

T.C.
KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

DÖNER KANATLI İNSANSIZ HAVA ARACI

BİTİRME PROJESİ

Semih MUTLU

Adem AYDEMİR

Emre KARAKOÇ

Zeynep AKDOĞAN

I. ÖĞRETİM

HAZİRAN 2021

TRABZON

T.C.
KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

DÖNER KANATLI İNSANSIZ HAVA ARACI

BİTİRME PROJESİ

Semih MUTLU

Adem AYDEMİR

Emre KARAKOÇ

Zeynep AKDOĞAN

Danışman: Prof. Dr. Levent GÜMÜŞEL

Bölüm Başkanı: Prof. Dr. Burhan ÇUHADAROĞLU

HAZİRAN 2021

TRABZON

ÖNSÖZ

Bitirme projemizin hazırlanması ve yazılması sürecince değerli bilgilerini esirgemeyen projemize her zaman katkıda bulunmaya hazır olan danışman hocamız sayın Prof. Dr. Levent GÜMÜŞEL'e en içten duygularımızla teşekkürlerimizi ve saygılarımızı sunarız.

Çalışmalarımız boyunca maddi ve manevi destekleriyle her zaman yanımızda olan ailelerimize de teşekkürlerimizi bir borç biliriz.

Semih MUTLU

Adem AYDEMİR

Emre KARAKOÇ

Zeynep AKDOĞAN

Trabzon 2021

ÖZET

DÖNER KANATLI İNSANSIZ HAVA ARACI TASARIMI

İnsansız Hava Aracı (İHA) kavramı; genel olarak “drone” ismi ile anılan, uzaktan kontrol edilebilen veya belirlenen bir uçuş planına uygun olarak otomatik uçuş gerçekleştirebilen insansız uçakları nitelemek için kullanılır. Hızla gelişen teknolojiyle beraber kullanım sıklığı her gün biraz daha artmakta olan İHA’lar; günümüzde çok farklı şekil, boyut, yapılandırma ve karaktere sahip olacak şekilde üretilebilmektedir. Sabit ve döner kanatlı olmak üzere ikiye ayrılan İHA’ların döner kanatlı modelleri; çevik hareket edebilme, dikey iniş-kalkış yapabilme ve havada asılı kalabilme gibi kabiliyetlerinden dolayı sabit kanatlı İHA’lara kıyasla daha çok tercih edilmektedir. Döner kanatlı İHA sistemi birden fazla motor ve pervane ile çalışan insansız hava araçlarının en genel ismidir. Motor ve pervane sayısına göre: Bicopter (2), Tricopter (3), Quadcopter (4), Hexacopter (6), Octocopter (8) gibi farklı isimler ile de adlandırılırlar.

Bu çalışmada döner kanatlı İHA’ların bir çeşidi olarak 4 motor ve 4 pervaneye sahip olan “quadcopter” tasarımı ve üretimi yapıldı. Eczacılık ve benzeri medikal alanlar da kargo taşımacılığı yapabilecek olan bir İHA üretimi, tasarımda belirlenen aşamalara uygun olarak yapıldı.

Kullanılacak olan gövde malzemesi ve diğer bileşenler; tasarım aşamasında belirlenen malzemeler ışığında alınarak imal edildi. Yine tasarım kısmında hedeflenen hesaplamalar doğrultusunda elektronik bölümünde bulunan malzemeler araştırılarak ülkemizdeki firmalardan tedarik edildi. Belirlenen geometrik ölçülere göre imal edilen sistemin teknik resimleri ve 3B modelleri SolidWorks programı aracılığıyla çizilerek gösterildi. Edinilen bilgiler, yapılan aşamalar, tartışma ve bulgulardan sonra elde edilen sonuçlar değerlendirilerek öneriler başlığı altında iyileştirmeler yapıldı.

Anahtar Kelimeler: Döner Kanatlı İnsansız Hava Aracı, Drone, Multicopter, Quadcopter, Faydalı Yük, İmalat

ABSTRACT

ROTARY WING UNMANNED AERIAL VEHICLE

The term of Rotary Wing Unmanned Aerial Vehicle (UAV), is used for are aircrafts, generally known as ‘‘drone’’, that can be controlled remotely and can move automatically on a certain flight plan. With the rapidly developing technology, Nowadays, UAVs of which frequency of use is increasing day by day are produced in many different shapes, sizes, configuration and characters. ‘‘Multirotors’’ is preferred more than fixed-wing UAVs due to their agile mobility, ability to take off and land vertically from where they are located, and to hang in the air. Multicopter system is the general name of unmanned aerial vehicle operating with more than one rotor and propeller. According to number of rotors and propellers: they are named by different names such as Bicopter (2), Tricopter (3), Quadcopter (4), Hexacopter (6) and Octocopter (8).

In this study, a "quadcopter", which has 4 engines and 4 propellers, was designed and produced as a type of rotary-wing UAVs. The production of the UAV, which can carry cargo in pharmaceutical and similar medical fields, was carried out in accordance with the stages determined in the design.

Body material and other components to be used; It was manufactured in the light of the materials determined during the design phase. Again, in line with the calculations targeted in the design part, the materials in the electronics section were researched and procured from different companies in our country. The technical drawings and 3D models of the system, which was manufactured according to the determined geometric dimensions, were shown by drawing through the SolidWorks program. Improvements were made under the title of ‘‘Öneriler’’ by evaluating the results obtained after the information obtained, the steps made, the discussion and the findings.

Key Words: Rotary wing UAV, Drone, Multicopter, Quadcopter, Payload, Production

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
ÖNSÖZ.....	III
ÖZET.....	IV
ABSTRACT.....	V
İÇİNDEKİLER.....	VI
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	IX
SEMBOLLER DİZİNİ.....	XIII
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.1.1. Projenin Amacı, Hedefleri ve Özgünlüğü.....	1
1.1.2. İnsansız Hava Araçlarının Tanımı.....	2
1.1.3. İnsansız Hava Araçlarının Tarihi.....	3
1.1.4. İnsansız Hava Araçlarının Çeşitleri ve Kullanım Alanları.....	5
1.1.4.1. Askerî.....	6
1.1.4.2. Afet Yardımı.....	6
1.1.4.3. Arama ve Kurtarma.....	6
1.1.4.4. Fotoğraf, Video ve Hobi.....	6
1.1.4.5. Tarım.....	7
1.1.4.6. İlk Yardım ve Sağlık.....	7
1.1.4.7. Kargo ve Taşımacılık.....	7
1.1.4.8. Ölçüm ve Haritalama.....	7
1.1.4.9. Ulaşım.....	7
1.1.5. İnsansız Hava Araçlarının Çalışma Prensibi.....	8

1.1.5.1. İHA Gövde Çeşitleri.....	8
1.1.5.1.1. X Tipi Gövde.....	8
1.1.5.1.2. H Tipi Gövde.....	8
1.1.5.1.3. Sıkıştırılmış X Tipi Gövde	8
1.1.5.1.4. + (Artı) Tipi Gövde	8
1.1.5.1.5. V-Kuyruk Tipi Gövde	9
1.1.5.2. İnsansız Hava Aracı Kontrol Eksenleri	9
1.1.6. İnsansız Hava Aracı Bileşenleri	10
1.1.6.1. Gövde	10
1.1.6.2. Uçuş Kontrolcüsü	10
1.1.6.3. Elektronik Hız Kontrolcüsü (ESC)	11
1.1.6.4. Pervaneler.....	12
1.1.6.5. Pervane Koruyucuları.....	13
1.1.6.6. Algılayıcılar.....	13
1.1.6.7. Motorlar.....	14
1.1.6.8. Gimballer.....	15
1.1.6.9. Uçuş Loglama Ekipmanları.....	15
1.1.6.10. Görüntü Aktarıcılar	16
1.1.6.11. Kameralar	16
1.1.6.12. Piller (Bataryalar).....	16
1.1.6.13. Şarj Etme	17
1.1.6.14. Uzaktan Kumanda	17
1.1.6.15. İniş Takımları	18
1.1.6.16. Kurtarma Sistemleri	18
1.2. Literatür Araştırması	19

1.3. Kısıtlar ve Koşullar	23
1.4. Tasarımın Karşılatabildiği Gereksinimler	25
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR	26
2.1. İnsansız Hava Aracının Bileşen Seçimleri	26
2.1.1. Gövde Seçimi	26
2.1.2. Uçuş Kontrolcüsü Seçimi	30
2.1.3. Elektronik Hız Kontrolcüsü (ESC) Seçimi	30
2.1.4. Güç Dağıtım Kartı Seçimi	31
2.1.5. Pervane Seçimi	31
2.1.6. Algılayıcılar	32
2.1.6.1. GPS Seçimi	32
2.1.6.2. Telemetry Seçimi	33
2.1.7. Motor Seçimi	33
2.1.8. Pil (Batarya) Seçimi	34
2.1.9. Şarj Cihazı Seçimi	34
2.1.10. Uzaktan Kumanda Seçimi	35
2.1.11. Diğer Bileşen Seçimleri	35
2.2. İnsansız Hava Aracının Montaj Aşamaları	38
2.2.1. Gövde Montaj Aşamaları	38
2.2.2. Elektronik Kısımın Montaj Aşamaları	41
3. BULGULAR	52
4. TARTIŞMA	55
5. SONUÇLAR	57
6. ÖNERİLER	59
7. KAYNAKLAR	62

