarak seçilmiştir. Tasarım programı ile bire bir üretim ölçüleri ile tasarımı gerçekleştirilen insansız hava aracının aerodinamik analizi Şekil 3.28’de verilmiştir. Tasarım esnasında faydalı yük taşıma sistemi dâhil edilmediğinden dolayı sisteme eklemeler ve çıkarmalar uygulanmıştır.



Şekil 3.28. İnsansız Hava Aracı Aerodinamik Analizi

Hava aracı otonom bir şekilde iniş/kalkış yapabileceğinden ve iniş/kalkış yapacağı alanın belirsizliğinden dolayı iniş takımı bozuk alanlara uygun ve iniş anında çarpmanın oluşturacağı kuvveti sönümleyecek şekilde tasarlanmıştır. Bu kapsamda tasarımı yapılan süspansiyonlu iniş takımı Şekil 3.29’da verilmiştir. Bu sistem tasarımı yapıldıktan sonra 3D yazıcılar ile ABS maddesinden imalatı gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.29. İnsansız Hava Aracı İniş Takımı

İnsansız hava aracını oluşturan mekanik parçalar (Şase, Kanatlar, Faydalı Yük Taşıma Sistemi) tasarım programında ayrı ayrı üretimi yapılacak madde ve ölçüler doğrultusunda çizilerek kaydedilir. Ardından bu parçalar yine bu programdan tüm parçalar montaj elemanları da eklenerek montajı tamamlanır. Montajı yapılan bu parçaların oluşturduğu aracın program ile modellemesi yapılmış olur. Bu model ile tasarım programında *aerodinamik* analizi yapılarak aracın aerodinamik yapısı hesaplanmış olur. Şekil 3.30’da şase kısmının montajı yapılmış hava aracının modellemesi verilmiştir.



Şekil 3.30. İnsansız Hava Aracı Şase Tasarım Modeli

Tasarımı yapılan insansız hava aracının ve tez çalışması kapsamında bulunan ekipmanların ve donanımların maliyet analizi yapılması sonucunda, tasarıma bire bir uygunluğu ve düşük maliyetinden dolayı piyasada *Tarot 650 Ironman* geçen kompozit yapıya sahip gövde kullanılması uygun görülmüştür. Aracın tasarım ve analizleri bu kasa tipine uygun şekilde gerçekleştirilmiştir. Hava aracı tasarımında en önemli faktörlerden arasında ağırlık faktörü bulunmaktadır. Hava aracına üzerinde bulunan sistemlere ait ağırlıklar ve toplam ağırlık Çizelge 3.5’de verilmiştir.

Çizelge 3.5. İnsansız Hava Aracı Sistem Ağırlıkları

Malzeme	Ağırlık (gr)
<i>Navio 2 + Raspberry pi 4</i>	150
Alicı	50
Şase (iskelet)	900
Motor (x4)	700
ESC (x4)	200
Pervane (x4)	100
Pil	875
İniş Takımı(x4)	200
Alfa Modem	30
RTK Sistemi	50
Faydalı Yük	500
Kablolar	30
Toplam	3.875 Gr.

İnsansız hava aracına ait tork, itki ve moment hesaplamaları araç üzerinde bulunan malzemelerin ağırlıkları doğrultusunda yapılmaktadır. Araç üzerinde kullanılan malzemeler ve ağırlıklara göre yapılan ani yük hesaplaması eşitlik 3.1’de verilmiştir. Bu eşitlikte, V batarya voltajını, I bataryanın maksimum akım değeri ve R değeri sabit 1 değerini belirtmektedir.

$$V = IxR \quad (3.1)$$

Alınan maksimum akım seviyesine göre oluşan gücün hesaplanması eşitlik 3.2’de verilen denkleme göre hesaplanmıştır. Bu denklemde verilen V değeri batarya voltajını, I değeri sistemde kullanılan motorların çekebileceği maksimum akım değerini belirtmektedir. Sistemimizde kullanılan motorların çekebileceği maksimum akım değeri (16 inç pervane için) 31,2 A’dır.

$$P = VxI \quad (3.2)$$

Bu değerler ile formül işlemi tamamlandığında sistemin aracın toplam g¼ değeri 756 W olduğu ortaya çıkmıştır. Sistemde kullanılan *ESC'lerin* seçimi için motorların çekebileceği maksimum akım değerinin üstü seğilmek zorundadır. Bu yüzden kullanacağımız *ESC'ler* için minimum 40 A olarak seğilmiştir.

Bu tez çalışması kapsamında kullanılan insansız hava aracı için motor ve sürücü değerlerinin belirlenmesi ile uçuş süresi hesaplaması yapılabilmesi için motor başına düşen ağırlığın toplam amper değerinin 4 ile çarpılması sonucunda bulunmaktadır. Bu hesaplamalar için tasarımı yaptığımız insansız hava aracına ait veriler;

- Anlık yük akımı: 31,2 A
- %50 akım değeri: 16,1 A
- Hava aracı toplam ağırlık değeri: 3.875 Gr.
- Pil kapasitesi: 6000 mAh
- Bir motor başına düşen ağırlık: 968,75 gr.
- Bir motor başına 968,75 gr. için düşen akım değeri: 4.7 A
- 4 motor için anlık çekilen akım miktarı: 18,8 A

Uçuş süre hesaplamasının yapılabilmesi için hava aracı üzerinde bulunan motorların toplam çektiği akım değerinin toplam pil kapasitesinin %80 değeri ile hesaplanmaktadır. Toplam pil değerinin %80 ile hesaplanma nedeni, bu pillerin *nominal* değerin altına düşmesi durumunda ciddi zararlar oluşturmasındandır. Bu piller için voltaj değerleri bir hücre için minimum 3.7 V, maksimum 4.2 V olarak belirtilmektedir. Uçuş süresi hesabı için kullanılan formül eşitlik 3.3'te verilmiştir. Bu formül içerisinde bulunan pil kapasite değerimiz 4800 mAh'dir. Motorların çektiği toplam akım değeri 18.8 Amperdir. Bu veriler doğrultusunda hava aracımız için çıkan uçuş süresi 15,3 dakikadır.

