

T.C
KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

ARAMA-KURTARMA AMAÇLI

DÖNER KANATLI İNSANSIZ HAVA ARACI TASARIMI VE ÜRETİMİ

BİTİRME PROJESİ

Mahmut Enes ÖZYURT
Hüseyin Erdem OKUTAN
L.ÖĞRETİM

HAZİRAN 2021

TRABZON

T.C
KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

ARAMA-KURTARMA AMAÇLI

DÖNER KANATLI İNSANSIZ HAVA ARACI TASARIMI VE ÜRETİMİ

Mahmut Enes ÖZYURT
Hüseyin Erdem OKUTAN
I.ÖĞRETİM

Danışman: Prof. Dr. Levent GÜMÜŞEL

Bölüm Başkanı: Prof. Dr. Burhan ÇUHADAROĞLU

HAZİRAN 2021

TRABZON

ÖNSÖZ

Günümüzün vazgeçilmezi haline gelen insansız hava araçları gelişen teknoloji ile pek çok farklı alanda çeşitli amaçlarla kullanılmaktadırlar. Hobi amaçlı araçlardan tarım uygulamalarında kullanılan sistemlere, yangın söndürmeden askeri gözetleme ve hedef imhasına kadar geniş bir yelpazede çeşitli tip ve boyutlarda üretilen insansız hava araçları uluslararası araştırma ve makalelerde önümüzdeki 30 yılın teknolojilerini barındıracağını göstermektedir.

Bu bağlamda tasarım projesi çalışmamızda arama-kurtarma amaçlı bir insansız hava aracı tasarımını detaylı olarak incelemiş bulunmaktayız. Bu çalışmada bizden desteklerini esirgemeyen sayın Prof. Dr. Levent GÜMÜŞEL'e teşekkürü bir borç biliriz.

Mahmut Enes ÖZYURT
Hüseyin Erdem OKUTAN
TRABZON 2021

ÖZET

Tasarım çalışmasında öncelikle insansız hava araçlarının günümüze kadar ki tarihçesinden kısaca bahsedilmiştir. Sonraki bölümlerde hava araçlarının uçuş mekaniği ve çeşitli tipteki insansız hava araçlarının dinamik hesapları incelenmiştir.

Tüm genel tanıtlardan sonra sivil tipteki bir arama-kurtarma aracın tasarımı, üretimi ve analizleri üzerine çalışmalar yapılmış ve farklı üretim yöntemleri üzerine bilgiler verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Multicopter, Drone, İHA, UAV, Quadcopter

SUMMARY

In the design work, first of all, the daily history of unmanned aerial vehicles is briefly mentioned. In the following sections, the flight mechanics of aircraft and the dynamic calculations of various types of unmanned aerial vehicles are examined.

After all general introductions, studies on the design, production and analysis of the civilian type search and rescue vehicle were carried out and information was given about different production methods.

Keywords: Multicopter, Drone, IHA, UAV, Quadcopter

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖZET.....	III
SUMMARY.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VIII
TABLolar DİZİNİ.....	X
SEMBOLLER DİZİNİ.....	XI
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. MULTICOPTERLER... ..	1
1.1.1. TANIM.....	1
1.2. MULTICOPTERLERİN TARİHÇESİ.....	2
1.3. İNSANSIZ HAVA ARAÇLARININ TARİHÇESİ.....	4
1.4. İNSANSIZ HAVA ARAÇLARININ SINIFLANDIRILMASI.....	8
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	9
2.1. MULTICOPTERLERİN ÇALIŞMA PRENSİBİ.....	9
2.2. MULTICOPTER DİNAMİĞİ.....	10
2.2.1. KUVVET DENKLEMLERİ.....	10
2.2.1.1. THRUST (İTKİ) KUVVETİ.....	10
2.2.1.2. DRAG (SÜRTÜNME/SÜRÜKLENME) KUVVETİ.....	10
2.2.1.3. MULTICOPTERİN AĞIRLIĞI.....	10
2.3. MULTICOPTERLERİN HAREKET MEKANİZMASI.....	11

2.3.1. DİKEY HAREKET.....	12
2.3.2. YALPALAMA HAREKETİ (ROLL).....	12
2.3.3. YUNUSLAMA HAREKETİ (PITCH)	13
2.3.4. SAPMA HAREKETİ (YAW).....	13
2.4. GÖREV SENARYOSU VE MULTICOPTER TASARIMI.....	14
2.5. MULTICOPTER BİLEŞENLERİ.....	14
2.5.1. GÖVDE, KOL VE İNİŞ TAKIMI.....	15
2.5.2. İTKİ SİSTEMİ.....	16
2.5.3. UÇUŞ KARTI.....	19
2.5.4. KÜRESEL KONUMLANDIRMA SİSTEMİ (GPS).....	20
2.5.5. KUMANDA VE ALICI.....	21
2.5.6. TELEMETRİ.....	22
2.5.7. YER KONTROL İSTASYONU YAZILIMI.....	22
2.6. ELEKTRONİK SİSTEMİN BAĞLANTI ŞEMASI.....	23
2.7. GÖREV SENARYOSUNA GÖRE YÜK SEÇİMİ.....	24
3. ÜRETİM YÖNTEMLERİ.....	25
3.1. KARBON FİBER NEDİR?.....	25
3.2. KARBON FİBERİN TARİHÇESİ.....	25
3.3. KARBON FİBERİN ÜRETİMİ.....	25
3.3.1. OKSİDASYON.....	26
3.3.2. KARBONİZASYON	26

3.3.3. YÜZEY İYİLEŞTİRME.....	26
3.3.4. KAPLAMA.....	26
3.4. NEDEN KARBON FİBER?.....	26
3.5. MULTICOPTERLERDE PARÇA ÜRETİMİ.....	27
3.5.1. FRAME, KOL VE İNİŞ TAKIMI ÜRETİMİ.....	27
3.5.2. CANOPY ÜRETİMİ.....	29
3.5.3. PERVANE ÜRETİMİ.....	30
4. SONUÇ.....	31
5. KAYNAKLAR.....	32

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1: Multicopter Konfigürasyonları.....	1
Şekil 2: Oehmichen No.2.....	2
Şekil 3: Bothezat.....	3
Şekil 4: Convertawings Model A Quadrotor.....	3
Şekil 5: Curtiss-Wright VZ-7.....	4
Şekil 6: Firebee 1241 İHA.....	4
Şekil 7: Scout 3 İHA.....	5
Şekil 8: Pioneer İHA.....	5
Şekil 9: Predator İHA.....	6
Şekil 10: Türkiye'nin Ürettiği İHA'lar.....	7
Şekil 11: Quadcopter'de Hareket Yönleri.....	9
Şekil 12: Uçuş Eksenleri (Yaw, Pitch, Roll, Altitude).....	11
Şekil 13: Hareket Yönleri.....	11
Şekil 14: Yalpalama Hareketi (Roll).....	12
Şekil 15: Yunuslama Hareketi (Pitch).....	13
Şekil 16: Sapma Hareketi (Yaw).....	13
Şekil 17: Quadcopter Gövdesi.....	15
Şekil 18: Tarot 2814-700KV BLDC.....	17
Şekil 19: 15x4 Pervane.....	17

Sayfa No

Şekil 20: ESC (Hız Kontrolcüsü)	18
Şekil 21: Li-Po Batarya	19
Şekil 22: Otopilot Kartı	20
Şekil 23: Radiolink SE100 GPS	20
Şekil 24: Kumanda Mod'ları	21
Şekil 25: 12 Kanal RC Kumanda	21
Şekil 26: Telemetri... ..	22
Şekil 27: Yer Kontrol Yazılımı... ..	22
Şekil 28: Bağlantı Şeması... ..	23
Şekil 29: İHA üzerine yerleştirilecek örnek paketler	24
Şekil 30: Elyaf (kumaş) Karbon Fiber	25
Şekil 31: Hava Araçlarında Kullanılan Malzemeler	27
Şekil 32: Vakum İnfüzyon Yöntemi	27
Şekil 33: Frame Plakaları... ..	28
Şekil 34: Kol ve İniş Takımları... ..	28
Şekil 35: Karbon fiber ve plastik Canopy... ..	29
Şekil 36: Pervaneler	30

TABLÖLAR DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
TABLO 1: İHALARIN SINIFLANDIRILMASI.....	8
TABLO 2: MOTOR VERİLERİ.....	17

SEMBOLLER DİZİNİ

AUW : All Up Weight
BEC : Battery Eliminator Circuit
CNC : Computer Numerical Control
DC : Direct Current
ESC : Electronic Speed Control
FPV : First-Person View
GPS : Global Positioning System
GSM : Global System for Mobile Communications
I2C : Inter-Integrated Circuit
IHA : İnsansız Hava Aracı
LED : Light Emitting Diode
Li-Po : Lityum-Polimer
PID : Proportional–Integral–Derivative Control
PPM : Pulse Position Modulation
PWM : Pulse Width Modulation
RC : Radio Controlled
rpm : returns per minute
SMS : Short Message Service
UAV : Unmanned Aerial Vehicle
UBEC : Universal Battery Eliminator Circuit
USB : Universal Serial Bus