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1. Dört rotorlu döner kanatlı bir insansız hava aracı.....	2
Şekil 2. Tarihte fotoğrafı çekilmiş ilk insansız hava aracı.....	3
Şekil 3. 1937 yılında yapılan Curtiss N2C-2 adlı insansız hava aracı.....	4
Şekil 4. Baykar Savunma tarafından geliştirilen Malazgirt İHA	5
Şekil 5. Sırası ile Tricopter (3 motorlu), Quadcopter (4 motorlu), Hexacopter (6 motorlu), Octocopter (8 motorlu) insansız hava aracı örneği.....	6
Şekil 6. Sırası ile X tipi gövde, H tipi gövde, Sıkıştırılmış X tipi gövde, + (Artı) tipi gövde ve V-Kuyruk tipi gövde	9
Şekil 7. Sırası ile yatış (roll) hareketi, yunuslama (pitch) hareketi, dönme (yaw) hareketi	9
Şekil 8. İnsansız hava aracının iskeleti (gövdesi).....	10
Şekil 9. APM 2.8 Uçuş Kontrol Kartı.....	11
Şekil 10. Skywalker 30A ESC.....	12
Şekil 11. Pervane Dönüş Yönleri.....	13
Şekil 12. Pervane koruyucusu.....	13
Şekil 13. GPS modülü.....	14
Şekil 14. Telemetri Sistemi.....	14
Şekil 15. Sunnysky 980KV A2212 Motor.....	15
Şekil 16. 3S 2200 mAh Lityum-Polimer pil örneği.....	18
Şekil 17. 4 Kanallı kumanda ve komutları.....	19
Şekil 18. Birleştirme plakası.....	26
Şekil 19. İHA kollarının karbon fiber ile kaplanmadan önceki hali.....	27
Şekil 20. Motoru tutacak olan parçanın motora uygun şekilde ayarlanması.....	27

Şekil 21. Motor ile kol arasındaki bağlantıyı sağlayacak olan eleman.....	27
Şekil 22. Strafor köpük üst kapak.....	28
Şekil 23. Strafor köpük alt kapağın yan yüzeylerinin işlem görmemiş hali.....	28
Şekil 24. Strafor köpük alt kapağın yan yüzeylerinin zımparalanmış hali.....	28
Şekil 25. Alüminyumdan yapılmış hazne kolonları.....	29
Şekil 26. İniş takımını oluşturacak olan elemanlar.....	29
Şekil 27. APM2.8 ArduPilot Mega2.8 uçuş kontrol kartı.....	30
Şekil 28. Emax BLHell Series 30A 2s-4s sürücü ESC.....	30
Şekil 29. Kullanılacak olan güç dağıtım kartı	31
Şekil 30. Ön kısım için 11 inç kırmızı pervane.....	31
Şekil 31. Arka kısım için 11 inç mavi pervane.....	32
Şekil 32. Motor performansını test etmek için alınan 10 inç pervane.....	32
Şekil 33. Kullanılan GPS modülü.....	32
Şekil 34. Seçilen telemetri modülü.....	33
Şekil 35. Emax XA2212 820KV Multikopter için Fırçasız Motor.....	33
Şekil 36. 3500 mAh olan Li-Po batarya.....	34
Şekil 37. ImaxRc şarj aleti.....	34
Şekil 38. Flysky 10 kanallı uzaktan kumanda.....	35
Şekil 39. Güç dağıtım kartını güç modülüne bağlayan XT60 konnektörlü ara kablo...35	
Şekil 40. Hız kontrol kartına iletim sağlayan güç modülü.....	36
Şekil 41. Sökülüp takılması gereken bağlantılar için kullanılan konnektörler.....	36
Şekil 42. Kablo ve bazı ekipmanları sabitlemek için kullanılan kablo bağları.....	37
Şekil 43. Montaj Sırasında Kullanılacak ekipmanlar: Pense, tornavida, maket bıçağı, elektrik bandı, konnektörler, yapıştırıcılar vs.	37
Şekil 44. Motoru tutacak olan parça ile kolun montajı.....	38

Şekil 45. Kollar ve plakaların montajı.....	38
Şekil 46. İniş takımının plaka altına montajı.....	39
Şekil 47. Alt kapak montajı.....	39
Şekil 48. Alt kapağın iskelet ile montajı.....	40
Şekil 49. Üst kapağın da birleştirilmesiyle tamamlanmış olan gövde montajı.....	40
Şekil 50. Karbon fiber kaplama yapılan ana iskelet, motor bağlantı plakaları, dış kaplama olan sıkıştırılmış köpük ve elektronik bağlantı için gerekli malzemeler	41
Şekil 51. ESC'lerin ve üç dağıtım kartını güç modülüne bağlayan XT60 konnektörlü ara kablonun güç kartına bağlantısı.....	41
Şekil 52. Güç kontrol kartının gövdeye montajı.....	42
Şekil 53. Konnektör bağlantısı yapılmış motor.....	42
Şekil 54. Uçuş kontrol kartının gövdeye monte edilmesi, ESC'lerin kollara kablo bağları ile sabitlenmesi ve konnektör bağlantısı yapılmış motorların motor tutucularına montaj aşaması.....	43
Şekil 55. Motorların test aşaması.....	43
Şekil 56. ESC'lerin kalibrasyonu.....	44
Şekil 57. Bağlantı kabloları, GPS ve telemetri modülünün montaj aşaması.....	45
Şekil 58. GPS ve telemetri modülünün kontrol aşaması.....	45
Şekil 59. Pervanelerin motorlara montajı.....	46
Şekil 60. Ön ve arka kısım için farklı renklerde seçilen pervaneler.....	46
Şekil 61. Döner kanatlı insansız hava aracımızın son hali.....	47
Şekil 62. GPS ve telemetri kontrollerinin ekran görüntüsü.....	47
Şekil 63. Uçuş testi öncesi bir kesit.....	48
Şekil 64. Kırılan motor taşıyıcı plaka.....	48
Şekil 65. Yeni tasarımla imal edilen motor taşıyıcı plaka.....	49

Şekil 66. Yeni tasarımla imal edilen motor taşıyıcı plakanın montajı.....	49
Şekil 67. Uçuş denemesinin başarıyla gerçekleştiği andan bir kesit.....	50
Şekil 68. Uçuş denemesinin başarıyla gerçekleştiği andan bir kesit.....	50
Şekil 68. Uçuş denemesinin başarıyla gerçekleştiği andan bir kesit.....	51
Şekil 70. Program üzerinden ekran görüntüsü.....	52
Şekil 71. Çentik etkisini azaltıcı tasarım.....	53

SEMBOLLER DİZİNİ

- 3B** : 3 Boyutlu
- Ar-Ge** : Araştırma ve geliştirme
- APM** : Application Performance Monitoring : Uygulama İzleme Performansı
- AUW** : All Up Weight : Toplam Uçak Ağırlığı
- °C** : Celcius
- C_M** : Santimetre : Yunuslama katsayısı
- CNC** : Bilgisayar Destekli Üretim Cihazları
- CW** : Clockwise : Saat Yönünde
- CCW** : Counter Clockwise : Saat Tersİ Yönünde
- DC** : Doğrudan Akım
- ESC** : Electronic Speed Controller : Elektronik Hız Kontrolcüsü
- FPV** : First Person View
- GPS** : Global Positioning System
- GHz** : Gigahertz
- h** : Saat
- HİHA** : Hibrit İnsansız Hava Aracı
- İHA** : İnsansız Hava Aracı
- KV** : Devir Katsayısı : Dakikada Tur Sayısı
- Li-Po** : Lityum-Polimer
- mA** : Miliamper
- mAh** : Miliamper saat
- mm** : Milimetre

- PID** : Proportional-Integral-Derivative : Oransal-İntegral-Türevsel
- RPM** : Revolution Per Minute : Dakikadaki Devir Sayısı
- SİHA** : Silahlı İnsansız Hava Aracı
- UAV** : Unmanned Aerial Vehicle : İnsansız Hava Aracı
- V** : Volt

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

1.1.1. Projenin Amacı, Hedefleri ve Özgünlüğü

İnsansız hava araçlarının ülkemiz ve dünyada yaygın kullanımı askerî alandadır. Bunun bir sonucu olarak hafızalarda çatışma ve savaşlar gibi doğrudan şiddeti çağrıştıran olaylarla özdeşleşen insansız hava araçlarının amatör ve ticarî kullanımı son dönemde giderek yaygınlaşmış ve gelişmekte olan teknolojiyle beraber insansız hava araçları askerî kullanım alanının dışına çıkarak pek çok farklı alanda kullanılmaya başlanmıştır. Bunlardan bazıları; arazi etüdü ve haritalama, kargo taşıma, sağlık, tarım ve medya gibi konuları kapsamaktadır.