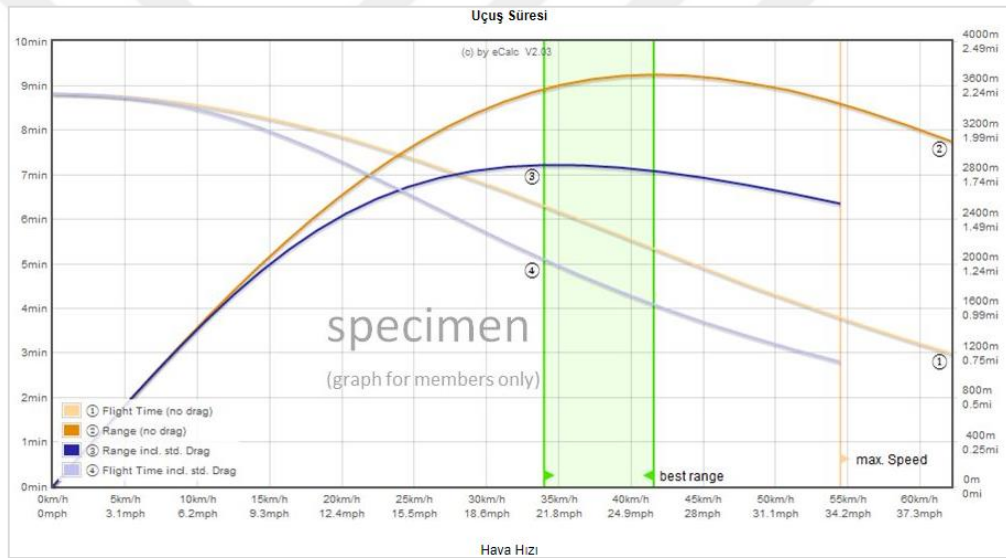
$$\text{Uçuş Süresi} = \frac{\text{Pil Kapasite Değeri}}{\text{Motorların Çektiği Akım}} \times 60 \text{ (dk)} \quad (3.3)$$

$$Anma Gerilimi = Maksimum Voltaj Değeri \times Hücree Sayısı \quad (3.4)$$

Sistemde kullanılan pilin verebileceği maksimum akım değeri hesabı eşitlik 3.5'te verilmiştir. Verilen bu formül ile hesaplandığında sistemde bulunan pil sisteme maksimum 168 A verebilmektedir. Nominal voltaj kapasite değeri ise 42 A'dır.

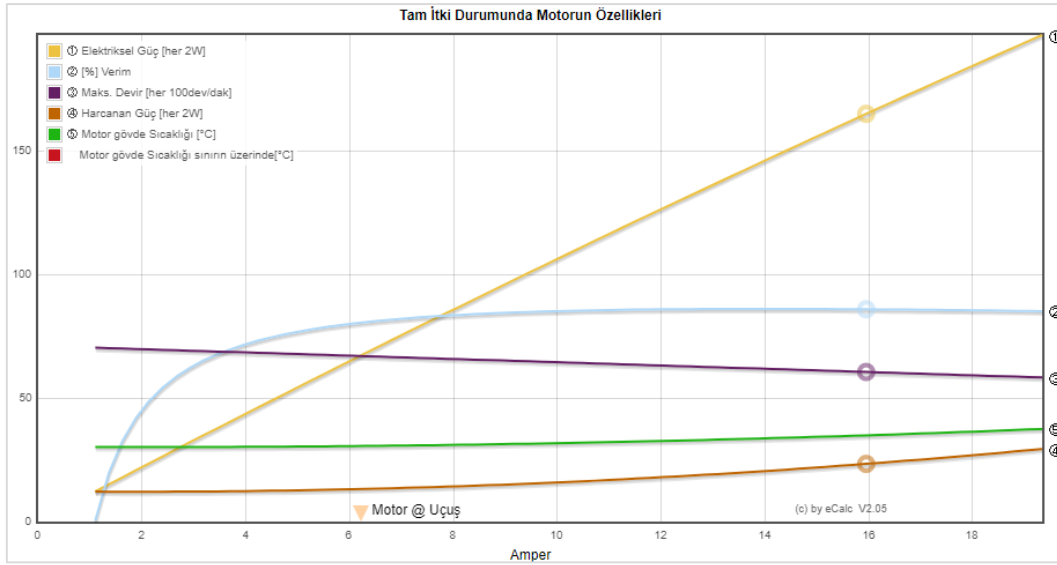
$$Pil Maksimum Akım Değeri = (Pil Kapasitesi \times 0,8) \times Akım Gücü Kapasitesi \quad (3.5)$$

Bu tez çalışması kapsamında üretilen insansız hava aracının optimum elektriksel güç hesaplama formülü eşitlik 3.1'de verilmiştir. Bu eşitlikte bulunan ortalama gerilim değeri 22,2 V ve sistemde kullanılan motorların optimum yük değeri 16.8 A olarak hesaplanmıştır. Bu hesaplama sonucunda optimum elektriksel güç 372,96 W çıkmıştır.



Şekil 3.33. Uçuş Süresi Grafiği

Şekil 3.33'de İnsansız hava aracına ait uçuş süresi grafiği sunulmuştur. Grafik üzerinde araca ait optimum uçuş hızı aralığı ve maksimum uçuş hızına göre değişen uçuş süresi değişimi verilmiştir.