1. GENEL BİLGİLER

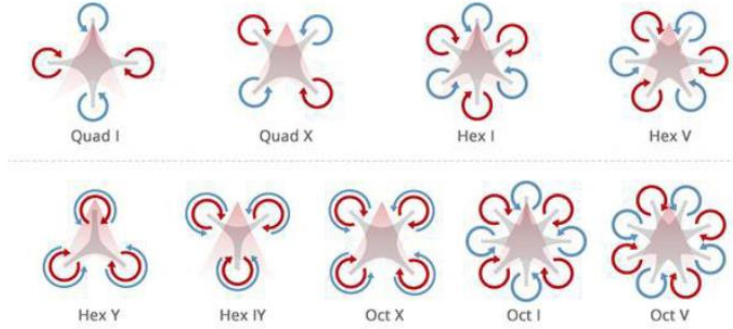
1.1- MULTICOPTERLER

1.1.1- TANIM

Türk Dil Kurumuna göre helikopterin tanımı;

Dik iniş ve çıkış yapabildiği için dar yerlerde de kullanılabilen, tepeden pervaneli, uçan taşıt. Bu tanımdan çıkarılan sonuç, multicopterlerin ve helikopterin aynı işi yaptığıdır. Fakat temel olarak multicopterler ve helikopterler arasında çok keskin farklar bulunmaktadır. Bu farklardan en önemlisi multicopterler kontrol için bir kuyruk, kuyruk motoru ve mekanik parçalara ihtiyaç duymazlar. Her eksenindeki hareketlerini, hareketinin tam tersi yönündeki motorların hızını düşürerek yaparlar. Yani temel olarak;

Multicopterler: Tricopter, quadcopter, hexacopter, octocopter, pluscopter, xcopter, hcopter gibi konfigürasyonları bulunan, ikiden fazla motora sahip, pitch, roll, yaw ve lift hareketini sadece hız (rpm) kullanılarak kontrol edilen, stabilizasyonu elektro- mekanik sensörlerden ve hesaplayıcı cihazlarla sağlanan havadan ağır cihazlardır. (Şekil 1)

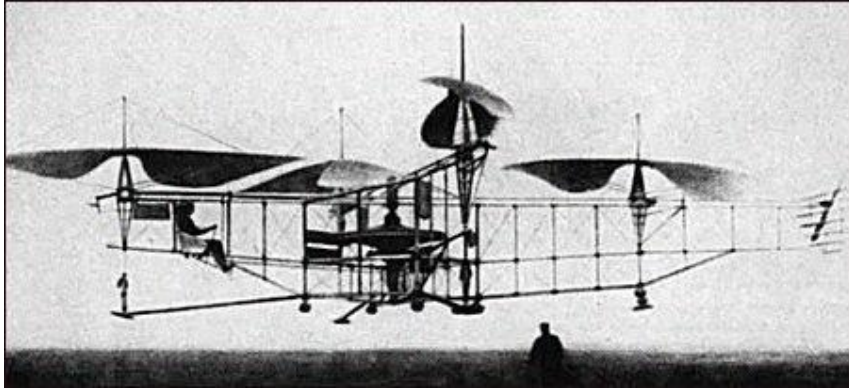


Şekil 1: Multicopter Konfigürasyonları

1.2 MULTICOPTERLERİN TARİHÇESİ

Oehmichen No.2 (1920)

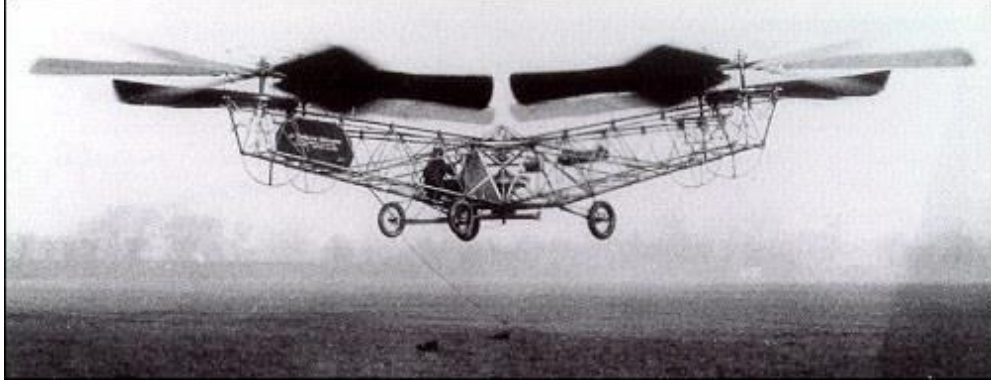
1920'lerde Etienne Oehmichen rotorcraft araçlarla denemeler yapmıştır. Deneme yaptığı altı araçtan bir tanesi dört motorlu sekiz pervaneli No.2'dir.(Şekil2) Oehmichen No.2 dört kol ucundaki iki pervaneli motorlarla birlikte çelik şase kullanmıştır. Beş pervane araca dikey olarak stabilize edilmiş olup, burun kısmında bir diğer pervane yönlendirme sağlarken, son iki pervane ise yatay olarak bağlanıp, ileriye itme sağlamak için kullanılmıştır. Zamanına göre önemli miktarda stabilite sunan bu araç, 1920lerin ortalarında binden fazla test uçuşu yapmıştır. 1923 yılında havada birkaç dakika kalabilmiş, 14 Nisan 1924'te ise 360 metre giderek FAI (Uluslararası Havacılık Federasyonu) helikopterler için mesafe rekorunu kırmıştır. Dairesel bir rotayı tamamlayıp daha sonra ilk 1 kilometrelik kapalı devre uçuşu bir rotorcraftla tamamlamıştır.



Şekil 2: Oehmichen No.2

Bothezathelicopter (1922)

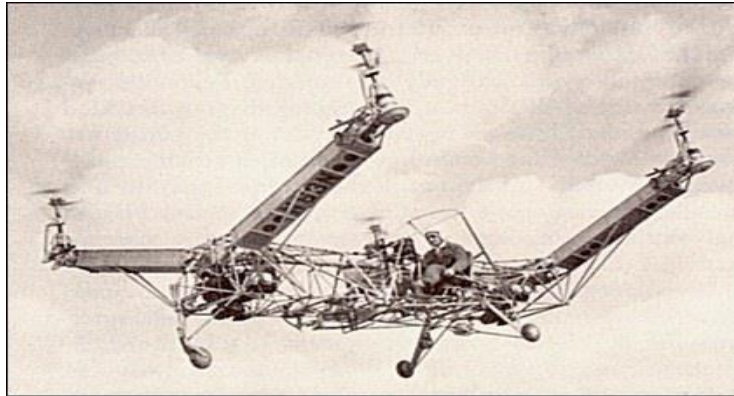
Dr. George de Bothezat ve IvanJerome tarafından geliştirilen bu araç, X şeklinde şaseye bağlı 4 adet pervaneden oluşur. Değişken yükseklikli iki küçük pervane itme ve sapmayı kontrol etmek için kullanılmıştır. Amerikan ordusu tarafından yapılan bu araç ilk uçuşunu Ekim 1922'de gerçekleştirmiştir ve 1923'ün sonuna kadar 100 uçuşu tamamlamıştır. Ulaştığı maksimum yükseklik ise 5 metredir. (Şekil 3)



Şekil 3: Bothezat

Convertawings Model A Quadrotor (1956)

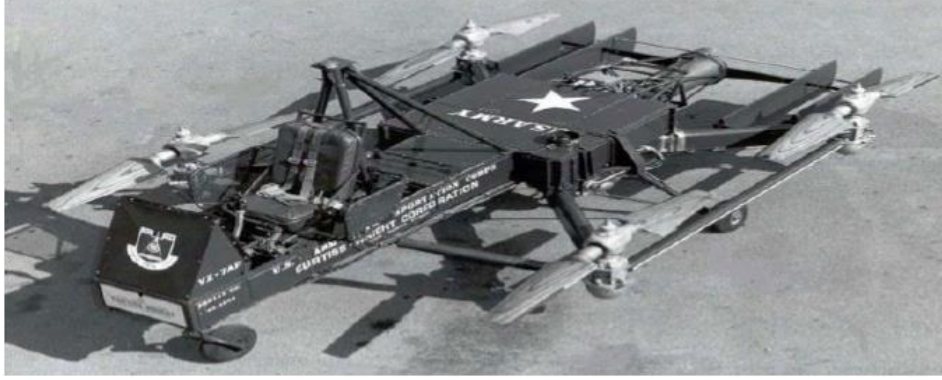
Bu özgün helikopterin çok daha büyük bir sivil ve askeri quadrotor'a prototip olması planlanmıştı. Tasarımı iki adet motorun v kayışıyla dört rotoru döndürmesi şeklindedir. Kontrol ise kuyruk motoruna ihtiyaç duyulmadan, motorların itme gücünü değiştirerek sağlanmıştır. 1950'lerin ortasında birçok kez başarılı bir şekilde uçmuştur. Ayrıca ileri uçuş yapabilen ilk dört rotorlu hava taşıtıdır. Sipariş düşüklüğü sebebiyle proje iptal edilmiştir. Convertawings 19 ton maksimum kapasiteli, 4.9 ton taşıyıp 278 km/s hızıyla 300 mil menzile gidebilen bir Model E tasarlamıştır. (Şekil4)



Şekil 4: Convertawings Model A Quadrotor

Curtiss-Wright VZ-7 (1958)

Curtiss-Wright VZ-7, Curtiss-Wright firması tarafından Amerikan Ordusu için dikey iniş ve kalkış (VTOL) yapabilecek şekilde tasarlanmıştır. Kontrolü dört motorun itme gücünü değiştirerek sağlanmıştır. (Şekil 5)



Şekil 5: Curtiss-Wright VZ-7

1.3-İNSANSIZ HAVA ARAÇLARININ TARİHÇESİ

İkinci Dünya Savaşı sonrası, İHA sistemleri teknolojik gelişmelerin etkisiyle büyük bir ivme kazanmış özellikle 1990'lı yıllardan sonra, İHA sistemleri askeri maksatların yanı sıra lojistik, sağlık, tarım, vb. gibi sahalarda da yaygın bir kullanım alanına sahip olmuştur. 1960'lı yılların başlarında, Amerikan Hava Kuvvetleri Ulusal Keşif Bürosu (National Reconnaissance Office) için insansız hava araçlarını uçurmaya başlamıştır. 1970 yılına gelindiğinde, İsrail İHA geliştiricisi olarak sahneye çıkmıştır. ABD'den gizli bir anlaşma ile 12 adet Firebee alan İsrail onları modifiye ederek Firebee 1241'i ortaya çıkardılar. (Şekil 6)



Şekil 6: Firebee 1241 İHA

Yom Kippur savaşında önemli görevlerde bulunan Firebee 1241'ler hem keşif gözetleme uçağı olarak görev yapmış, hem de Mısır Hava Savunma sistemlerini oyalamak için "Hedef Uçak" olarak kullanılmıştır. İlk başarılı yüksek irtifa uzun dayanımlı İHA, Ryan SPA 147'dir.