“Döner Kanatlı İnsansız Hava Aracı” adlı bu çalışmamızda mevcut en gelişmiş donanım ve yazılımlar ile farklı malzeme birleşimleri araştırılarak, en temel parçalar yardımıyla eczacılık alanında kullanılacak bir insansız hava aracının tasarımı hedef alınmıştır. Farklı malzeme birleşimleri ile dayanımın arttırıldığı, titreşimlerin minimuma indirildiği; ağırlık, denge, model ve fiyat açısından özgün olan bir tasarım ortaya koyulmaya çalışılmıştır.

Projeyi imal etme amacımız geçmişten günümüze önemini hiçbir zaman kaybetmeyen, aksine günümüzde de giderek önemli hale gelen sağlık alanında teknolojiyen faydalanma oranını arttırmaktır. Öncelikli hedefimiz ecza depoları arası ilaç taşıma görevini yerine getirebilecek bir insansız hava aracı üretmek olmuştur. Bu çalışmanın başarılı olması halinde eczanelerden gerekli yerlere daha yüksek kapasitede taşıma yapmak üzere tasarımıımızı geliştirmeyi hedeflemekteyiz.

Araç, sahip olacağı yarı otonom uçuş özelliği ile bir merkezden yönetebilecek ve farklı depolar arası veya depo ile eczane arasında acil veya normal koşullarda ilaç sevkiyatını gerçekleştirebilecek şekilde üretilmiştir.

Hedefimiz barışçıl niteliklere sahip, bazı maliyet ve sorunlu kalem masraflarını aşabilmek için insanlığa faydalı, acil durumlarda ve normal taşımacılık işlemleri için kullanılacak; özgün, faydalı bir model tasarlamak, geliştirmek ve literatüre kaynak oluşturmaktır. Üretimini gerçekleştirdiğimiz insansız hava aracının amaçlarımız doğrultusunda başarıyla çalıştığı görülmüş ve aynı amaçla kullanılan diğer İHA’lardan farklılığı ile özgünlüğünü korumaktadır.

1.1.2. İnsansız Hava Araçlarının Tanımı

“İnsansız Hava Aracı” (İHA), pilot gerektirmeyen ve uzaktan kontrol edilebilen hava araçlarına verilen genel bir isimdir. Tarihi oldukça eskilere dayanmaktadır. Diğer birçok teknolojide olduğu gibi İHA’ların sahip olduğu teknoloji de daha çok askerî amaçlarla geliştirilmiştir.



Şekil 1. Dört rotorlu döner kanatlı bir insansız hava aracı [25]

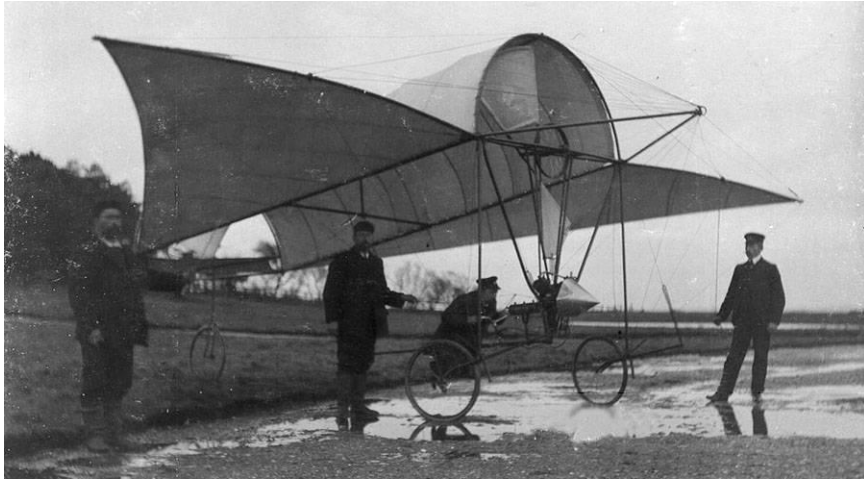
İHA tabiri, uzaktan komuta edilen hava aracını temsil eder. İHA, komutları İHA’ya ileten yer kontrol merkezi ile birlikte insansız hava aracı sistemini oluşturur. “İnsansız Hava Aracı Sistemi” şeklindeki adlandırmanın sebebi, sahip olduğu teknoloji ilerledikçe İHA’ların birçok farklı alt sistemi de barındırmasına dayanır. Bu kapsamda, görüntü veya komuta iletimini sağlayan alt sistemler yer alır.

İHA’lar, temel olarak sabit ve döner kanatlı olmak üzere iki ana başlıkta incelenebilir. Sabit kanatlı İHA’lar, aerodinamik kaldırma kuvvetine imkân sağlayacak belirli bir kanat alanına sahip olmak zorundadır. Dikey iniş-kalkış kabiliyetleri yoktur ancak havada kalma süreleri döner kanatlılara nazaran çok daha fazladır. Döner kanatlı İHA’lar ise helikopterlerdeki gibi bir mantığa sahiptir. Yere paralel şekilde dönen pervaneleri vasıtasıyla havayı iten döner kanatlı İHA’lar, dikey iniş-kalkış yapabilme kabiliyetine sahiptir.

Dikey iniş-kalkış yapabilme ve havada asılı kalabilmelerinin yanı sıra basit yapıları nedeniyle İHA kategorisinde döner kanatlı İHA'lara daha fazla talep olmaktadır. Döner kanatlı İHA'lar; çok rotorlu (multirotor), dikey olarak iniş ve kalkış yapabilen, üç eksenle hareket edebilen ve motora bağlı bir pervanenin ürettiği itki sayesinde uçabilen hava araçlarıdır.

1.1.3. İnsansız Hava Araçlarının Tarihi

1800'lü yıllardan itibaren bazı askerî uzmanların, bu araçların stratejik amaçlarla ne şekilde kullanılabileceği yönünde düşünmeye başladıklarını görürüz.



Şekil 2. Tarihte fotoğrafı çekilmiş ilk insansız hava aracı [26]

Bu bağlamda, 1849 yılında Avusturya, içinde zaman fitilli bombalar bulunan 200 adet balonla Venedik'e saldırarak ilk saldırı amaçlı insansız hava aracı kullanımını gerçekleştirmiştir. Söz konusu olayda, Avusturyalılar tarafından geliştirildiği ifade edilen patlayıcı yüklü balon, ilk insansız hava araçlarından biri olarak kabul edilir. Ancak anlaşılacağı üzere aracın kontrolü oldukça kısıtlıdır.

1871 yılında, yapmış oldukları uçağı 11 saniyede 40 metrelik bir mesafe boyunca uçurarak havacılıkta yeni bir çığır açan Wright kardeşlerin ilk insanlı uçak denemelerinden sonra insansız ilk uçak, Birinci Dünya Savaşı'nın sonlarına gelindiğinde geliştirilmiştir.

1916'da Elmer Sperry ile Peter Hewitt isimli tasarımcıların iş birliği neticesinde, ABD Donanması için bombardıman amacıyla kullanılacak insansız bir uçak inşa edildi. Söz konusu uçak, uzaktan kontrol edilebilecekti.



Şekil 3. 1937 yılında yapılan Curtiss N2C-2 adlı insansız hava aracı [27]

Saldırı amacıyla geliştirilen insansız hava araçları, II. Dünya Savaşı yıllarında 1000 kg'lık bombaları taşıyabilecek kapasiteye ulaştı. İkinci Dünya Savaşı'ndan sonra teknolojideki gelişimin ivmelenmesiyle insansız hava sistemleri geliştirildi. Bu kapsamda, 1951 yılından itibaren çalışmalar yürüten Ryan Aeronautical Company, askerî eğitimlerde kullanılması için insansız hedef uçaklar geliştirmeye başladı.

İkinci Dünya Savaşı yılları ardından özellikle 1990'lı yıllardan sonra İHA sistemleri askeri amaçların yanı sıra; taşımacılık, sağlık, tarım ve benzeri alanlarda yaygın olarak kullanılmaya başlandı.

Günümüzde birçok farklı şekil, boyut, yapılandırma ve özellikle üretilen İHA sistemlerini görmekteyiz. Gelişen birçok teknolojiye gördüğümüz gibi, askeri amaçlarla ortaya çıkan ve giderek ticarî kullanımı artan İHA sistemlerinin tarihsel gelişimini ve bakış açısını tek bir başlık altında toplayacak bir araştırma yapılmaya çalışıldı.

1.1.4. İnsansız Hava Araçlarının Çeşitleri ve Kullanım Alanları

Sabit kanatlı ve döner kanatlı olmak üzere ikiye ayrılan insansız hava araçları, geçmişten günümüze kadar yaşadığı tarihsel süreçte birçok alanda kullanılmıştır. Genel olarak askerî ve sivil olarak sınıflandırılabilir olan kullanım alanları, askerî anlamda istihbarat, gözetleme ve keşif (İGK) gibi amaçları kapsarken; sivil anlamda ise kargo taşımacılığı, tarımsal ürün izleme/inceleme ve eğlence/hobi gibi amaçları kapsamaktadır.