Şekil 3.34. Maksimum itki ve Güç tüketim grafiği

İnsansız hava aracının tam itki durumunda motorların oluşturacağı itki kuvveti ve güç tüketim grafiği Şekil 3.34'te verilmiştir. Bu grafik uçuşun optimum uçuşun gerçekleştirilmesi hakkında kullanıcıya bilgiler sunmaktadır.

3.6. Yangın Tespiti

Yangın tespiti, yangına müdahaledeki ilk ve önemli adımlardan birisidir. Yangın tespiti gün geçtikçe güncellenen teknolojik gelişmeler neticesinde gelişmelere uğramaktadır. Dünya genelinde sıklıkla sensörler vasıtasıyla bu tespitler yapılmaktadır. Bu sensörler ısı, duman, alev, gaz ve uydu olarak ayrışmaktadır. Yangın tespitinde kullanılan bu sensörler, yangın tehdidinin bulunduğu alanlara uygun şekilde seçilmektedir. Ülkemizde ve dünyada büyük kayıplara yol açmakta olan orman yangınlarında İnsansız hava araçları, Uydu görüntüleme, Orman içerisine yerleştirilmiş sensörler ve yer istasyonları gibi yüksek teknolojik ürünleri içerisinde barındıran sistemler kullanılmaktadır (Yuan ve ark., 2016).

Orman yangınları tespitinde kullanılan İHA teknolojisi sayesinde birçok büyük yıkımlara yol açabilecek yangınlar erkenden tespit edilerek oluşturacağı yıkıma engel olunmaktadır. Bu tespit sistemleri içerisinde kullanılan hava araçları üzerinde bulunan termal görüntüleme sistemleri ve yüksek çözünürlüklü kameralar sayesinde yangının çıkış noktası, yayılma hızı ve şiddeti gibi birçok veriye sahip olunmaktadır. Bu araçların üzerinde bulunan bir diğer özellik olan anlık veri ve görüntü paylaşımı sayesinde, yangının tespiti hızlı bir şekilde yetkililere bildirilmektedir. Hava araçlarının uçuş

yüksekliğine ve rotasına göre geniş tarama alanlarına sahip olması da bir diğer avantaj olarak sayılmaktadır.

Yangın tespit sistemleri olarak kullanılan bir diğer yöntem ise uydu sistemleridir. Uydu üzerinde bulunan termal sensörler sayesinde ve uzak mesafesinden geniş tarama alanına sahip olması bu sistem için geniş kullanım alanı sunmaktadır. Yine bu sistemde de kısa sürede tespit edilen tehdidin gerekli kurum veya kişilere bildirilmesi ile tahribatın azaltılması sağlanmaktadır. Yangın tespit sistemleri arasında bulunan bir diğer sistemde ağ tabanlı sensör ağlarıdır. Ormanın belirli bölgelerine yerleştirilen ve birbirleri arasında iletişimi kurulan gaz, duman veya termal algılama sensörleri ile yangının hızlı şekilde tespit edilmesi sağlanmıştır (Aydın ve ark., 2019).

Orman yangınları için kullanılan diğer yöntem ise yer istasyonlarıdır. Orman içerisine yerleştirilen ve içerisinde gaz, duman sensörleri ve termal kameralar sayesinde yangın tespiti yapılabilmektedir.

Bu çalışma kapsamında yangın tespit sistemleri arasında bulunan İHA sistemleri kullanılmıştır. Diğer yöntemlere göre maliyet, geniş görüş alanı ve hızlı hareket kabiliyeti gibi özelliklere sahip olması bu sistemin kullanımını arttırmaktadır.

3.6.1. Hassas yangın tespiti

Bu tez çalışması kapsamında yangın tespiti için üstün özellikleri ve yüksek çözünürlüğe sahip termal kamerası bulunan insansız hava aracı tercih edilmiştir. Tasarımı, yüksek kalite kamera sistemleri ve üstün uçuş özelliklerine sahip olmasından dolayı yangın tespit çalışmalarında kullanılması uygun görülmüştür.

Yangın tespiti için kullanılan insansız hava aracı, katlanabilir tasarımı ve 7,5 kg ağırlığı ile taşıma kolaylığı sağlamaktadır. Maksimum uçuş yüksekliği 2500 metreye sahip olması, dağlık ve ormanlık arazi koşullarında uçuş kolaylığı sağlamaktadır. Bünyesinde barındırdığı hassas konumlandırma sistemleri ve uçuş için gelişmiş sensörler sayesinde kullanım kolaylığı ve üstün görev kabiliyeti sağlamaktadır.

Bu insansız hava aracı üzerinde bulunan kamera sisteminde bulunan, 20 MP çözünürlüklü kamera, lazer mesafe ölçer (*LRF*), termal kamera ve hassas nokta ölçer (*LDM*) sensörleri sayesinde keşif, arama kurtarma, yangın tespiti ve haritalama gibi uygulamalarda kullanılmaktadır. Ayrıca üzerinde bulunan termal kamera ile gece veya düşük görüş mesafesi bulunan durumlarda ısı tespiti sayesinde arama kurtarma ve yangın tespit çalışmalarında avantaj sağlamaktadır. Bu termal kamera tez çalışması kapsamında

yangın tespiti için kritik öneme sahip olan termal kamera 650 x 512 çözünürlüğe sahip ve 2x, 8x optik yakınlaştırma özelliğine sahiptir. Kullanılan bu kameranın sıcaklık algılama hassasiyeti 5m mesafe için +/- 2°C 'dir.