ABD üretimi olan bu uçak 60 bin feet'ten fotoğraf alabildiği gibi 8 saatlik görev süresiyle bugünkü İHA'ların atası olmuştur.1980'lerde İsrail yine sahneye çıkarak Mini İnsansız Hava Aracı'nın babası olan Scout'u yaratmıştır. IAI üretimi olan Scout, 3,96 metrelik kanat açıklığı ve fiber glass gövdesi ile hem radara yakalanmamayı başarmış hem de küçük ebadı sayesinde vurulamamıştır. (Şekil 7)



Şekil 7: Scout 3 İHA

Döner bir mekanizma üzerine monte edilen TV kamerası sayesinde ise ilk gerçek zamanlı görüntü aktarımı yapan İHA olarak tarihe geçmiştir. 1982 yılındaki Beka Vadisi Anlaşmazlığı'nda bu uçaklar Suriye'nin hava savunma istasyonlarının tespiti ve vurulmasında kullanılmıştır. Oyalama amaçlı da kullanılan uçakların sağladığı avantaj ile 2 Suriye füze istasyonu İsraili muharip jetler tarafından imha edilmiştir. Scout ile hafif İHA'ların ne kadar avantajlı olduğu gören İsrail derhal Pioneer'i geliştirmiş ve ABD Donanma, Deniz Piyadeleri ve Kara Kuvvetleri'ne de hemen 20 adet satmayı başarmıştır. Uçak gemisine inmeyi başaran ilk İHA olarak tarihe geçen bu uçak ailesinin sadece ABD'ye satılan bu 20 adedi başta Körfez savaşı olmak üzere toplamda 533 sortiye sahiptir. (Şekil 8)



Şekil 8: Pioneer İHA

Bugün balkanlardaki barış gücü tarafından da kullanılan uçak halen İsrail tarafından da kullanılmaktadır. Soğuk Savaş tehdidi ile geçen bu yıllarda, Amerika'nın SSCB'nin yanı sıra, dost olarak görmediği ülkeleri de izleme ve gözetleme arzusu ve insanlı olarak yapılan casus uçuşlarındaki insan kayıpları İHA sistemlerinin geliştirilmesinde başrolü oynamıştır.

1980 yılında Reagan'ın başa geçmesiyle, Amerikan askerî gücünün yeniden kazanılması yönünde yürütülen faaliyetler kapsamında, teknik istihbarat elde etmedeki yetersizliği ortadan kaldırmak maksadıyla, havadan gözlem ve izleme yapabilecek, uzun süre havada kalabilen insansız hava araçlarının geliştirilmesine bütçeden kaynak artırımı sağlanarak hız verilmiştir. Bütün bu çalışmalarda, Sovyet füze tehdit kapasitesinin artmasının da rolü büyüktür. İHA sistemlerinin geliştirilmesi yönündeki çabalar ve testler sonuç vermiş ve Kasım 1993 ayı içerisinde Predator isimli orta irtifa kabiliyetli keşif maksatlı olarak dizayn edilen İHA, operasyonel statüye ulaşmıştır. Predator'un başarıya ulaşmasında en önemli faktörler diğer alanlardaki teknolojik gelişmelere bağlı olarak GPS (Global Positioning Systems) uydularını seyrüsefer maksatlı olarak kullanması ve uydu teknolojisi sayesinde görüş hattı ötesinde uçabilmesidir. 2000 yılına kadar Predator İHA sistemleri Bosna-Hersek, Irak ve Sırbistan'da yürütülen askerî harekâta kullanılmış olsalar da Amerikan Hava Kuvvetleri tam operasyonel bir İHA sistemine sahip olmak için uzun süre beklemek zorunda kalmıştır.

Predator sistemlerinin o yıllardaki hassas tarafları, radar kontrollü füzelere karşı korunmasız olması ve yer kontrol istasyonunun aynı anda sadece bir İHA'yı kontrol edebilmesidir. (Şekil 9)



Şekil 9: Predator İHA

Türkiye İHA yarışına ilk olarak 1995 yılında girmiş ve TSK'nın hava savunma birliklerinin eğitim ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla TAI tarafından Araştırma ve Geliştirme projesi olarak başlatılmış olan TURNA isimli aracını üretmiş ve envantere almıştır. Günümüzde Türkiye'de yerli imkânlarla üretilen tüm hava araçları uzun bir çalışma akabinde Dünya standartlarını yakalamış ve ihracata başlanmıştır. (Şekil 10)

Son günlerde, İHA sistemlerinin çok farklı şekil, ebat, konfigürasyon ve karakterde üretildiğini görüyoruz. Aynı şekilde çok farklı amaçlarla kullanıldığını da buna ekleyebiliriz. Tarihsel olarak incelediğimiz İHA sistemleri, gelişen birçok teknolojiye gördüğümüz gibi askeri maksatlı olarak ortaya çıkmış, zaman içinde ticari olarak son kullanıcı seviyesine kadar ulaşmıştır.



Şekil 10: Türkiye'nin Ürettiği İHA'lar

1.4- İNSANSIZ HAVA ARAÇLARININ SINIFLANDIRILMASI


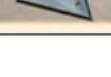
İnsansız hava araçları genellikle 2 kategoriye ayrılır. Bunlar;

- Döner Kanatlı İHA'lar (Helikopter, Multicopter)
- Sabit Kanatlı İHA'lar (Konvansiyonel Uçak)

Sabit kanatlı insansız hava araçları çoğunlukla tek motorlu ve sabit bir kanat profiline sahip geleneksel uçakların insansız hali olup, iniş kalkış için bir piste veya uçağa ilk hız kazandıracak bir katapult'a ihtiyaç duymaktadır.

Döner kanatlı insansız hava araçları ise klasik helikopter mantığını kullanan ve 3,4,6,8 ve daha fazla rotora sahip araçlardır. Bu tip araçların en büyük avantajı üretimlerinin kolay ve havada asılı kalabilme özelliklerinin olmasıdır.

İHA'lar ağırlık ve havada kalış süresi bakımından da çeşitli şekilde sınıflandırılırlar. (Tablo 1).

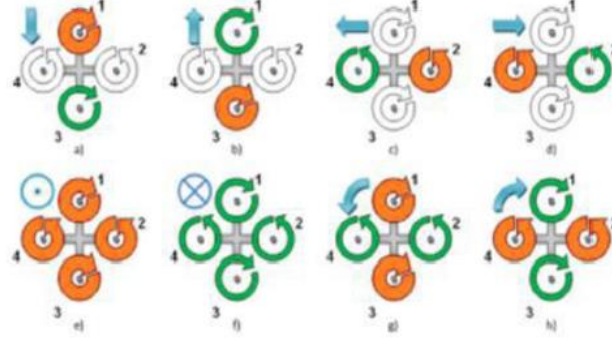
Sınıfı	Kategorisi	Görev Yüksekliği (ft)	Görev Yarıçapı (km)	Sivil Kategori	Örnek Platform
Sınıf I (150 kg.dan hafif)	Mikro (<2 kg)	<200 (AGL)	5 (LOS)	Ağırlık Sınıfı Grup 1 Küçük İHA (<20 kg)	Black Widow 
	Mini (2-20 kg)	<3.000 (AGL)	25 (LOS)		Bayraktar, Malazgirt, Scan Eagle 
	Küçük (>20 kg)	<5.000 (AGL)	50 (LOS)	Ağırlık Sınıfı Grup 2 Hafif İHA (20-150 kg)	Hermes 90 
Sınıf II (150-600 kg)	Taktik	<10.000 (AGL)	200 (LOS)	Ağırlık Sınıfı Grup 3 İHA (>150 kg)	Bayraktar Taktik, Karayel, Aerostar 
Sınıf III (600 kg.dan ağır)	Orta İrtifa Uzun Havada Kalış (MALE)	<45.000 (MSL)	Limitsiz (BLOS)		ANKA, Heron, Predator, Reaper 
	Yüksek İrtifa Uzun Havada Kalış (HALE)	<65.000	Limitsiz (BLOS)		Global Hawk 
	Saldırı / Muharebe	<65.000	Limitsiz (BLOS)	X-47B, Phantom Ray 	

Tablo 1: İHA'ların Sınıflandırılması

2- YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1- MULTICOPTERLERİN ÇALIŞMA PRENSİBİ

Örnek olarak ele alacağımız Quadcopter, dört rotor ile uçuşunu gerçekleştiren ve hareket edebilen bir araçtır. Üç boyutlu uzayda yönlendirebilmek için dört motorun ürettiği kuvvetlere göre uygulanır. (Şekil 11) Quadcopterin açısal momentini korumak için dört motordan karşılıklı iki tanesi saatin tersi yönünde dönerken diğer ikisi saat yönünde dönmektedir.