Sabit kanatlı İHA'lar, genelde “uzun menzilli” oluşlarıyla bilinirler. Yani sabit kanatlı İHA'lar (döner kanatlılara nazaran) daha uzun süre havada kalırlar. Genellikle tek pervane ve motora sahip olan sabit kanatlı İHA'ların havada kalması, kanatlarının yeterli lift (kaldırma) kuvvetini sağlamasına bağlıdır. Daha az enerji tüketen sabit kanatlı İHA'lar bu nedenle uzun menzilli uçuş için daha uygundur.

Daha çok helikopter örneğiyle bilinen döner kanatlı hava araçları da insansız modellere sahiptir. Helikopter tipindeki İHA'lar ise, 4 rotorlu modellere nazaran daha zor bir kullanıma sahiptir. Daha tecrübeli pilotlara ihtiyaç duyar. Şekil 9'da bu tip İHA'lardan biri olarak Baykar Savunma tarafından geliştirilen Malazgirt İHA'nın bir görseli sunulmuştur.



Şekil 4. Baykar Savunma tarafından geliştirilen Malazgirt İHA [28]

Bir dronu oluşturan dört temel yapı; Tricopter (3 motorlu), Quadcopter (4 motorlu), Hexacopter (6 motorlu) ve Octocopter (8 motorlu) 'dır. Bu dört drone tipi, dronun hangi gövdeye sahip olduğunu anlamamıza yardımcı eder.



Şekil 5. Sırası ile Tricopter (3 motorlu), Quadcopter (4 motorlu), Hexacopter (6 motorlu), Octocopter (8 motorlu) insansız hava aracı örneği [29 , 30 , 31 , 32]

Kullanım alanları: Askerî, Afet Yardımı, Arama ve Kurtarma, Fotoğraf, Video ve Hobi, Tarım, İlk Yardım ve Sağlık, Kargo ve Taşımacılık, Ölçüm ve Haritalama ve Ulaşımdır.

1.1.4.1. Askerî

Genel olarak tehlikeli ve ateşli silahlar taşırılar. Hedefe kilitlemeyi ve hedefi imha etmeyi amaçlarlar. Askerî İHA'lar istihbarat, gözetleme ve keşif amacıyla da kullanılmaktadır.

1.1.4.2. Afet Yardımı

Doğal afetler için de kullanılabilirler. Uzaktan kumandalı insansız hava araçları, yangını söndürmek için özel hazneleriyle havadan su tahliye ederek aktif bir rol oynayabilmektedir.

1.1.4.3. Arama ve Kurtarma

Arama kurtarma faaliyetlerinde kullanılan İHA'lar özellikle ulaşılması zor alanlarda arama kurtarma faaliyetleri yürütürken kolaylık sağlar.

1.1.4.4. Fotoğraf, Video ve Hobi

Gelişmesi ve daha ucuz hale gelmesiyle birlikte profesyonel kamera taşıyabilen İHA'ların, dizi ve film çekimlerinde kullanılması yaygınlık kazanmıştır. Bazı kullanıcılar ise belirli yerlerde eğlence amaçlı fotoğraf veya video çekmeye zaman ayırmaktadır.

1.1.4.5. Tarım

Tarımsal tarla bitkilerinin ilaçlanmasında, sulanmasında ve gübrenmesinde artık İHA'lar kullanılmaktadır. Ayrıca mahsullerin sağlıklı bir şekilde büyümesini izlemek veya kayıt altına almak için de kullanılabilirler.

1.1.4.6. İlk Yardım ve Sağlık

Acil durumlarda devreye giren İHA'lar, teslimat süresi bakımından daha çok avantaj sağlarlar. Tıbbî malzemelerin, insanların ihtiyaç duydukları bölgelere hemen ulaşmasına yardımcı olmak için kullanılmaktadırlar. İlaçlar, defibratörler, aşılar vd. tıbbî malzemeleri ihtiyaç sahiplerine kısa sürede ulaştırabilmek için geliştirilmektedirler.

1.1.4.7. Kargo ve Taşımacılık

Mevcut yöntemleri kullanarak müşterilere yapılan kargo teslimi uzun sürdüğü için, bazı nakliye şirketleri kargoları İHA ile göndermeye başlamıştır. Kargo İHA'ları, özellikle kısa mesafelerde nakliye ve teslimat için kullanılabilirler.

1.1.4.8. Ölçüm ve Haritalama

İHA'lar, özel kameralar ile havadan kaliteli bir şekilde harita oluşturma, arazinin yükseltisini veya toplam alanını ölçme gibi amaçlarla harita mühendisleri tarafından kullanılabilirler.

1.1.4.9. Ulaşım

Gelecekte ulaşım amacıyla yaygın olarak kullanılacağı düşünülen uçan arabalar için İHA'lardan ilham alındığı söylenebilir. Türkiye'de de bu konuda çalışmalar yürütülmektedir. Bu kapsamda tasarlanan araçlardan biri de Baykar Savunma tarafından geliştirilen CEZERİ'dir.

1.1.5. İnsansız Hava Araçlarının Çalışma Prensibi

Projede, dört rotorlu döner kanatlı bir insansız hava aracı tasarımı baz alınmıştır. İmalatı yapılması planlanan İHA tasarımı, genellikle bir gövde üzerine 4 adet motorun yerleştirilmesi ve bu motorların oluşturduğu itki ile söz konusu İHA'nın havalanması prensibine göre çalışır.

1.1.5.1. İHA Gövde Çeşitleri

1.1.5.1.1. X Tipi Gövde

Yarış ve serbest uçuş İHA'larının çoğunda X tipi gövde kullanılır. Motorlar ağırlık merkezi ortada olacak şekilde yerleştirilir. Bu tasarım sayesinde hızlı yön değiştirme ve yüksek manevra kabiliyetine sahip olunur.

1.1.5.1.2. H Tipi Gövde

Günümüzde yaygın olarak kullanılan İHA gövdelerinden biri de H tipi gövdedir. İHA yapımında tecrübesi az olanların ilk tercihidir. H tipi, geniş bir gövdeye sahiptir ve kolların yapısı "H" harfi şeklindedir. Bu gövde tasarımı çok sayıda FPV ekipmanı taşıyabilir ve batarya aracın üzerine yerleştirilebilir.

1.1.5.1.3. Sıkıştırılmış X Tipi Gövde

Normal X tipi gövde yapısına göre daha dar ve uzundur. Bu durumda, pervanelerin yerleşimiyle birlikte daha çok itki oluşmaktadır. Kararlı "Roll" hareketi ve daha stabil bir "Pitch" hareketine olanak sağlar. Farklı bir tasarıma sahip olmak isteyen yarış pilotlarının tercihidir.

1.1.5.1.4. + (Artı) Tipi Gövde

Artı (+) şekline benzediği için "Artı Tipi Gövde" ismini alır. 4 rotorlu döner kanatlı İHA'ların ana gövdesi "+" şeklinden oluşmakta ve her bir uçağa ise bir motor bulunmaktadır.

1.1.5.1.5. V-Kuyruk Tipi Gövde

V-Kuyruk tipi gövde, yapısı nedeniyle diğer gövdelere göre ağır bir yapıya sahiptir. Özellikle “Yaw” hareketi için dengeli bir uçuş kabiliyeti sağlamaktadır. Bazı sabit kanatlı insansız hava araçlarında da bu yapıdan örnek alınmıştır. Döner kanatlı İHA modellerinde daha az kullanılan bir gövde çeşididir.

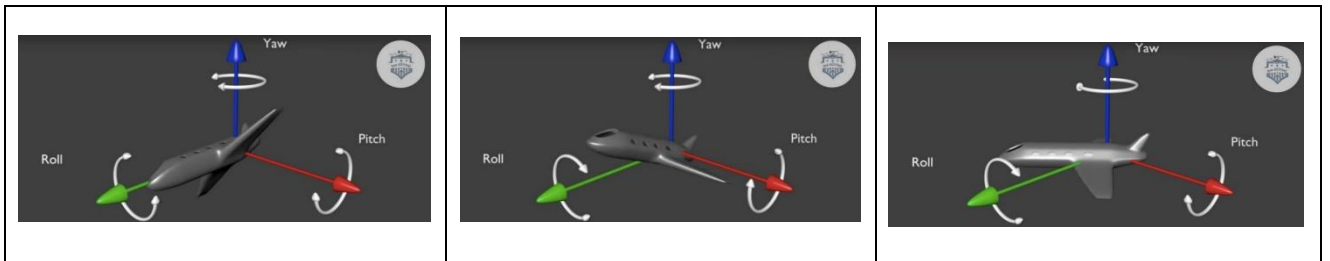


Şekil 6. Sırası ile X Tipi Gövde, H Tipi Gövde, Sıkıştırılmış X Tipi Gövde, + (Artı) Tipi Gövde ve V-Kuyruk Tipi Gövde [33 , 33 , 33 , 34 , 35]

1.1.5.2. İnsansız Hava Aracı Kontrol Eksenleri

İHA'nın üç adet kontrol eksenine sahiptir; boylamsal (roll), yatay (pitch), dikey (yaw).