İHA, üzerinde barındırdığı yüksek teknoloji kameralar ve sensörler sayesinde çarpışmalara karşı otomatik koruma sağlamaktadır. Bu özellik ormanlık ve rotanın öngörülemeyen görevlerde aracın hasar almasını ve görevi başarıyla gerçekleştirmesine olanak sağlamaktadır. Ayrıca üzerinde barındırdığı diğer özellikler de otomatik hedef takibi yapmakta ve anlık olarak gerçek zamanlı görüntüleme özelliklerine sahiptir. Şekil 3.35'te bu tez çalışması kapsamında yangın tespiti için kullanılan termal kameralı insansız hava aracı verilmiştir.



Şekil 3.35. Yangın Tespitinde Kullanılan Termal Kameralı İHA

3.7. Bulanık Mantık Destekli Karar Destek Sistemi

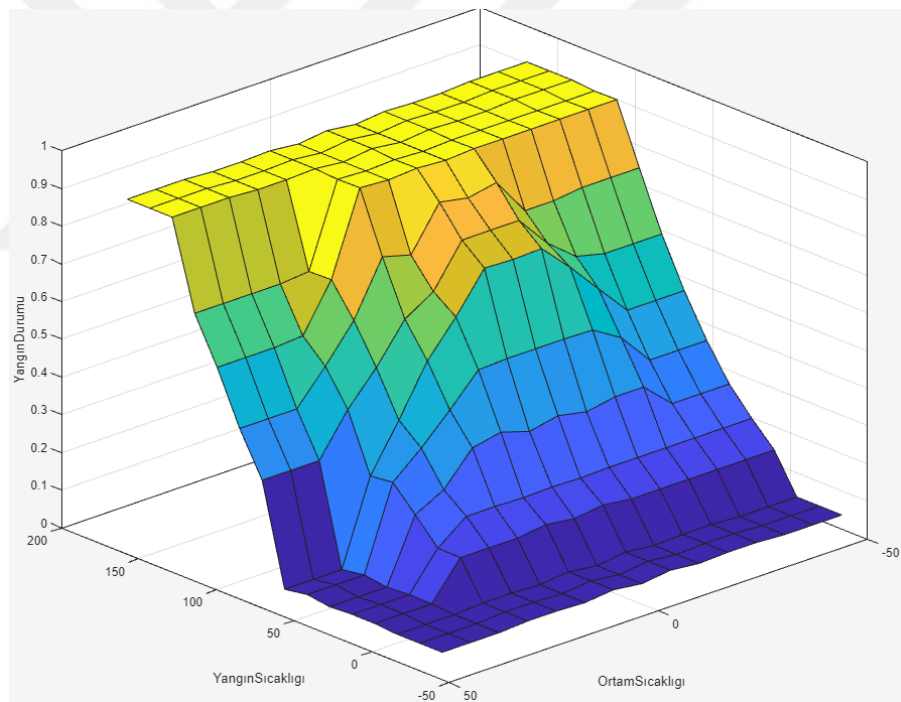
Bu tez çalışması kapsamında elde edilen veriler ile bulanık mantık destekli karar destek çalışmasının tasarımı yapılmıştır. Sonuçlar kısmında Çizelge 5.1'de bulunan yangın ve ortam sıcaklığının verileri sisteme girdi olarak kabul ettirilerek dâhil edilmiştir. Sistemin çıkışında 5 farklı risk durumu oluşturulmuştur. Bunlar, çok düşük risk, düşük risk, orta risk, yüksek risk ve çok yüksek risk olarak belirlenmiştir. Bu veriler doğrultusunda Çizelge 3.7'de verilen kural tablosu oluşturulmuştur.

Çizelge 3.6. Kural Tablosu

		YANGIN SICAKLIĞI				
		Çok Düşük Risk	Düşük Risk	Orta Risk	Yüksek Risk	Çok Yüksek Risk
ORTAM SICAKLIĞI	Çok Düşük Risk	ÇD	D	O	ÇY	ÇY
	Düşük Risk	ÇD	D	Y	ÇY	ÇY
	Orta Risk	ÇD	D	Y	ÇY	ÇY

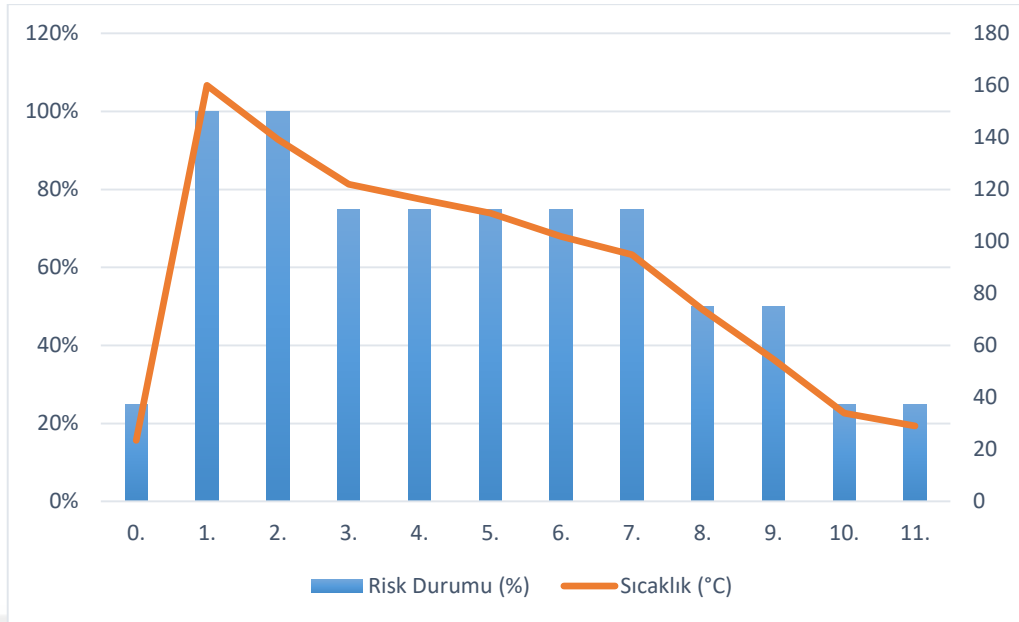
Yüksek Risk	ÇD	ÇD	ÇY	ÇY	ÇY
Çok Yüksek Risk	ÇD	ÇD	ÇD	O	ÇY