Şekil 11: Quadcopter'de Hareket Yönleri

İnsansız hava araçları (İHA), sınır kontrolü, gözetim, mayın tespiti gibi askeri amaçlı uygulamalarda veya çevre koruma, orman yangını kontrolü, yük taşıma, film çekimi gibi sivil uygulamalarda da kullanılmaktadır. Quadcopterin temel hareket mantığı Şekil 11'de gösterilmiştir. Genelde uçan platformlar yatay hareketlerin mekanik donanımlar yardımıyla sağlar. Fakat quadcopter sabit mekanik yapıya sahip olduğu için yatay hareketi kendi eksenlerini eğerek yapar.

2.2- MULTICOPTERLERİN DİNAMIĞI

2.2.1- Kuvvet Denklemleri

Newton'un birinci ve ikinci yasası gereğince;

$$\sum F_{net} = m_{toplam} \cdot \begin{bmatrix} \ddot{X} \\ \ddot{Y} \\ \ddot{Z} \end{bmatrix} \quad (1.1)$$

2.2.1.1- Thrust (İtke) Kuvveti

Motorların uyguladığı itki kuvveti;

$$F_{itme} = \begin{bmatrix} \sin\alpha \cdot F_{M1} + \sin\alpha \cdot F_{M2} + \sin\alpha \cdot F_{M3} + \sin\alpha \cdot F_{M4} \\ \cos\alpha \cdot F_{M1} + \cos\alpha \cdot F_{M2} + \cos\alpha \cdot F_{M3} + \cos\alpha \cdot F_{M4} \\ 0 \end{bmatrix} \quad (1.2)$$

Kalkış sırasında herhangi bir açı değişimi olmadığı için $\alpha = 0$ olacağından bu denklem kalkış için şu şekilde ifade edilir;

$$F_{itme,kalkış} = \begin{bmatrix} 0 \\ F_{M1} + F_{M2} + F_{M3} + F_{M4} \\ 0 \end{bmatrix} \quad (1.3)$$

2.2.1.2- Drag (Sürtünme/Sürüklenme) Kuvveti

Normal esnada havada seyir halinde olan multicopterde aşağıdaki denklemlerdeki gibi bir direnç oluşur;

$$F_{direnç} = m \cdot \frac{1}{\dots} \quad (1.4)$$

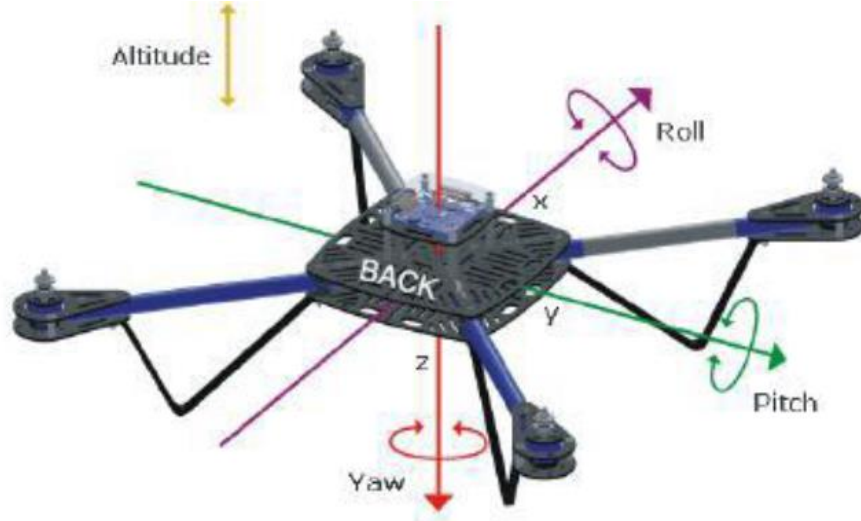
2.2.1.3- Multicopterin Ağırlığı

Aracın ağırlığı;

$$F_g = m_{toplam} \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ g \\ 0 \end{bmatrix} \quad (1.5)$$

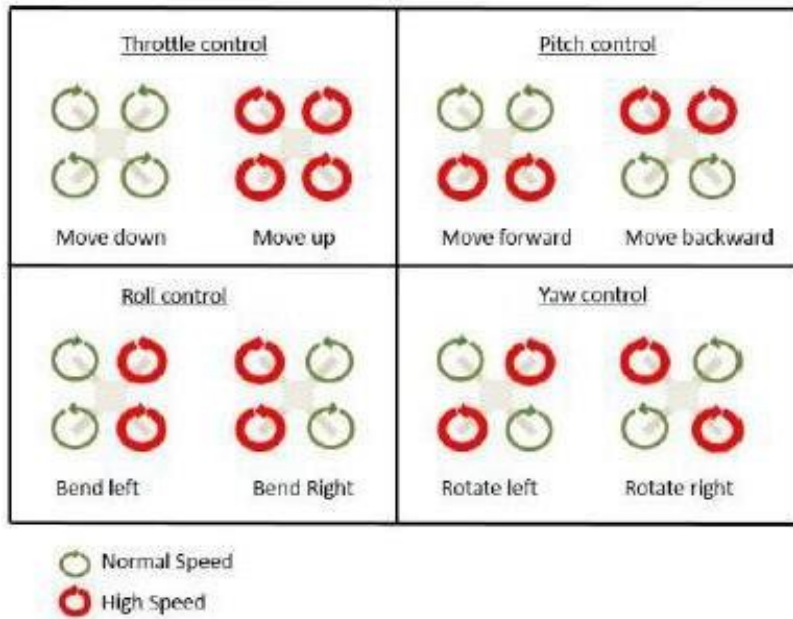
2.3- MULTICOPTERIN HAREKET MEKANİZMASI

Multicopterlerin temel olarak 4 hareket yeteneği vardır. Araca ait hareket eksenleri Şekil 12’de gösterilmiştir.



Şekil 12: Uçuş Eksenleri (Yaw, Pitch, Roll, Altitude)

Multicopterler bu eksenlerdeki hareketlerini motorların dönme hızlarını ayarlayarak yaparlar. Şekil 13’te bir multicopterin yön hareketlerine yönelik görsel verilmiştir.



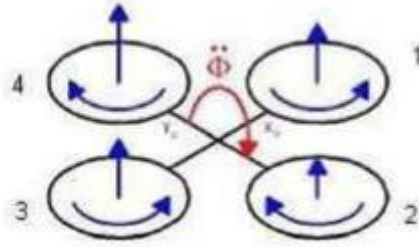
Şekil 13: Hareket Yönleri

2.3.1- Dikey Hareket

İtme hareketinde hava aracı düzgün bir şekilde havalanıp irtifa kazanır, kaybeder veya havada asılı kalır. Bütün rotorların hızları aynı miktarda değiştirilerek yerçekimi yenilip araç irtifa kazanabilir, yerçekimi kuvveti ile eşitlenerek havada sabit kalabilir ya da toplam kaldırma yerçekiminin altına indirilerek irtifa kaybedilebilir.

2.3.2- Yalpalama Hareketi (Roll)

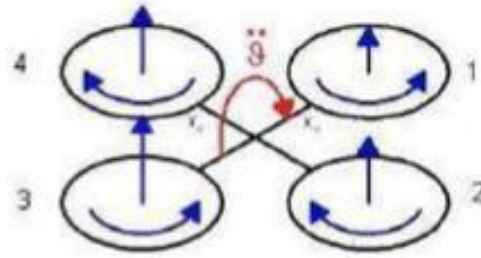
Yalpalama hareketinde araç X ekseninde döner. (Şekil 14) Bu hareketi elde etmek için 2. ve 4. rotorun hızları arasında bir fark yaratmak gerekir. Bu hız farkı rotorların kaldırma kuvvetleri arasında bir farka neden olacaktır ve daha yavaş dönen rotorun bulunduğu taraf ağırlık merkezinin altına doğru yönelirken, hızlı dönen rotorun tarafı yukarı eğilecektir. Eğer bu hareket esnasında aracın dikey yönde hareket etmemesi isteniyorsa, rotorlardaki hız değişiklikleri toplam kaldırma kuvveti değişmeyecek bir şekilde ayarlanmalıdır.



Şekil 14: Yalpalama Hareketi (Roll)

2.3.3- Yunuslama Hareketi (Pitch)

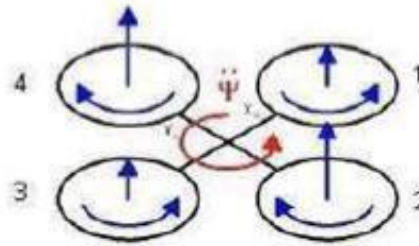
Yunuslama hareketinde araç Y ekseninde döner. (Şekil15) Bu hareketi elde etmek için 1. ve 3. rotorların hızları arasında bir fark yaratmak gerekir. Bu hız farkı rotorların kaldırma kuvvetleri arasında bir farka neden olacaktır ve daha yavaş dönen rotorun bulunduğu taraf ağırlık merkezinin altına doğru yönelirken, hızlı dönen rotorun tarafı yukarı doğru eğilecektir. Yalpalama hareketinde olduğu gibi, eğer bu hareket sırasında aracın dikey yönde hareket etmemesi isteniyorsa, rotordaki hız değişiklikleri toplam kaldırma kuvveti değişmeyecek bir şekilde ayarlanmalıdır.