- Boylamsal eksen, uçağın sağa ve sola yatış hareketleridir.
- Yatay eksen, uçağın burun aşağı ve burun yukarı yaptığı hareketler olarak düşünülebilir. Bu durum eğim vermek olarak adlandırılır.
- Dikey eksen, uçağın yönünün belirlenmesinde rol oynayan yani sağa ve sola dönüş hareketleridir.



Şekil 7. Sırası ile yatış (roll) hareketi, yunuslama (pitch) hareketi, dönme (yaw) hareketi [22]

1.1.6. İnsansız Hava Aracı Bileşenleri

1.1.6.1.Gövde

Şasi, diğer isimleriyle iskelet veya çerçeve olarak adlandırılır ve İHA'nın tüm parçaları bu ana bileşen üzerine sabitlenir. Şasi hafif olmalıdır. Eğer şasi hafif olursa motor, pilden aldığı akımla birlikte gücünün çoğunu gövdeyi kaldırmak için harcamak yerine taşıyacağı faydalı yük kapasitesini artırmak için veya havada daha uzun süre kalabilmek için kullanacaktır. Genel olarak karbon fiber, ahşap, alüminyum ve yüksek kaliteli plastik malzemeler gövde malzemesi için tercihler arasındadır. Gövde seçiminde kullanılan malzemeler, İHA'nın kullanım amacına ve uygulanmasına göre değişiklik göstermektedir.

- Şekillerine göre İHA gövde çeşitleri; X tipi gövde, H tipi gövde, sıkıştırılmış X tipi gövde, + (Artı) tipi gövde, V-Kuyruk tipi gövde



Şekil 8. İnsansız hava aracının iskeleti (gövdesi) [22]

1.1.6.2. Uçuş Kontrolcüsü

Uçuş kontrolcüsü İHA'nın hakimiyetini sağlayan birleşendir. Uzaktan kumanda veya uzaktan kumanda üzerindeki alıcı verilerine göre, İHA'yı havada tutmak ve motora hangi hızda döneceğini bildirmek için elektronik bir hız kontrol cihazı kullanılır. Jiroskoplar ve ivmeölçerler gibi alıcılara sahip olabilir. Gelişmiş kartların GPS fonksiyonu sayesinde, İHA bilgisayar haritasında belirlenen rotaya göre otomatik olarak uçabilir veya uzaktan kumanda menziline insan kontrolü dışında kaldığında kalkış konumuna dönebilir.

İHA'nın amacına bağlı olarak, kontrol kartı farklı işlevlere ve sensörlere sahip olabilir. Otomatik pilot işlevine sahip uçuş kontrolörü, GPS modülü yardımıyla önceden belirlenmiş bir rotada uçabilir ve yer kontrol merkezinden verilen komuta göre kalkış konumuna kendiliğinden dönebilir.

Belirlenen bir rota önceden girilirse İHA, bu rotada belirli bir hızda uçabilir ve istenilen süre boyunca belirlenen irtifada kalabilir.



Şekil 9. APM 2.8 Uçuş Kontrol Kartı [23]

1.1.6.3. Elektronik Hız Kontrolcüsü (ESC)

Elektronik Hız Kontrolcüsü, motora hangi hızda ve yönde çalışacağını bildiren bir devredir. İHA, motorun hızını ve yönünü kontrol etmek için uçuş kontrolöründen alınan sinyale göre güç akımını ayarlar. Bu devreler genellikle 12A'dan 40A'e kadar olan akımları destekler ve seçimi, kullanılan motorun ve bataryanın kapasitesine göre yapılmaktadır. ESC'nin bir tarafı motora, diğer tarafı ise uçuş kontrolcüsüne bağlanır.

ESC'ler yalnızca hız kontrolü için kullanılır ancak bazı durumlarda, İHA'daki diğer bileşenlere güç sağlamaktan da sorumludurlar. Bu yapıdaki ESC'ler, güç kaynağı bileşenleri için sabit voltajlı bir güç kaynağı sağlayabilen "Battery Eliminating Circuit (Pil Eliminasyon Devresi)" adı verilen bir işleve sahiptirler. Bu durumda İHA'da sadece bir adet elektronik hız kontrol cihazı olması ve cihazda sadece bu fonksiyonun olması yeterlidir. Ayrıca bağlantı yerinde sabitlenmeli ve rahat bir şekilde hava alan yere monte edilmelidirler.

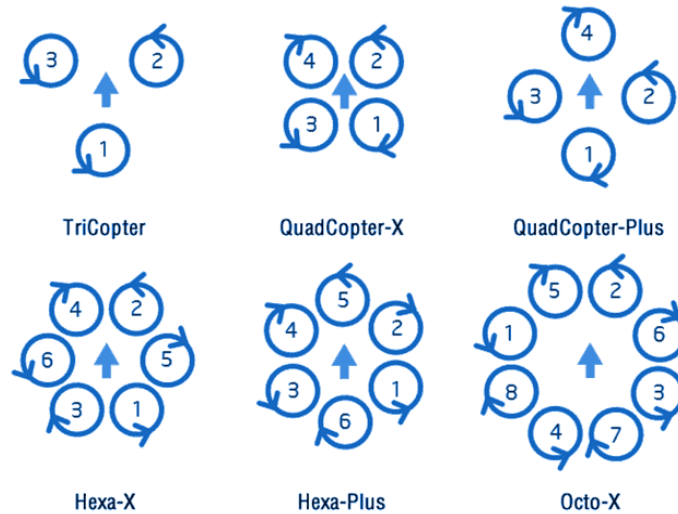


Şekil 10. Skywalker 30A ESC [36]

1.1.6.4. Pervaneler

Pervaneler, havayı iterek İHA'nın irtifa kazanmasını sağlayan bileşenlerdir. Motorun gücüne ve İHA'nın boyutlarına bağlı olarak işlevleri ve boyutları değiştirilebilir. İHA pervanesi sadece kendisine uygun dönme yönüne sahip motorla kullanılmaktadır. Kullanım amacına bağlı olarak tasarıma uygun pervane seçilmelidir. Pervanenin iki veya üç bıçaklı olabilir. Pervane tipi, İHA'nın uçuş sırasında ne kadar gürültü ve titreşim oluşturduğunu etkileyen önemli bir faktördür. Pervane seçiminde, motor kataloglarından yararlanılır. Kullanılan motorun özelliklerine göre en uygun pervane boyutları, motor kataloglarında listelenmiştir. Plastik pervanelerin kaldırma kuvveti, sert malzemelerden yapılmış pervanelerin kaldırma gücünden daha azdır. Bununla birlikte karbon fiber katkılı pervanelerin yüksek mukavemetlerinden dolayı, çarpma durumunda kırılması zordur. İHA'nın yönünü karıştırmamak için aracın ön ve arka kısımları için farklı renkte pervaneler seçilmelidir.

- Çok rotorlu İHA'larda iki farklı dönüş yönüne sahip pervane kullanılır: Saat yönünde dönen (clockwise) ve Saat yönünün tersinde dönen (counter clockwise).
- Üretim Malzemelerine Göre İHA Pervane Çeşitleri: Polikarbon, Plastik ve Karbon Fiber
- Şekillerine Göre İHA Pervaneleri: 2 bıçaklı Pervane, 3 bıçaklı Pervane, 4 bıçaklı Pervane ve 5 bıçaklı Pervane.



Şekil 11. Pervane Dönüş Yönleri [37]

1.1.6.5. Pervane Koruyucuları

Pervane, İHA'nın en kolay hasar gören ve değiştirilen kısmıdır. İHA, iniş sırasında dengesini kaybederse pervanelerinin yerle temas etmesi nedeniyle pervaneleri kırılabilir. Ya da bir nesneye çarpması durumunda, söz konusu nesne pervane tarafından hasar görebilir. Bu nedenle İHA üzerine, pervaneyi hasar almaktan ve vermektan koruyan bir çerçeve takılabilir.



Şekil 12. Pervane koruyucusu [38]

1.1.6.6. Algılayıcılar

İHA'lar, algılayıcılar sayesinde komutları çalıştırabilir ve farklı görevleri çok hassas bir şekilde gerçekleştirebilirler. İHA'lar üzerinde en yaygın kullanıma sahip algılayıcılar;

- **İvmeölçer:** İHA hareket halindeyken ivmeyi 3 eksen den ölçerek en küçük hareketi bile tespit edilebilmektedir. Uçuşun dengeli olması için bu algılayıcı gereklidir.

- **Dijital Pusula:** Uçağın uçarken baktığı yönü bilmesini ve havada hareketsiz bir şekilde asılı kalmasını sağlar.

- **Jiroskop:** 3 eksenin açısal momentumunu algılayabilir ve İHA'nın kararlı bir şekilde uçuşmasını sağlar.

- **Barometre:** Çevre basıncını ölçerek İHA'nın hangi irtifada uçtuğunu belirtir.

- **GPS:** İHA'nın belirli bir rotayı izlemesini ve otomatik olarak kalkış yerine geri dönmesini sağlar.