Oluşturulan bu bulanık mantık temelli karar destek sistemi yangın söndürme topunun patlamasının ardından, yangın alanından alınan verileri işleyerek yangın ile ilgili risk durumu hakkında çıktı sağlamaktadır. Bu karar neticesinde yangının etkisini yitirdiği (düşük risk) ya da yangının tekrar etkileşime geçtiği (yüksek risk) verileri sisteme sunmaktadır. Simülasyon ortamında oluşturulan bu sistemin kontrol grafiği şekil 3.36'da verilmiştir. Sistem girdileri için ortam sıcaklığı değer aralığı -46.4°C ile 49.1°C olarak belirlenmiştir. Oluşturulan bulanık karar destek sistemi kısmi imkanlarla insansız hava aracımıza dahil edilememekle birlikte gelecek çalışmalarda kullanılabilceği öngörülmektedir.



Şekil 3.36. Bulanık Mantık Destekli Karar Destek Sistemi Grafiği

Bu tez çalışması kapsamında belirtilen yangın söndürme işlemi tamamlandıktan sonra elde edilen veriler sisteme yüklenmiş ve simüle edilmiştir. Çıktı olarak aldığımız sonuçların karşılaştırması Şekil 3.37'de verilmiştir.



Şekil 3.1 Bulanık Mantık Destekli Karar Destek Sistemi Karşılaştırma Grafiği

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Yangın söndürme çalışmalarında, yeni nesil teknolojiler kullanılarak yangına müdahale sürelerini kısaltılmaktadır. Bu teknolojik gelişmeler ile ulaşılması güç olan noktalara hızlı ve etkin bir şekilde müdahaleler sağlanmakta ve bu sayede yangının büyümesi ve genişlemesi engellenmektedir. Yangın ile mücadelede kullanılmaya başlayan İHA yangın söndürme işlemlerinde ve söndürmeye destek sistem olarak kullanılarak bu mücadelede etkin bir rol oynamaktadır.

Ülkemizin coğrafi yapısından ve sahip olduğu bitki örtüsünden dolayı barındırdığı ormanlık arazilerde başlayan yangınların tespiti ve müdahalesinde bulunan güçlüklerden dolayı her sene milyonlarca hektar alanın yangından dolayı zarar görmektedir. Bu yangınlar, ülkemizin iklim ve bitki örtüsünü büyük oranda bozan etkenlerin başında gelmektedir. Ayrıca bu bölgelerde yaşayan canlıların zarar görmesinden kaynaklı olarak doğal yapının ve ekolojik dengenin bozulmasına neden olmaktadır. Bu sebepler ile birlikte zorlu arazi koşullarında bulunması tespit edilen yangına mücadele noktasında büyük zorluklar ve müdahalede gecikmelere neden olmaktadır.

Bu çalışma kapsamında ilk olarak otonom olarak belirlenen rotalarda ve sürelerde görev alacak bir insansız hava aracı ile oluşmakta olan ya da başlayan yangınların tespiti yapılmaktadır. Yangının çıkış koordinatları hava aracı üzerinde bulunan termal kamera sayesinde tespit edilerek operatör tarafından kaydedilir. Belirlenen bu koordinatlar üzerinde yangına müdahalede kullanılan yangın söndürme topu taşıyan insansız hava aracına yüklenilerek otonom uçuşun başlaması sağlanır. Otonom uçuşun başlamasının

ardından bu tez çalışması kapsamında özel geliştirilen hava aracı belirlenen rotada ilerleyerek belirtilen noktaya ulaşır. Ardından programda belirtilen yüksekliğe eriştikten sonra üzerinde bulunan yangın söndürme topunu serbest düşüş ile yangının çıkış noktasına düşmesi sağlanacaktır. Yangın söndürme topunun yangının çıkış noktasına düşmesinin ardından yüksek ısı sonucunda patlayarak içerisinde bulunan kimyasal maddelerin yangına dağılmasıyla yangının söndürülmesine katkı sağlayacak bir destek ünitesi olarak kullanılmasına olanak sağlamıştır.

Yangın söndürme çalışmalarında en etkin yöntemlerin arasında kısıtlı bir alanda oluşan yangının çıkış noktasına etkin bir söndürme çalışması ile yangın kısa sürede söndürülmüştür. Bu çalışma ile erişilmesi güç noktalarda çıkan yangınlara kara yoluna göre daha hızlı ve etkin bir şekilde müdahale edilebileceğinden yangınların kısa sürede söndürülebilecektir. Bu sayede yangınlarla mücadele noktasında teknolojik gelişmelerde kullanılarak daha ekonomik, hızlı ve etkin yöntem geliştirilmiştir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışması kapsamında yeryüzünde ulaşımı zor noktalarda gerçekleşen yangınların tespiti ve müdahale edilmesi gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında bir adet dört rotorlu insansız hava aracı tasarımı ve imalatı yapılmıştır.

İnsansız hava aracının birçok parçasının tasarımı yapılmış ve 3 boyutlu yazıcıdan imal edilmiştir. Hava aracı tasarımı uçuş süresi, faydalı yük, hız gibi parametreler hesaplamalara dâhil edilerek gerçekleştirilmiştir. Tasarım neticesinde imalatı gerçekleştirilen insansız hava aracı Şekil 5.1’de verilmiştir.