Şekil 15: Yunuslama Hareketi (Pitch)

2.3.4- Sapma Hareketi (Yaw)

Sapma hareketinde araç Z ekseninde döner. Bu hareketi elde etmek için 1. ve 3. rotorların toplam hızları ile 2. ve 4. rotorların toplam hızları arasında bir fark oluşturulmalıdır. Bu rotor çiftleri birbirine zıt yönlerde döndükleri için, aracı zıt yönde döndürmeye çalışan torklar üretmektedirler. Bu torklar birbirine eşit oldukları sürece araç Z ekseninde dönmeyecektir. Eğer rotorların ürettikleri torklar T1, T2, T3 ve T4 olarak adlandırılırsa: $T1 + T2 - T3 - T4 \neq 0$ olduğu sürece araç Z ekseninde dönecektir.



Şekil 16: Sapma Hareketi (Yaw)

2.4- GÖREV SENARYOSU VE MULTICOPTER TASARIMI

Belli bir alanda gözetleme yapacak ve üzerinde göreve uygun bir yük (İlk yardım çantası, Su, Gıda vb.) bulunduracak kalkış ağırlığı maksimum 5 kg ile sınırlandırılmış 20 dakika havada kalış süresine sahip, basit bir arama kurtarma timinde bulunabilecek bir multicopter için gerekli komponent seçimi şu şekilde yapılmıştır.

2.5- MULTICOPTER BİLEŞENLERİ

Multicopterler temel olarak 3 ana mekanik parçadan oluşmaktadır. Bunlar;

- 1- Frame (Gövde)
- 2- Arms (Kollar)
- 3- Landing gear (İniş takımı)

Bunların yanı sıra bir multicopter de itki sistemi olarak;

- 1- BLDC Motor
- 2- ESC (Elektronik Hız Kontrolcüsü)
- 3- Batarya
- 4- Propeller (Pervane) bulunmalıdır.

Gerekli tüm yapısal ve itki sistemi bulunduktan sonra bir multicopter tam olmasa da artık bir insansız hava aracına doğru adım adım ilerlemektedir. Bir uçar platformun insansız kategorisine girmesi için tüm uçuş sistemlerini denetleyen bir Uçuş kontrol kartı ile birlikte küresel konumlandırma aracı olarak GPS/INS veya RTK ve bir yer kontrol istasyonunun bulunması gerekmektedir.

2.5.1- Gövde / Kol ve İniş Takımı

Frame (şasi) multicopter 'in iskeletidir, genellikle karbon fiber ve almiyumu malzemeler tercih edilerek üretilmektedir. Burada tüm sistemin ağırlığı taşıyacak ve hafif olması istenen bir gövde yapısı ile devam edilmelidir. Aracımızın retim şekli ve kolaylığı göz önünde bulundurulduğunda en iyi seğim karbonfiber boru olarak görülmüştür. Ek paręa ihtiyaçının minimuma indirilmesi amacı ile kollar ve iniş takımı kapanmayan bir şekilde tasarlanmıştır. Gövde, kol ve iniş takımı malzemesi seçildikten sonra motor sayısı ve kol ęeřidine göre diğer komponentler seğilecektir.

4 kg (39,24N)'lık bir yükü rahatęa kaldırılabilmesi ve havada tutunabilmesi için en az 4 motorlu bir quadcopter tercih edilmiştir. (şekil17)



şekil 17: Quadcopter Gövdesi

2.5.2- İtki Sistemi

Motor seçiminde motorun itiş gücü önemli bir faktördür. Seçilen motorun itiş gücüne karar verebilmek için bilmesi gereken en önemli husus, bitmiş haldeki multicopterin, uçuş sırasındaki toplam ağırlığının ne olacağıdır. Gövde, pervaneler, piller, kartlar, ESC'ler, kablolar, motorlar, eğer FPV donanımları dâhil uçuş sırasındaki toplam ağırlık, AUW (All-Up-Weight) olarak adlandırılır. AUW (toplam ağırlık) hesaplandıktan sonra gerekli itiş gücü hesaplanır. Multicopter'ler uçaklar gibi kanatların taşınması sonucu değil saf olarak pervanelerin itiş sayesinde havalanabilirler. Eğer itiş gücü, multicopter'in ağırlığına eşit olursa multicopter havalanamaz ya da sadece olduğu yerde durur. Multicopter'in havalanabilmesi için yerçekimini yenebilmesi ve bunun üstüne hala itiş kuvveti uygulayabiliyor olması gerekmektedir. Teorik olarak bir multicopterde motor seçimi yapılırken motorların %50 gaz kolu konumunda verdiği itki gücü toplanır. Bir motorun bu güç aralığında vermesi istenen itki şu formülle hesaplanır.

$$\text{Araç Ağırlığı} \times 2 = 4 \text{ (Motor\%50 Güç)}$$

Motor seçiminde fırçasız DC motor tercih edilir. Bu alanda kullanılmalarının ana sebeplerinden biri diğer motorlara göre yüksek performans sergilemeleridir. Fırçasız motorların diğer motorlara göre daha sessiz çalışma, elektriksel gürültü oluşturmama, daha kolay bakım, daha uzun ömür, daha hızlı çalışma ve daha güçlü torklara sahip olma gibi avantajları vardır. Fırçasız motorlar diğer DC motorlar gibi direk bataryaya bağlanarak çalıştırılmazlar. Böyle bir yanlışlığın yapılması motorun yanmasına neden olur. Bu sebepten fırçasız motorların çalıştırılabilmesi için ESC'lere ihtiyaç duyulur.

Görev senaryosunda istenilen veriler ile hesaplandığında her bir motor için %50 gaz kolunda 4 kg'lık bir itki sağlaması gerekmektedir. Burada motor üreticileri her bir ürünü için gerekli verileri paylamaktadır. Araçta kullanacağımız motor Tarot markalı bir blde'dir. Yukarıdaki şartlar göz önünde bulundurulduğunda;

Tarot 2814-700KV (Şekil 18) motor için teknik veriler Tablo 2'de gösterilmiştir.



Şekil 18: Tarot2814-700KV BLDC

APC 15x4	50%	5.1	750	4450	75	9.9	72	162
	65%	8.7	1060	5240	129	8.2		
	75%	14	1460	6060	207	7.0		
	85%	18.5	1720	6530	274	6.3		
	100%	23.4	1980	6985	346	5.7		

Tablo 2: Motor Verileri

Yukarıdaki tablo irdelendiğinde seçilen motorun hangi pervane, kaç V batarya ile bu sonuçların alındığına dair teknik veriler görülmektedir. Aslında itki sisteminde motor seçimi yapıldığında hem pervane hem de batarya seçimi de yapılmış olmaktadır. Dolayısıyla yukarıda seçtiğimiz motorla birlikte 15x4 pervane (Şekil 19) kullanıldığında 1,98 Kg'lık bir itki sağlayacağı görülmektedir.



Şekil 19: 15x4 Pervane

ESC fırçalı ve fırçasız motorların hızını ayarlayan, hız kontrol ünitesidir. Diğer bir ifade ile pilden aldıkları elektrik enerjisini, alıcının gaz kanalından aldığı sinyal ile sürerek motorlara ileten ve motor devrini kontrol eden hız kontrolcüleridir. İstatistik olarak en çok kazaya sebep veren parçadır, bu sebeple yüksek kaliteli ve önerilen ürünlerin kullanılması önemlidir. Profesyonel sistemlerde kaliteli ve yüksek Amper değerli ESC'ler kullanılmalıdır. Hız kontrolcüsü (ESC) olarak yine yukarıdaki verilerden en az 30A bir ESC kullanılmalıdır. (Şekil 20)



Şekil 20: ESC (Hız Kontrolcüsü)

Fırçasız motorların devir hızları 6000 rpm civarlarında olmaktadır. Yüksek rpm sebebiyle fırçasız motorlar yüksek akım veren ve yüksek kapasiteye sahip pillere ihtiyaç duymaktadırlar. Li-po (lityum-polimer) piller yüksek akım ve yüksek kapasite ihtiyacını en yüksek verimde karşılayan besleme kaynaklarıdır. Pilin kapasitesi ve ağırlığı doğru oranda artmaktadır. Çok ağır pil model uçak kanatlarının taşımayacağı kadar ağır olabilir. Pilin voltajı, motorun özelliklerine göre ve istenilen devire göre ayarlanır. Pilde dikkat edilmesi gereken değer “C” değeridir. Lipo’ların üzerinde 15C, 20C, 30C gibi değerler vardır

Bu C değerini pilin amperi ile çarpıldığında lipo’nun anlık olarak verebileceği amper değeri ortaya çıkar. Örneğin 2200mA 20C lipo ($2200 \times 20 = 44,000$) 44A akım verir. Motor maksimum 35A çekiyorsa, ESC 40A ise bu 44A verebilen pil uçuş sırasında ısınmadan yeterli beslemeyi sağlayacaktır. Düşük C değerli lipo’lar kullanılır ise pil ısınır, yıpranır ve çabuk bozulur.