Şekil 13. GPS modülü [39]

• **Yakınlık Algılayıcıları:** Bu algılayıcılar, uçuş alanı etrafındaki nesnelere mesafeyi tespit ederek İHA'nın doğru şekilde uçabilmesini sağlar..

• **Telemetri:** Telemetri, bir sistem ya da tesisin uzaktan kablolu veya kablosuz bir şekilde takip edilmesi veya kontrol edilmesi durumudur.



Şekil 14. Telemetri sistemi [40]

1.1.6.7. Motorlar

Motor, pervanelerin dönmesini sağlayan kısımdır ve her pervanenin bir elektrik motoruna ihtiyacı vardır. Motor seçiminde en önemli parametre motor itkisidir. Seçilen motorun itme kapasitesini belirlemek için bilinmesi gereken en önemli parametre yapımı bitmiş haldeki İHA'nın toplam ağırlığıdır. Uçuş sırasındaki toplam ağırlığa AUW (tam ağırlık) denir. Buradan yola çıkarak motor test parametrelerini detaylı bir şekilde kontrol edilerek tavsiye edilen pervaneye, seçilen pilin sağladığı gerilim değerine ve motorun çektiği maksimum akıma göre elde edilebilecek itki kapasitesi incelenir. Ardından verimlilik değerine göre tasarıma uygun motor seçimi yapılır. Burada bahsi geçen yüksek verimlilik, İHA'nın havada kaldığı süreyi etkileyen önemli bir parametredir.

İHA'larda çoğunlukla fırçasız doğru akım motorları kullanılır. Fırçasız motorların bu alanda kullanılmasının temel sebeplerinden biri diğer motorlara göre daha yüksek performansa sahip olmalarıdır. Diğer motorlarla karşılaştırıldığında fırçasız motorlar; sessiz çalışma, elektriksel gürültülerinin az olması, kolay bakım, uzun servis ömrü, yüksek çalışma hızı ve büyük moment gibi avantajlara sahiptirler. Fırçalı bir motorun aksine, fırçasız bir motoru sadece voltajı değiştirerek sürmek imkansızdır. Fırçasız motorun 3 çıkış kablosu vardır. Bu nedenle bu motorların bir sürücüyü ihtiyacı bulunmaktadır. Bu sürücü elektronik hız kontrolcüsü veya ESC olarak bilinir.

Motor seçiminde bir diğer önemli konu da motorun KV (Volt başına devir sayısı) değeridir. Daha yüksek motor verimliliği için, sürtünme kayıplarını azaltmak gerekmektedir. Bunun için de düşük KV değerine sahip motorlar kullanılmalıdır. Düşük KV'li motorlar daha fazla moment üretme kapasitesine sahiptir ve bu momenti üretmek için büyük pervaneler ile birlikte kullanılmaları gerekmektedir.



Şekil 15. Sunnysky 980KV A2212 Motor [41]

1.1.6.8. Gimballer

İki veya üç eksenle hareket eden modellere sahip olan gimballer, kameranın söz konusu eksenlerde hareketine imkân vererek; titreşimsiz, profesyonel fotoğraf ve videolar çekmesini sağlarlar.

1.1.6.9. Uçuş Loglama Ekipmanları

Drone uçuşu sırasında tüm uçuş, hız, konum, yön ve pil kapasitesi ve diğer bilgileri kaydedebilir. Pilotun yeri hakkında bilgi gönderir veya bir hafıza kartına kaydedilebilir. Bu loglar kontrol edilerek arızalı ekipmanlar tespit edilebilir ve önleyici tedbirler alınabilir.

1.1.6.10. Görüntü Aktarıcılar

İHA'nın en önemli özelliği, pilotun kamera görüntüsünü gerçek zamanlı olarak takip etmesidir. Bu nedenle görüntüleme cihazı, önemli parçalarından biridir. Modern İHA'larda görüntüler radyo frekansı ile iletilir. Genellikle 2,4 GHz boyutunda aktarımlar yapılır. Bununla birlikte, 5 GHz frekansında görüntü gönderen bazı İHA'lar da vardır. Bahse konu İHA'lar, kısa mesafelerde yüksek kaliteli görüntü aktarımı için kullanılırlar. Fakat çekim aralığı çok sınırlı olduğundan genellikle profesyonel çekimler için uygun değildirler.

İHA üzerindeki verici kamera yalnızca fotoğrafları iletmekle kalmaz, aynı zamanda gerekli alt sistemler yardımıyla mevcut konum, pil durumu, İHA'nın yönü ve hızı gibi önemli uçuş bilgilerini de ekrana yansıtabilir.

1.1.6.11. Kameralar

Çekim yapmak veya pilota uçuş konumunu göstermek için kullanılırlar. Kamera, İHA'nın pilinden güç alır ve kameraya bağlı bir hafıza kartına kayıt yapar. Bazı İHA'larda kamerayı kontrol etmek için kumanda kontrolleri; havada fotoğraf veya video çekebilme, videoyu durdurup yeniden başlatma gibi imkânlar sunmaktadır.

Genelde İHA'larda kullanılan kameralar sabit odaklı kameralardır. Bununla birlikte, bazı profesyonel İHA'lar daha gelişmiş kameralar taşıyabilir ve pilotun, gerekli tüm ayarları yapmasına izin verebilir. Bu tür İHA'lar genellikle büyük, ağır ve pahalıdır ve bazı durumlarda en az iki operatör tarafından kontrol edilmeleri gerekebilir. Bu durumda bir İHA operatörü İHA'yı yönetirken, diğer operatör kamerayı yönetir.

1.1.6.12. Piller (Bataryalar)

İHA pilleri genellikle, kısa adı Li-Po olan Lityum Polimer ya da hibrit Li-Po'lar için Lityum İyon-Polimer pillerdir. Bu piller boşalana kadar aynı seviyede akım vermeye devam eder. Pil seviyesi düşük olsa bile İHA aynı performansla uçmaya devam edebilmektedir. Piller voltaj, akım ve tüketime göre sınıflandırılır. Pilin voltajı arttıkça "hücre sayısı" da artmaktadır. İHA'larda kullanılan fırçasız motorun devir sayısı yaklaşık 10.000 ila 12.000 RPM arasında değişebilmektedir.

Bu yüksek devir sayısı nedeniyle fırçasız motorun büyük bir akım ve kapasite sağlayabilen bir güç kaynağına ihtiyacı vardır. Pil seçerken motorun ihtiyaç duyduğu gerilim ve akım değeri de önemlidir. Pil seçiminde bir diğer önemli konu da "C" değeri, yani deşarj oranıdır. C değeri, pilden anlık olarak elde edilebilecek akım kapasitesini hesaplamak için kullanılır. Yüksek C değeri bataryalar daha ağır olduklarından dolayı, maliyetin gereksiz olarak yükselmesine sebep olmaktadır. Düşük C değeri bir pil kullanıldığında, pil çabuk ısınır, çabuk yıpranır ve bozulabilir.



Şekil 16. 3S 2200 mAh Lityum-Polimer Pil Örneği [42]

1.1.6.13. Şarj Etme

Li-Po piller kendi özelliklerine uygun şekilde şarj edilmesi gerekmektedir. Şarj cihazının denge işlevi sayesinde, tüm hücreler eşit şekilde şarj edilebilir ve böylece pil ömrünün kısalması önlenir. Piller tamamen boşalana kadar kullanılmamalıdır ve 3°C derece civarında soğuk bir ortamda saklanmalıdır.

1.1.6.14. Uzaktan Kumanda

Uzaktan kumandalar, İHA'ların kontrolü için gerekli ekipmanlardır. Sıradan bir İHA'yı kontrol etmek için en az 4 kontrol kanalına sahip olan kumanda gerekir. Ayrıca kontrol edilmesi gereken farklı bileşenler gerekiyorsa, kanal sayısı daha fazla olan kumandaların tercih edilmesi uygun olacaktır. Günümüzde İHA kumandalarında esas olarak 2,4 MHz frekansında kullanım gerçekleşir.

Kumanda ile İHA arasındaki iletişimin çevredeki yüksek gerilim hatları, baz istasyonları ve benzeri elektromanyetik dalga emisyon faktörlerinden etkilenebileceği ve bazı durumlarda kontrolün kaybedilebileceği unutulmamalıdır.

- Uçuş modlarına göre İHA kumandaları Mode 1 ve Mode 2 olarak ikiye ayrılır.
- Kullanım şekillerine göre İHA kumandaları Dijital (Hall Effect Gimbal) ve Analog (Potentiometer tip Gimbal) olarak da ikiye ayrılır.



1.1.6.15. İniş Takımları

İniş takımı, iniş ve kalkış sırasında insansız hava aracının zarar görmesini önlemek için üretilmiş bir bileşendir.

1.1.6.16. Kurtarma Sistemleri

İHA'lar kontrol kaybı veya motor arızası nedeniyle düşüp kırılabilirler. Bazı durumlarda, görüntünün restorasyonu çok önemlidir. Bu nedenle kaza sırasında ve sonrasında önleyici tedbir olarak İHA kurtarma sistemleri geliştirilmektedir. Düşen bir İHA'yı korumak ve güvenli bir şekilde iniş yapmasını sağlamak için bir paraşüt kullanmak üzere söz konusu İHA'ya uygun bir kurtarma sistemi tasarlanabilir.