Şekil 5.1. Tez Çalışması Kapsamında İmalatı Gerçekleştirilen İHA

İmalatı gerçekleştirilen insansız hava aracının iniş kalkış manevraları esnasında oluşacak darbe sonucunda üzerinde bulunan ekipmanların bundan zarar görmemesi için süspansiyon sistemi eklenmiştir. Bu eklenen süspansiyon sisteminde bulunan parçaların tasarım programı ile tasarlanmış ve 3 boyutlu yazıcıdan imalatı yapılmıştır. Süspansiyon sistemi montajı sonrası insansız hava aracı görseli Şekil 5.2’de verilmiştir.



Şekil 5.2. Montaj Sonrası İnsansız Hava Aracı

5.1. Sonuçlar

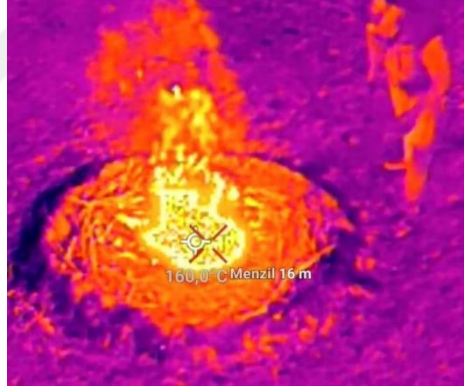
Bu tez çalışması için emniyetli bir alanda 1 metre çapında bir daire oluşturularak içerisinde yanıcı maddeler (kuru ot ve odun) yerleştirilerek yangın başlatılmıştır. Ardından tespiti için kullanılan insansız hava aracı ile alan termal kamera ile taranmaya başlamıştır. Kontrollü başlatılan yangın alanına yaklaşıldığında termal kamera üzerinde yüksek ısı tespit edilmiş ve insansız hava aracı ile belirli bir uzaklıktan yangının merkez noktasının koordinat bilgileri tespit edilmiştir. Tespiti yapılan konum bilgisi mevcut hava aracımıza manuel olarak operatör tarafından yüklenilerek ve rota planlaması yapılmıştır. Bu yükleme işlemi, Mission Planner programına koordinat verileri yüklendikten sonra uçuş için gerekli parametrelerin (Uçuş yüksekliği, Uçuş hızı) yüklenmesi sonrasında otonom modu seçilerek hava aracı üzerinde bulunan uçuş kartına programın yüklenmesi ile bir sonraki aşamaya geçilmiştir. Bu işlem ardından operatör tarafından kontrol edilen kumanda yardımı ile otonom uçuşa start verilerek görev başlatılmıştır.

Otonom olarak göreve başlayan insansız hava aracı belirtilen rotada belirtilen hızda ve yükseklikte ilerleyerek yangın tespiti yapılan konuma ulaşmıştır. İnsansız hava aracı üzerinde bulunan *RTK* sistemi sayesinde verilen koordinat noktasına doğrulama yaparak hassas bir şekilde yaklaşmıştır. Ardından üzerinde bulunan uçuş kontrol kartına elektriksel bağlantısı yapılmış olan ve faydalı yükü sabitleyen servo motora çıkış sinyali vererek faydalı yükün istenilen konuma serbest dşuş ile bırakmıştır. Hassas bir şekilde verilen koordinat üzerinden yağının çıkış noktasına serbest dşuş ile bırakılan yangın söndürme topunun yangına ulaştığı noktada patlaması sonucu içerisinde bulunan kimyasal maddeler ile yangının bulunduğu tüm alana yayılması sağlanmıştır. Yangın içerisine bırakılan yangın söndürme topuna ait patlama görüntüsü şekil 5.3'te verilmiştir. Bu sayede yangın büyümesi ve güçlenmesine olanak sağlamadan snmesi gerçekleşmiştir.



Şekil 5.3. Tez Çalışması Uygulama Görseli

Bu tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen uygulama esnasında yangın söndürme topunun yangın üzerindeki söndürme etkisi termal kamera ile sürekli takip edilmiş ve sıcaklık, rüzgâr hızı ve görünür uydu sayısı gibi veriler kayıt altına alınmıştır. Termal kameralı insansız hava aracından yangın alanında alınan termal kamera görüntüsü Şekil 5.4.'te verilmiştir.



Şekil 5.4. Termal kameralı İnsansız hava aracından alına yangın alanı görüntüsü

Elde edilen bu veriler Çizelge 5.1'de verilmiştir. Yangın söndürme topu yangın içerisine atıldıktan 9 saniye sonra patlama gerçekleşmiştir. Veri tablosundan da görüleceği üzere yangın söndürme topunun patlamasından sonra sıcaklıkta düşüş başlamış ve ortam sıcaklığına kadar düşmüştür. Bu sonuçlar neticesinde yangın söndürme işleminin başarı ile tamamlandığını görülmektedir.

Çizelge 5.1. Sonuç Verileri

ZAMAN (dk)	YANGIN SICAKLIĞI (°C)	RÜZGAR (km/s)	GÖRÜNÜR UYDU SAYISI	ÖLÇÜM MESAFESİ (m)	ORTAM SICAKLIĞI (°C)
0	23,5	16	20	15,9	20
2	160	16	19	16	21
5	139,3	18	20	15,9	20
9	122	17	18	15,7	21
11	116,3	18	16	15,7	21
13	110,9	18	18	15,5	21
15	101,9	18	19	11,6	20
20	94,9	14	16	15,8	21
25	73,7	13	17	15,7	20
28	54,7	15	15	15,8	20
32	34	16	15	15,7	20
34	29	16	16	15,3	20

Patlamanın gerçekleşmesinden sonra termal kamera ile belirli aralıklarla yangın üzerinden sıcaklık verileri alınarak yangının durum tespiti yapılmıştır. Bu tespitler yangın söndürme işlemlerinden sonra gerçekleştirilen soğutma çalışmalarında görevlilerin göz ile tespitini yapamadığı (sönmeyen yangın ya da kor gibi) durumlarda da etkin olarak avantajlı olduğu görülmektedir.