Yine tablo verilerinden güç kaynağı olarak 4S 14.8 V Li-Po batarya tercih edilmiştir (Şekil 21). 20 dk uçuş süresini sağlamak için 6200 mAh kapasiteli bir batarya olması gerekmektedir.



Şekil 21: Li-Po Batarya

2.5.3- Uçuş Kontrol Kartı

Bu birim sistemin beynidir ve tüm dengede kalma, kumanda verisi okuma, batarya kontrolü gibi kritik işlemler bu birim sayesinde gerçekleştirilmektedir. Bu kapsamda sistem üzerindeki en kritik parçadır.

Temel görevi denetim birimi ve algılayıcılardan gelen bilgiyi alma, işleme ve gerekli şekilde çıkışa aktarmaktır. Bu kartlar üzerinde jiroskop ve ivme ölçer sensörler bulunur. Bu sensörlerden aldığı bilgiye göre kart, motorların devirlerini değiştirerek istenilen yönde hareketi ve dengeyi sağlar. Kumandadan gelen hareket yönüne karşılık olarak motorların devirlerini değiştirme işini tamamen kontrol kartı üstlenir. Bir kontrol kartının olmazsa olmazı jiroskop sensörüdür. Bunun yanında ivme ölçer barındıran kartlar otomatik denge yeteneğine de sahip olur. Barometre sensörü bulunduran kartlar kullanılırsa, drone'un sabit bir irtifada kalabilmesi sağlanır.

İleri seviye kartlarda GPS bulunur ve bu sayede drone, bilgisayarda harita üzerinde belirlenen rotaya bağlı kalarak otonom uçuş gerçekleştirebilir, kumanda ile uçulduğunda menzile aşılmada kalkış yaptığı yere geri dönebilir (return to home).

Yerli ve yabancı İHA'ların birçoğu ilk etapta hazır, başarısını kanıtlamış bir otopilot kartı kullanılarak uçurulmaktadır. Genel anlamda otopilot kartı olarak Pixhawk kullanılmaktadır. Şekil 22'de pixhawk otopilot kartının görseli verilmiştir.



Şekil 22: Otopilot Kartı

2.5.4- Küresel Konumlandırma Sistemi (Gps)

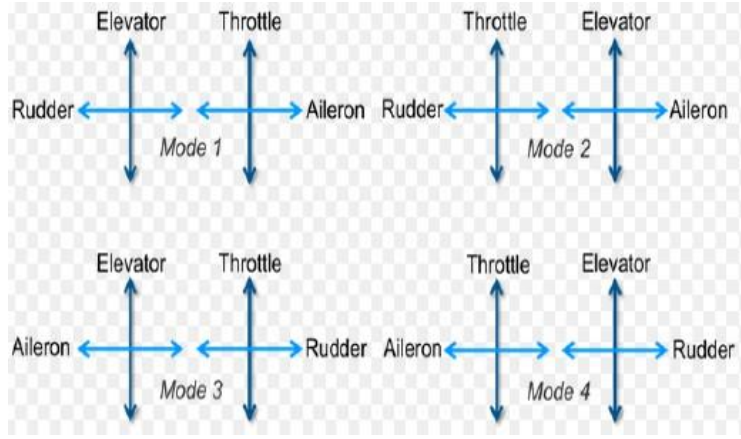
GPS alıcısı ile multicopter dünya üzerinde bulunduğu enlem boylam bilgisini alır ve bu sayede belli bir enlem boylamda sabitleme yapılabilir. İstenilen koordinatlarda (waypoint) uçması sağlanabilir. Bulduğu noktadan ilk kalkış yaptığı yere geri dönmesi sağlanabilir (return to home özelliği). Şekil 23'te Radiolink SE100 GPS'i görülmektedir.



Şekil 23: Radiolink SE100 GPS

2.5.5- Kumanda ve Alıcı

Multicopterı uçurabilmek için bir kumandaya ihtiyaç vardır. RC kumandalarda en sık kullanılan mode 1 ve mode 2 olmak üzere iki stik seçeneği mevcuttur. Bu ikisi arasındaki fark, gaz çubuğu ve rudder'ın farklı konumlarda olmasından kaynaklanır. Dünyada ve ülkemizde büyük çoğunlukta mode 2 kumanda (gaz çubuğu sol stikte) kullanılır. Sadece geçmişte mode 1 düzenine alışmış kullanıcılar alışkanlıklarından dolayı mode 1 kumanda tercih eder. Aynı zamanda mode 3 ve mode 4 dizilimleri de mevcuttur. (Şekil 24)



Şekil 24: Kumanda Mod'ları

Şekil 25'te klasik bir kumandanın görseli verilmiştir.



Şekil 25: 12 Kanal RC Kumanda

2.5.6- Telemetri

Telemetri, herhangi bir sistemin ulaşılamayan bir kısmının uzaktan kablolu veya kablosuz olarak izlenmesi veya kontrol edilmesidir. Telemetri kelimesi Yunanca 'dan türetilmiştir. Tele: Uzak ve Metron: Ölçü kelimelerinden Telemetri sözcüğü günümüz teknolojisinde yerini almıştır. Birçok modern telemetri sistemleri düşük maliyetlerle ve aynı anda her yerde, GSM ağları SMS'leri kullanarak telemetri verilerini iletme ya da almak için kullanır. Bir telemetri cihazı uzaktan herhangi bir niceliği ölçmek için kullanılır. Bir telemetri sensörü, bir veri iletim yolu, görüntü, kayıt veya kontrol aygıtından oluşur. (Şekil 26)



Şekil 26: Telemetri

2.5.7- Yer Kontrol İstasyonu Yazılımı

İHA üzerinde bulunan telemetri anteni ile yer kontrol istasyonuna hız, güç, rota, irtifa vb. gibi verileri gönderildiği, anlık olarak uçağın takibinin yapıldığı bilgisayar yazılımıdır. Şekil 27'de askeri bir sistem için geliştirdiğimiz yer kontrol yazılımımızın görseli mevcuttur.

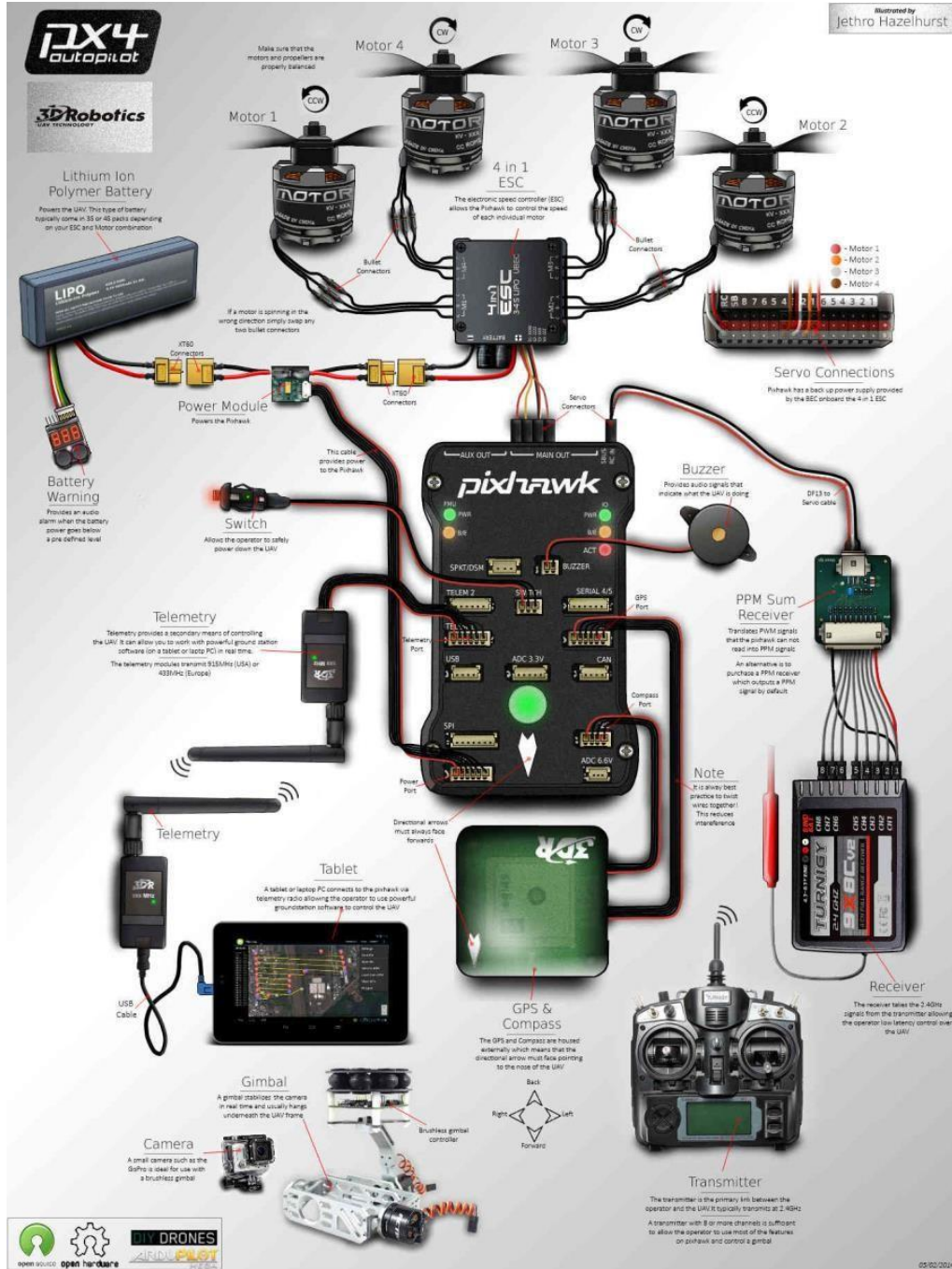


Şekil 27: Yer Kontrol Yazılımı

Bu yazılım ile birlikte İHA'nın rota planlaması yapılabilmekte ve uzaktan araca görev verileri yüklenebilmekte ve anlık olarak aracın seyri, kamera görüntüsü ve kazazedede tespiti yapılmaktadır.