1.2. Literatür Araştırması

Gelişen teknolojiyle beraber insansız hava aracı teknolojilerinde meydana gelen gelişmeler de hız kazanmıştır. İnsansız hava araçlarının ayırım yapılmaksızın her alana uyarlanabilmesi ve Ar-Ge çalışmalarına oldukça açık olması, bu alanın önünü açmıştır. İHA'ların kullanıldığı alanlara, yapmış olduğumuz araştırmamızda, bir nebze de olsa yer vermiş bulunmaktayız. Ancak İHA'lar, bu çalışmada yer verilmeyen birçok alanda da farklı kabiliyetler kazandırılarak insanlığın hizmetine sunulmakta ve sunulmaya devam edilmektedir. Ayrıca, halihazırda kullanılan alanlarda devam eden araştırma ve geliştirmelerle birlikte daha verimli ve daha başarılı uçuşlar sergileyen İHA'lar üretilmeye çalışılmaktadır. Genç neslin ilgisini de çekmekte başarılı olan insansız hava araçları, lise düzeyinden yüksek lisans düzeyine, teknolojiye ilgi duyan çocuklardan hobi olarak ilgilenen yetişkinlere kadar herkesin üzerinde çalıştığı, emek verdiği bir alana dönüşmüştür.

Malzemesinden yazılımına, veriminden teknik özelliklerine, elektronik devrelerinden uçuş koşullarına kadar çok fazla alanda çalışma imkânı bulunan insansız hava araçları, birçok alana yeni bir nefes getirmiştir.

Son dönemde, insansız hava araçlarının özellikle askerî alanda kullanılma fikri ülkemizde büyük destek görmüştür. Bu kapsamda insansız hava araçları alanı; başta T.C. Millî Savunma Bakanlığı'nın ihtiyaçları doğrultusunda, Savunma Sanayii Başkanlığı'nın da öncülüğüyle birlikte Türk savunma sanayiinin önde gelen firmalarından olan Türk Havacılık ve Uzay Sanayii A.Ş. (TUSAŞ) ve Baykar Savunma gibi şirketlerin, ürünleriyle katkı sağladığı bir alan olmuştur. Bu bağlamda, TUSAŞ tarafından geliştirilen AKSUNGUR isimli İHA, 49 saatlik havada kalış süresiyle büyük bir başarıya imza atarken; Baykar Savunma tarafından geliştirilen Bayraktar TB2 isimli Silahlı İHA (SİHA) ise farklı aktif muharebe alanlarında sergilemiş olduğu üstün performans sayesinde İHA'ların askerî amaçla sahada aktif kullanımı konusunda dünya çapında yankı uyandırmıştır.

Öte yandan, insansız hava araçları alanında çalışmalar yürüten önemli firmaların büyük bir kısmı Amerika'da bulunmaktadır. Birçoğu uçak üreticisi olan bahse konu firmaların ABD ordusu için askerî platform da üretme yarışı, İHA alanında yaşanan gelişmelerin hız kazanmasında etkili olmuştur.

Bu alanda literatürde kabul görmüş bazı çalışmalar şu şekildedir;

1. Sabancı Üniversitesi, Baran, A. E. Hacer, C. Çalikoğlu, E. Duman, E. Çetinsoy, E. Ünel, M. Akşit, M. F.; insansız hava araçları için geliştirilen kontrol algoritmalarının test edilebileceği bir düzeneğin tasarımını ve üretimini yapmıştır. Test için oluşturulan düzeneğe; insansız hava aracına 6 serbestlik derecesi sağlayabilecek şekilde, 4 kolona montelenmiş yüksek mukavemet gösteren misinalar yardımıyla havada asılı duran bir platformun üzerinde dönebilen, bilye bulunduran bir mafsaldan oluşmuştur. (Baran, 2008) [6]
2. Anıl Güçlü Kutluk, Bilge Arıkan ve Dilek Funda Kurtuluş; Anıl Güçlü Kutluk, Bilge Arıkan ve Dilek Funda Kurtuluş tarafından 2016 yılında ortak olarak hazırlanmış bir çalışmada; matematiksel modelleme, denetimci tasarımı ve döngüde donanım testlerinden oluşan, hibrit bir İHA'nın (HİHA) yönelim dinamiklerinin hibrit denetimi üzerinde durulmuştur. E-Flite Apprentice marka sabit kanatlı model bir uçak seçilerek, uçağın şasisinde yapılan değişiklikler sonrasında, uçağa dikey iniş ve kalkış yapabilme özelliği kazandırılmıştır. Bu tarz hibrit bir sistem tasarımı sayesinde sabit kanatlı İHA'larda, döner kanatlı İHA sistemlerinde olduğu gibi, kalkış için duyulan pist ihtiyacı ortadan kaldırılabilmektedir. Söz konusu hibrit İHA sistemini matematiksel olarak modelleyebilmek için sabit ve hareketli bileşenlere yönelik sistem tanıma işlemlerinin yapılması gerekir. HİHA'da dikey kaldırma ve yatay itki oluşturmak için fırçasız motorlar; uçağın farklı eksenlerde hareketini sağlamak için ise kanatçık (aileron), dikey dümen (rudder) ve yatay dümen (elevator) gibi kontrol yüzeyleri, servo motorlar yardımıyla kontrol edilmektedir. Fırçasız ve servo motorlara yönelik sistem tanıma çalışmaları kapsamında sırasıyla itki ölçüm sistemi ve açı ölçüm sistemi kullanılmaktadır. Bahse konu HİHA'ya ait kütle eylemsizlik momentleri de bifilar sarkaç deneyinden yararlanılarak elde edilmektedir. HİHA'nın modellenmesi, Matlab/Simulink ortamında deneysel olarak hesaplanan, sisteme özel parametrelerin kullanılmasıyla modellenmiştir. HİHA'da, dikey iniş ve kalkış, sabit-döner kanat uçuş karakteristiği geçişi ve sabit kanat uçuşu olarak üç ana uçuş modu bulunmaktadır. HİHA uçuş kontrol algoritması olarak PID ve LADRC tip denetimci algoritmaları geliştirilerek, performansları kıyas edilecektir. [7]
3. K. T. Öner, E. Çetinsoy, E. Sırımoğlu, T. Ayken, M. Ünel, M. F. Akşit, İ. Kandemir, K. Gülez; Döner-kanat mekanizmasına sahip yeni bir insansız hava aracının (SUAVI) modellenmesi ve kontrolü alanında çalışmalar yapmışlardır. Alçak irtifada uçan bir insansız hava aracı ile yukarıdan nesne takibi yapılması incelenmiş ve

değerlendirilmiştir. İnsansız hava aracı olarak daha önceden temin edilmiş dört rotorlu döner kanatlı bir hava araç kullanılmıştır. Bölgesel gözetim amaçlı nesne takibi, araç üzerine monte edilmiş hafif mikro kameralar vasıtasıyla gerçekleştirilmiştir. Kamera ile merkez bilgisayar arasındaki iletişim RF donanımı ile sağlanmıştır. Gerçek zamanlı görüntü işleme için açık kaynak kodlu OpenCV kitaplık rutinleri kullanılmıştır. Hava aracının iç mekânda otonom uçuşu, MATLAB-Simulink ortamında geliştirilen bir yazılım ile sağlanmıştır. Laboratuvar içerisinde gerçekleştirilen çalışmada, işaretli cisimler/yüzler başarıyla takip edilmiştir. [8]

4. Hacı Murat Yılmaz, Ömer Mutluoğlu, Ali Ulvi, Aydan Yaman, Süleyman Sefa Bilgilioğlu; İnsansız hava aracı ile ortofoto harita üretimi ile ilgili, Aksaray üniversitesi kampüsü örnek alanında çalışma yapılmıştır. Düşük maliyet ve risk ile herhangi bir insanın; tehlikeli durumlara veya tehlikeli bölgelere sokmadan, ulaşılması mümkün olmayan veya tehlikeli bölgelere ulaşması olanağı, araştırmacıları klasik hava fotogrametrisine alternatif olarak İHA'lara yöneltmiştir. Bu çalışmada İHA verileri üç boyutlu model oluşturulmuş ve ortofoto harita elde edilmiştir. Çalışma sonucunda elde edilen ürünlerdeki konum hatası ortalama $\pm 2,38$ cm, yükseklik hatası ise ortalama $\pm 9,94$ cm olarak hesaplanmıştır. Çalışılan bölgede kot farkı 1 m'yi geçmemekle birlikte yapılaşmanın olduğu bir bölgedir. Üç boyutlu modellerin elde edilmesinde düşey resimlerin yanı sıra eğik resimlerin de çekilmesi önem arz etmektedir. Yükseklik doğruluğu bu nedenle konum doğruluğundan daha yüksek çıkmıştır. Klasik hava fotogrametrisine kıyasla küçük alanların mevcut haritalarının, sayısal arazi modellerinin, sayısal yükseklik modellerinin ve birçok disiplin tarafından kullanılan ortofoto haritaların insansız hava araçları kullanılarak; uygun konum ve yükseklik hatalarına sahip, daha kısa sürede ve daha ekonomik olarak üretilebileceği sonucuna varılmıştır. [9]
5. Necdet Sinan Özbek, Mert Önkol, Mehmet Önder Efe; döner kanat tipinde bir insansız hava aracının farklı yöntemlerle kontrolü ve performans analizi konusunda çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada sırasıyla PID kontrol, kayan kipli kontrol, geri adımlamalı kontrol, geri besleme ile doğrusallaştırma ve bulanık mantık kontrol yöntemlerinin döner kanat sistemi için tasarımı yapılmış ve performans analizi üzerinde durulmuştur. Araç için istenilen performans hem Kartezyen uzaydaki gezinge hem de bu gezinmeleri takip etmek için gerekli referans Euler açıları izleme olarak ele alınmıştır. Kontrol yöntemleri arasındaki yapısal farklardan ötürü döner kanat sistemi farklı davranışlar sergileyerek