Yangın içerisine bırakılan yangın söndürme topunun yangının merkezine düşmemesi durumlarında gerekli ısın sağlanamayacağı için yangın söndürme topu işlevini gerçekleştiremeyecektir. Diğer bir durumda yangın içerisine atılan yangın söndürme topunun merkezin dışına (yangının köşe noktalarına) düşmesi durumlarında, yangın söndürme topu patlasa bile içerisinde bulunan kimyasal yangın içerisine homojen bir şekilde dağılmayacağı için başarı yüzdesi düşecektir. Bu durumlarda çalışmaların başarısızlıkla sonuçlanmasına neden olacaktır. Bu yüzden tez çalışması kapsamında kullanılan hassas konumlama sisteminin önemi yüksektir.

5.2. Öneriler

İnsansız hava araçları teknolojisi gün geçtikçe dünya üzerinde gelişmeler sağlamaktadır. Bu gelişmeler doğrultusunda hava araçlarının kullanımı daha geniş alanlara yayılmaktadır. Farklı alanlarda kullanımı artması ile kullanıldığı alana göre yeni gelişmeler sağlaması bu teknolojinin hızlı bir şekilde ilerlemesine olanak sağlamaktadır.

Bu çalışma kapsamında alınan sonuçlara göre insansız hava aracı üzerinde taşıma kapasitesinin artırılarak, araç üzerinde bulunan batarya teknolojisindeki gelişmeler doğrultusunda uçuş sürelerinin artırılmasıyla ve sistem üzerinde termal kameralar

yerleştirilerek daha uygun sonuçlar elde edilerek iyileştirilebilir. Ayrıca bu araçların taşıma kapasitesi artırılarak daha fazla faydalı yük taşıyarak yangın söndürme topunun söndürme kapasitesinin üstünde bulunan yangınlarda birden fazla alana yangın söndürme toplarını bırakarak daha başarılı söndürme işlemleri gerçekleştirilebilir.

Bu tez çalışması kapsamında İHA sistemine dâhil etmediğimiz bulanık mantık destekli karar destek sistemi İHA'lara dâhil edilerek destek sistemi güçlendirilebilir. Bu sayede destek sistemi daha etkili kullanılabilir.



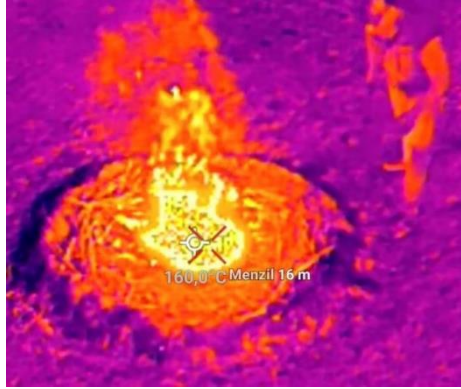
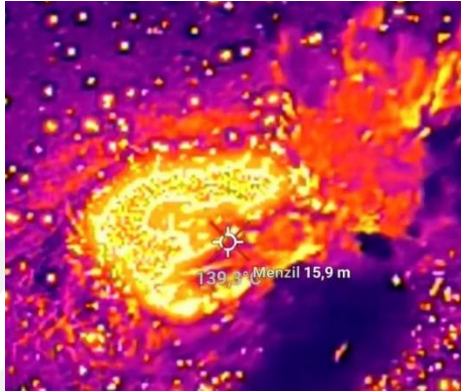
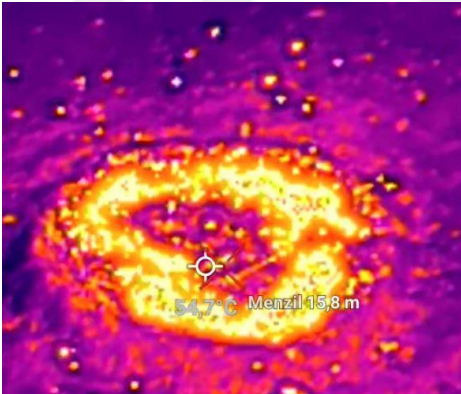
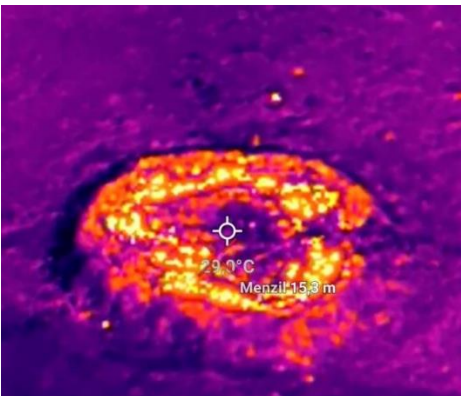
KAYNAKLAR