2.6- ELEKTRONİK SİSTEMİN BAĞLANTI ŞEMASI

Tüm elektronik sisteme ait genel bağlantı şeması Şekil 28'de gösterilmiştir.



Şekil 28: Bağlantı Şeması

2.7- GÖREV SENARYOSUNA GÖRE YÜK SEÇİMİ

Yukarıda elektronik ve mekanik sistem seçimlerini yaptığımız aracın yüksüz ağırlığı 2,5 kg olarak ölçülmüştür. Geriye kalan 1,5 kg'lık bir yük için bazı ilk yardım malzemeleri uygun görülmüştür. İki farklı yük seti için farklı seçenekler verilmiştir. Bu paketlerin içinde kazazedenin ekipler onu kurtarmaya gelinceye kadar durumunu stabil tutması için gerekli malzemeler bulunacaktır. Örnek verecek olur isek bu paketlerin içinde kazazedenin ekiplerle iletişime geçebilmesi için bir adet telsiz ya da kazazedenin dehidrasyon (su kaybı) yaşamasına karşın su bulunacaktır.



Şekil 29 İHA üzerine yerleştirilecek örnek paketler a) erzak paketi b) ilk yardım çantası

3- ÜRETİM YÖNTEMLERİ

Günümüzde insansız hava araçlarının neredeyse tamamına yakını karbon fiber bazlı üretim yöntemini tercih etmektedir. Hafif, mukavemetli, ısıya dayanıklı ve korozyona karşı dirençli olan bu malzeme önümüzdeki yıllarda kullanım alanını daha da arttıracaktır.

3.1- KARBON FİBER NEDİR?

Karbon fiber (CF, grafit elyaf) 5-10 mikrometre çapında ve karbon atomlarından oluşan bir elyaf türüdür. Karbon fiber başka malzemelerle bir araya getirilerek kompozit halini alır. Plastik reçine ile birleştirilip kalıba girdiğinde karbon fiberle güçlendirilmiş polimer (genel adıyla karbon fiber) halini alır. Karbon fiber çok hafif ve yüksek mukavemetli bir malzemedir.

3.2- KARBON FİBERİN TARİHÇESİ

Karbon fiber 1958 yılında Cleveland Ohio yakınlarında bulunmuştur. Başlangıçta sadece izolasyon, filtrasyon malzemeleri ve aydınlatma uygulamalarında kullanılmaktaydı. Yıllar sonra Union Carbide Şirketi, Amerikan Hava Kuvvetleri'ne fiberglass kumaş yerine karbonlaştırılmış kumaşı tanıtmıştır. Her ne kadar mekanik özellikleri, kullanılan diğer malzemelere göre geride olsa da Union Carbide, karbon fiberin ne kadar büyük bir potansiyeli olduğunu fark etti ve daha sonra onu mükemmel bir şekilde işleyip karbon fiberi meydana getirdi.

3.3- KARBON FİBERİN ÜRETİMİ

Karbon fiberin üretimine bakacak olursak 4 ana bölümden oluştuğunu görürüz.



Şekil 30: Elyaf (kumaş) Karbon fiber

3.3.1- Oksidasyon

İlk olarak elyaflar hava ortamında 300 °C'a ısıtılır. Bu işlem, elyaftan hidrojenin ayrılmasını, daha uçucu olan oksijenin eklenmesini sağlar. Ardından karbonizasyon aşaması için elyaflar kesilerek grafit teknelerine konur. Polimer merdiven yapısından kararlı bir halka yapısına dönüşür. Bu işlem sırasında elyafın rengi beyazdan kahverengiye dönüşür ve ardından siyah olur.

3.3.2- Karbonizasyon

Elyafların yanıcı olmayan atmosferde 3000 °C'a kadar ısıtılmasıyla, liflerin %100 karbonlaşmasının sağlanması aşamasıdır. Karbonizasyon işleminde uygulanan sıcaklık, üretilen elyafının sınıfını belirler.

3.3.3- Yüzey İyileştirme

Karbonun yüzeyinin temizlenmesi ve elyafın kompozit malzemenin reçinesine daha iyi yapışabilmesi için elektrolit banyoya yatırılır.

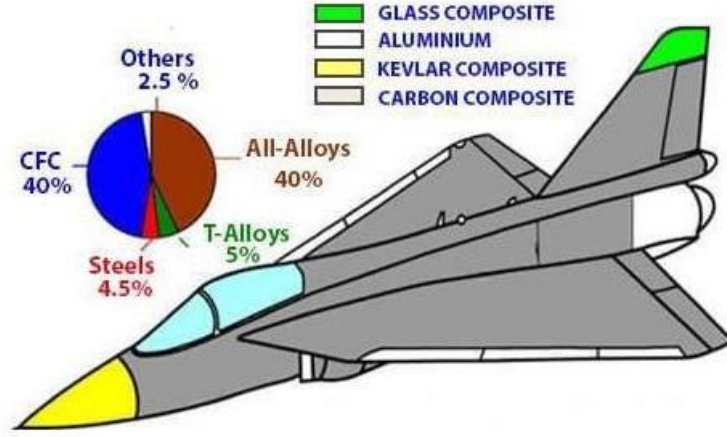
3.3.4- Kaplama

Bu aşama elyafı sonraki işlemlerden korumak için yapılan nötr bir sonlandırma işlemidir. Elyaf, reçine ile kaplanır. Genellikle bu kaplama işlemi için epoksi kullanılır. Kompozit malzemede kullanılacak olan reçine ile elyaf arasında bir ara yüz görevi görür.

3.4- NEDEN KARBON FİBER?

- Tüm dünyada yakıt tasarrufu sağlayan ve tüketim emisyonlarını azaltan, daha hafif malzemelere yönelik talep artışı
- Çelikten %67 daha hafif olması
- Alüminyum ve camdan %50 daha hafif olması
- Daha güvenli ürün üretilmesini sağlayan güçlü bir malzeme olması ve kullanıcılar için daha yüksek güvenlikli çözümler sunması
- Çelikten 4-5 kat daha güçlü olması
- Çelik, alüminyum ve camdan en az 2 kat daha sert olması
- Korozyon ve yorgunluğa dirençli olması
- Isıya dayanıklı ve elektrik iletkeni olması
- Tasarımlarda esneklik sağlaması
- Kolay şekillenebilir olması

Günümüzde neredeyse her alanda kendine yer edinmiş olan karbon fiber, artık hayatımızın olmazsa olmazlarından. Gökyüzünde uçan araçların, karada kullanılan spor arabaların, gemilerin, iletişimde ve yayında hayati öneme sahip uyduların var oluşlarının yapı taşıdır karbon fiber. Şekil 31’de bir hava aracında kullanılan karbon fiber malzemelerin görseli verilmiştir.

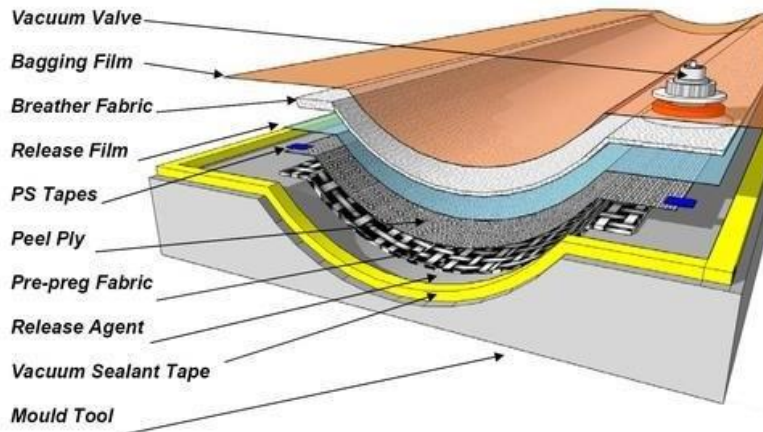


Şekil 31: Hava Aracında Kullanılan Malzemeler

3.5- MULTICOPTERLERDE PARÇA ÜRETİMİ

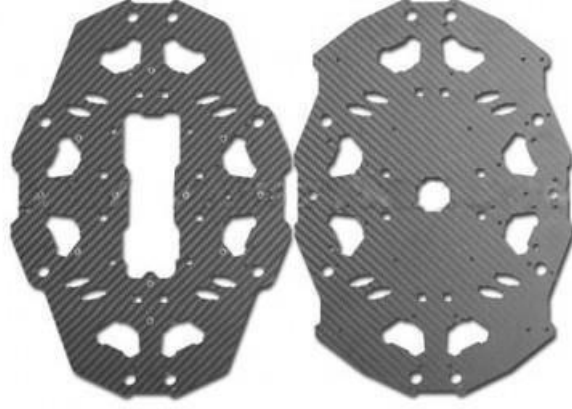
3.5.1- Frame, Kol ve İniş Takımı Üretimi

Sivil tip bir multicopterin farklı üretim yöntemleri olmakla birlikte frame, kol ve iniş takımı üretimi için karbon fiber plaka kesimi veya vakum infüzyon yöntemleri genellikle tercih edilmektedir. Vakum infüzyon yöntemine ait görsel Şekil 32’de gösterilmiştir.



Şekil 32: Vakum İnfüzyon Yöntemi

Sistemin tüm yükünü taşıyacak olan gövdenin mukavemet hesapları yapıp, frame için kabuk veya plaka kalınlığı belirlendikten sonra karbon fiber elyaf kalıba yatırılıp üzerine epoksi emdirilir. Bu işlemden sonra epoksi'nin hızlı kürleşmesi için sıcak fırına sokulan kalıp belirli bir süre fırında bekletildikten sonra çıkartılır ve kalıp ayıraçları ile birlikte frame kalıptan ayrılır. Şekil 33'te gövdeye ait bir karbon plaka gözükürken Şekil 34'te kol ve iniş takımlarının dairesel kesitli karbon boruları gözükmektedir.



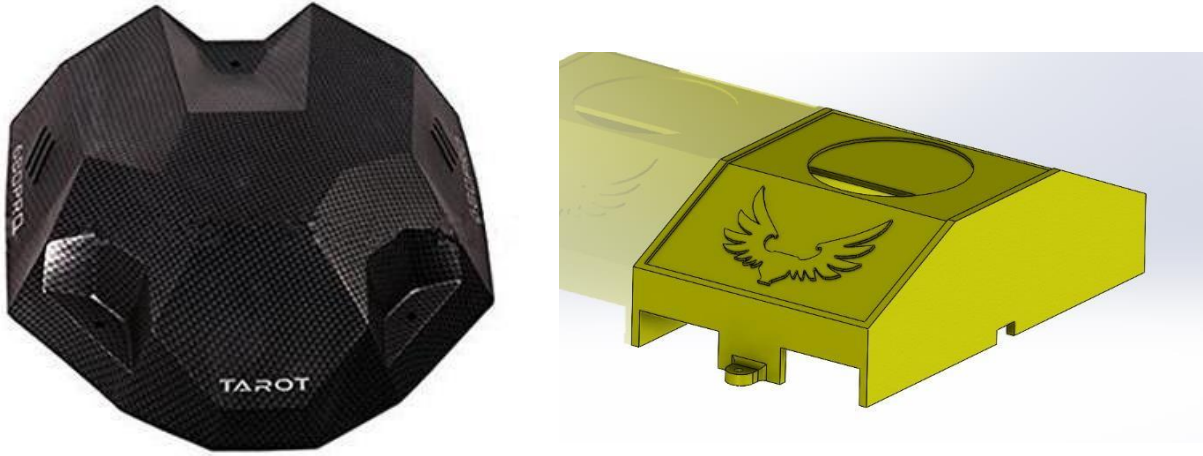
Şekil 33: Frame Plakaları



Şekil 34: Kol ve İniş Takımları

3.5.2- Canopy Üretimi

İnsansız hava araçlarında elektronik sistemi güneş ışınlarından koruyan, aynı zamanda GPS ve Telemetri antenlerinin yerleştirildiği canopy 1 mm kalınlığında karbon fiber veya plastik bazlı bir üründür. Karbon fiber canopy daha önceden kalıbı hazırlanmış olan bu ürün vakum infuzyon yöntemi karbon elyaf yatırılarak üretilmektedir. Plastik bazlı ürünler ise pek çok yöntemle üretilebilir: Örneğin tasarımı yapılmış bir canopy 3 boyutlu yazıcı kullanılarak üretilebilir. Şekil 35’te Karbon fiber ve plastik Canopy görselleri verilmiştir.



Şekil 35: Karbon fiber ve plastik Canopy

3.5.3- Pervane Üretimi

İnsansız hava araçlarında kullanılan pervaneler 3 farklı malzeme ile üretilmektedir. Aracın karakteristiğine göre pervaneler; Plastik, Ahşap veya Karbon Fiber olarak seçilmektedir. Plastik pervaneler plastik enjeksiyon yöntemi ile üretilir ve hafif araçlarda ucuz olması sebebiyle tercih edilirken, ahşap pervaneler daha stabil uçuş ve ağır yüklere maruz kaldığında esnememesi için tercih edilmektedir. Fakat ahşap pervanelerin üretimi hem zor hem de çok pahalıdır. İşte tam da bu sebepten ötürü karbon fiber pervaneler ihtiyaca daha iyi cevap vermektedir. Üretimleri kolay, hafif ve ahşap pervaneye nispeten ucuz olması sebebiyle genellikle bu pervaneler kullanılmaktadır. Karbon fiber pervaneler otomatik kalıba yatırma yöntemiyle hatvesi ve çapı belirlenerek yatırılıp üretilmektedir. Şekil 36'da plastik, ahşap ve karbon fiber pervanelerin görseli verilmiştir.



Şekil 36: Pervaneler

4- SONUÇ

Bu bitirme çalışması ile bir arama-kurtarma amaçlı insansız hava aracının uçuş prensipleri, mekanik tasarımı, elektronik tasarımı ve yer kontrol istasyonu yazılımı incelenmiştir. Projenin amacına uygun malzeme seçimlerinin yapılmasıyla projeye başlandı.

Bir arama-kurtarma multicopterinde kullanılabilecek motor, motor sürücü, batarya, pervane, uçuş kontrol kartı ve yer kontrol yazılımı sistemi seçildikten sonra aracın taşıyabileceği yük tipleri incelenmiştir.

Gerekli multicopter dinamik hesapları ve denklemleri çıkartıldıktan sonra seçilen motora yönelik hava akış analizi yapılmış ve motorun maksimum güçte ısı durumu incelenmiştir.

Gerekli analiz ve seçimlerden sonra bir arama-kurtarma multicopterinin nasıl üretildiğine değinilmiş ve üretim yöntemleri incelenmiştir. Karbon fiber esaslı üretimin ucuz, hafif ve mukavemetli olduğu için insansız hava araçlarının üretiminde tercih edildiği görülmüş ve çalışma sonlandırılmıştır.

5- KAYNAK

- [1] Yrd. Doç. Dr. İbrahim ÇAYIROĞLU, Kalman Filtresi ve Programlama, Karabük Üniversitesi, Karabük, 2012-1
- [2] Raymond A. Serway, John W. Jewett Jr. Physics for Scientists and Engineers 9th Edition, Chapter 5, Laws of Motion
- [3] Ferdinand P. Beer & E. Russell Johnston Jr. Vector Mechanics for Engineers: Statics 3rd Edition
- [4] Kırçalı D. , ‘GROUND PLANE DETECTION USING AN RGB-D CAMERA
- [5] Eğitim. , (2011) 10 Mayıs 2018 tarihinde <http://www.komhedos.com/dron-kullanim- alanlari/> adresinden erişildi.
- [6] N. Kundak and B. Mettler, “Experimental Framework for Evaluating Autonomous Guidance and Control Algorithms for Agile Aerial Vehicles”, European Control Conference, 2007, pp. 293–300.
- [7] Muhammad Saad Shaikh, “Quadcopter Fuzzy Flight Controller”, Master’s Thesis, Örebro University
- [8] S. L. Waslander, G. M. Hoffman, J. S. Jang and C. J. Tomlin, “Multi-Agent Quadrotor Tested Control Design: Integral Sliding Mode vs. Reinforcement Learning”, IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, 2005, pp. 3712–3717.
- [9] M. Valenti, B. Bethke, G. Fiore, J. P. How and E. Feron, “Indoor Multi-Vehicle Flight Tested for Fault Detection,

ÖZGEÇMİŞ



Mahmut Enes ÖZYURT 1997'de Trabzon da doğdu. Lise hayatında İHA'lar ile ilgilenmeye başladı ve öğrenim kariyerinde makine mühendisi olarak devam etme kararı alarak kendisini bu alana yönlendirdi. 2015 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü'ne girdi. Üniversite hayatında Savunma Sistemleri ve Teknolojileri Topluluğuna katılarak İHA'lar üzerine daha detaylı çalışma imkânı buldu. Burada öğrendiği bilgiler ile birçok İHA yarışmasına katıldı. 2020 yılında Tübitak 2242 üniversiteler arası proje yarışmasında ekibiyle birlikte savunma ve havacılık dalında bölge birinciliği ve Türkiye finalinde üçüncülük almıştır.

İletişim Bilgileri

E-posta: m.ensesozyurt@outlook.com

Tel: +90 530 130 95 61



Hüseyin Erdem Okutan 1998 Yılında Zonguldakta doğdu. 2016 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesinde Makina Mühendisliği Bölümünde öğrenimine başladı. Sonrasında Savunma Sistemleri Teknolojileri Topluluğunun üyesi olarak İnsansız Hava Araçları üzerine çalışmalar yapıp TÜBİTAK UAV yarışmalarına katılmıştır. 3 yıldır bu toplulukta yönetim kurulu üyesi olarak görev alarak çalışmalarına hala devam etmektedir.

İletişim Bilgileri

E-posta: erdem.oku.t@hotmail.com

Tel: +90 505 224 05 55