- Akhloofi, M. A., Couturier, A. ve Castro, N. A., 2021, Unmanned aerial vehicles for wildland fires: Sensing, perception, cooperation and assistance, *Drones*, 5 (1), 15.
- Ausonio, E., Bagnerini, P. ve Ghio, M., 2021, Drone swarms in fire suppression activities: A conceptual framework, *Drones*, 5 (1), 17.
- Aydin, B., Selvi, E., Tao, J. ve Starek, M. J., 2019, Use of fire-extinguishing balls for a conceptual system of drone-assisted wildfire fighting, *Drones*, 3 (1), 17.
- Bozkurt, E., Dandil, B. ve Fikret, A., 2020, Dört Rotorlu İnsansız Hava Aracının Kayan Kipli Denetleyici ve Geri Adımlamalı Denetleyici ile Yönelim ve Yükseklik Denetimi, *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 32 (1), 23-36.
- Cankurt, İ., 2016, GPS/IMU sistemlerinde konum belirleme tekniklerinin karşılaştırılması, *Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Göde, E., Kuşhan, M. C. ve Teoman, A., Kamikaze İnsansız Hava Araçları.
- Güngör, İ. ve İşler, D. B., 2004, Analitik Hiyerarşi Yaklaşımı İle Otomobil Seçimi, *Uluslararası Yönetim İktisat ve İşletme Dergisi*, 1 (2), 21-33.
- Hassler, S. C. ve Baysal-Gurel, F., 2019, Unmanned aircraft system (UAS) technology and applications in agriculture, *Agronomy*, 9 (10), 618.
- Jolly, W. M., Cochrane, M. A., Freeborn, P. H., Holden, Z. A., Brown, T. J., Williamson, G. J. ve Bowman, D. M., 2015, Climate-induced variations in global wildfire danger from 1979 to 2013, *Nature communications*, 6 (1), 7537.
- Jordan, J., 2021, The future of unmanned combat aerial vehicles: An analysis using the Three Horizons framework, *Futures*, 134, 102848.
- Karaağaç, C., 2014, Geleceğin Harekât Ortamında İHA Sistemleri: Askeri Uygulamalar & Teknoloji Gereksinimleri, III. Ulusal Havacılıkta İleri Teknolojiler Konferansı, İstanbul.
- Keane, A. J., Söbester, A. ve Scanlan, J. P., 2017, Small unmanned fixed-wing aircraft design: a practical approach, John Wiley & Sons, p.
- Kılıç, M., 2003, Yapılarda yangın güvenliği ve söndürme sistemleri.
- Konar, M. ve Kekeç, E. T., 2021, İnsansız Hava Araçlarının Uçuş Süresinin Termal Hava Akımları Kullanılarak Arttırımı, *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi* (23), 394-400.
- Leishman, G. J., 2006, Principles of helicopter aerodynamics with CD extra, Cambridge university press, p.
- Liu, Y., Zhang, F., Huang, P. ve Zhang, X., 2021, Analysis, planning and control for cooperative transportation of tethered multi-rotor UAVs, *Aerospace Science and Technology*, 113, 106673.
- Mawhinney, J. ve Solomon, R., 1997, Water Mist Fire Suppression Systems, Fire Protection Handbook, *National Fire Protection Association, Quincy, MA*.
- Mert, K., Yumuşak, R. ve Tamer, E., 2023, Anız yangınlarına müdahale için itfaiye drone seçimi: Giresun örneği, *Journal of Aviation Research*, 5 (1), 1-15.
- Mukhamediev, R. I., Symagulov, A., Kuchin, Y., Zaitseva, E., Bekbotayeva, A., Yakunin, K., Assanov, I., Levashenko, V., Popova, Y. ve Akzhalova, A., 2021, Review of some applications of unmanned aerial vehicles technology in the resource-rich country, *Applied Sciences*, 11 (21), 10171.
- Nakiboglu, G., 2020, Drone taşımacılığı ve son-adım teslimatta kullanımı, *Çukurova Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 24 (2), 285-298.
- Önkol, M., 2010, Dönerkanat tipinde bir insansız hava aracının tasarımı, modellenmesi ve kontrolü, *TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi-Fen Bilimleri Enstitüsü-Elektrik*

- Pehlivan, K. ve Akuner, C., 2020, Quadrotor Test Düzeneği Tasarımı ve Uygulaması, *International Periodical of Recent Technologies in Applied Engineering*, 2 (1), 15-24.
- Roldán-Gómez, J. J., González-Girona, E. ve Barrientos, A., 2021, A survey on robotic technologies for forest firefighting: Applying drone swarms to improve firefighters' efficiency and safety, *Applied Sciences*, 11 (1), 363.
- Sezgin, A., 2017, İnsansız hava aracı tasarımı ve kontrolü.
- Taslı, M. ve Karakoyun, M., 2022, Mobil Uygulama Kontrollü Dron ile Otonom Sipariş Dağıtımı, *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi* (42), 146-150.
- Toptaş, M. ve Yılmaz, M., 2021, Yangın Söndürme İçin Alternatif Bir Tasarım: Akıllı Yangın Söndürme Bombası, *Mühendis ve Makina*, 62 (705), 806-829.
- Turgut, M. N., 2011, Dört rotorlu insansız hava aracının modellenmesi ve simülasyonu.
- Wu, C., Ju, B., Wu, Y., Lin, X., Xiong, N., Xu, G., Li, H. ve Liang, X., 2019, UAV autonomous target search based on deep reinforcement learning in complex disaster scene, *IEEE Access*, 7, 117227-117245.
- Yuan, C., Liu, Z. ve Zhang, Y., 2016, Vision-based forest fire detection in aerial images for firefighting using UAVs, *2016 international conference on unmanned aircraft systems (ICUAS)*, 1200-1205.

EKLER**EK-1 Montaj Görselleri****Ek Şekil 1.1. Üstten Görünüş****Ek Şekil 1.2. Üstten Görünüş**

EK-2 Tez Çalışması Görselleri**Ek Şekil 2.1. Tez Çalışması Görselleri- 1****Ek Şekil 2.2. Tez Çalışması Görselleri-2****Ek Şekil 2.3. Tez Çalışması Görselleri- 3**

EK-3 Tez Çalışması Görselleri**Ek Şekil 2.4. Tez Çalışması Görselleri- 4****Ek Şekil 2.4. Tez Çalışması Görselleri- 5****Ek Şekil 2.4. Tez Çalışması Görselleri- 6****Ek Şekil 2.4. Tez Çalışması Görselleri- 7**