istenen performans ölçütlerine ulaşmıştır. Kontrol çalışmaları esnasında PID kontrol yönteminin döner kanat için uygun bir kontrol yöntemi olduğu söylenilebilir. Özellikle geçici durum ve sürekli durum ayrı ayrı incelendiğinde, PID kontrol metodunun sistem denetimi için sağladığı kontrol sinyali uygulanabilirliği açısından, sert geçişlerin diğer kontrol sinyallerine göre daha az olduğu gözlemlenmiştir. [10]

6. Oğuzhan BAYRAKTAR, Faruk ÖZDEMİR, Ömer ÇETİN, Güray YILMAZ; insansız hava araçları için otonom iniş sistemi simülatörü tasarımı yapmışlardır. Bu çalışma kapsamında genel bir İHA sistemine ait simülatör uygulamasının bir bileşeni olan otonom iniş sistemi ve manüel iniş sistemine ait simülasyon modülü geliştirilmiştir. Çalışma kapsamında geliştirilen simülatörün amacı otonom veya manüel iniş gerçekleştiren bir İHA platform operatörünün beklenmeyen durumlar karşısında yapması gereken işlemleri daha iyi kavraması ve tecrübe kazanmasıdır. Bu eğitimin gerçek bir platform ile icra edilmesi hem maliyet olarak yüksek hem de risk açısından oldukça tehlikelidir. Bu nedenle iniş esnasında karşılaşılabilecek olası beklenmedik durumlara karşı verilecek eğitimin gerçekleştirilebileceği en iyi ortam simülatördür. Otonom yeteneklerin simülatör ortamında elde edilebilmesi için bulanık mantık tabanlı denetleyicilerden faydalanılmıştır. Geliştirilen simülatör farklı tipte İHA sistemlerini modelleyebilecek nitelikte geliştirilmiştir. Çalışma kapsamında bulanık mantık tabanlı denetleyicilerden, kararlı ve de hızlı yanıtlar üretebilecek şekilde otonom modüllerin benzetilmesi için faydalanılmıştır. Tasarım oldukça başarılı şekilde çalışma kapsamında uygulanmış ve de İHA sistemlerinin otonom iniş esnasındaki davranışları etkin şekilde benzetilmiştir. Simülatörün görsel çıktıları açık kaynak kodlu simülasyon yazılımları ile etkin şekilde desteklenmiş ve de yapılan ara yüz tasarımı ile etkin şekilde kullanılabilmesine imkan tanınmıştır. Gerçekleştirilen ara yüz çalışmaları benzetilmek istenen farklı platformlara ait simülatörler için uyarlanabilir şekilde tasarlanmıştır. Bu çalışma özellikle, İHA sistemlerinin kullanıcı eğitimine yönelik, uçuşun farklı otonom olarak icra edilebilen evrelerinin benzetilebilmesi için platformdan bağımsız olarak geliştirilmiş olması açısından literatüre katkı sağlamaktadır. [11]

1.3. Kısıtlar ve Koşullar

Son yıllarda hem sivil hem askeri İHA'ların kullanımının artması sağlık sisteminde hızla çözülmesi gereken ihtiyaçlar için de İHA kullanımının önünü açmıştır. Günümüzde İHA'ların kullanıma girdiği en önemli sektörlerden biri medikal sistemleri kapsamaktadır. Sesli ve görüntülü yardım yapmaktan başlayıp, olay yerine çeşitli medikal eşya ve cihazları taşımaya kadar varan kapsamlı bir kullanım alanı ortaya çıkmıştır. Bu bağlamda yapılan tasarım konusunda, medikal sektörünün bir başka kolu olan eczacılık alanında kullanılacak ve belirlenen güvenli rotalar dâhilinde kargo taşıma görevini yerine getirebilecek bir İHA tasarımı ele alınmıştır.

İnsansız hava aracında kullanılacak bileşenlerin ülkemizde stok, imalat ve maliyet açısından kolay temin edilememesinden dolayı; yurtdışından parça siparişinde ise ürünün uygun zamanda temin edilememesinin projenin işleyişini bozacağı düşüncesi ile birçok defa hesapların tekrardan yapılması, şase malzemesinin ve diğer ana bileşenlerin tekrardan seçilmesi gerekmiştir. Bununla birlikte lazer kesim, CNC ile kesim ve 3B yazıcı ile parça üretimlerinin saatlik olarak ücretlendirilmesi ve yapılan hesaplamalar sonucu, söz konusu ücretin proje için çok fazla maliyet oluşturması sebebiyle şase malzemesinin ve yapılandırmasının çok defa değişmesi söz konusu olmuştur.

Aracın kol montajı yapılırken çalışma esnasında titreşime mahal vermemesi açısından dikkat edilmiş, yapılan analizde kolun taşıyabileceğinden çok daha fazla kuvvet altında test edilmiştir. Bunun sonucunda titreşim miktarının azaltılması için gövde plakalarından kollara destekler uzatılmış, titreşim miktarı minimuma indirilmeye çalışılmıştır. Buna rağmen uçuş sırasında, hava koşullarına ve uçuş yüksekliğine bağlı olarak bir miktar titreşimin oluşabileceği ön görülmektedir.

Kol malzemesi olarak önce 10 mm kalınlığa sahip 2 mm et kalınlıkta karbon fiber boru seçilmiş ancak motor tam güçte çalışırken esnemenin fazla olacağı düşünülerek Alüminyum borular üzerlerine fiber bant sarılarak, esnemeye ve darbelere karşı dayanıklı bir kompozit malzeme oluşturulamaya çalışılmıştır.

Tam otonom uçuşun gerektirdiği teknik bileşenlerin sağlanamayacağıın ve sisteme entegre edilemeyeceği düşünülerek; belirlenen güvenli rotalar üzerinde, telemetri ve GPS yardımıyla uçuş gerçekleştirebilecek şekilde yarı otonom ve özgün olan bir tasarımın yapılması amaçlanmıştır.

Yapılan literatür taraması ve genel araştırmalar sonucu literatüre geçmiş olan tasarımlar incelenmiştir. Bunun sonucunda geçmişte yapılan İHA'ların fonksiyonlarının neler olduğu, ne şekilde yapıldığı, hangi malzemelerin yaygın kullanıldığı belirlenip, kendi tasarımımıza uygun değişikler yapıp özgün, yeni bir tasarım ortaya koyulmaya çalışılmıştır.

1.4. Tasarımın Karşılatabildiği Gereksinimler

Bu çalışmada, tanımlanan güvenli rotalar dâhilinde eczacılık alanında veya benzeri medikal alanlar da kargo taşımacılığında kullanılacak çok rotorlu döner kanatlı bir İHA tasarımı yapılmıştır. 4 rotorlu İHA ise diğer çok rotorlu İHA'lara göre sahip olduğu çeviklik, hareket kabiliyet esnekliği ve üstün manevra kabiliyeti nedeniyle tercih edilmiştir. İniş ve kalkışın zor olduğu dar bölgelere rahatlıkla inip ve kalkış yapabilirler. Bu doğrultuda yapılan tasarım, acil ihtiyaç anlarında ihtiyaç bölgesine daha hızlı ulaşmayı amaçlamaktadır. Örneğin, kırsal, sarp gölgelerde insanların acil durum desteği için saatlerce beklemesi gerekebilir. Söz konusu tasarımla birlikte, bu bölgelere erişiminin ambulans veya helikoptere göre daha hızlı gerçekleşmesi amaçlanmıştır. Üzerine entegre edebilecek bir soğutma ünitesi ile hayat kurtarıcı kan ve aşılarda taşınması sağlanabilir.

Bununla birlikte İHA'lar ile yapılan kargo taşımacılığı sayesinde, şehirlerin en büyük sorunlarından biri haline gelen trafik sıkışıklığını; dünyadaki doğal yaşamı tehdit eden, iklimlerin değişmesine sebep olan zararlı egzoz gazlarını ve fosil yakıt tüketimini azaltmayı amaçlar. Bu özellikleri sayesinde ekonomik hayata katkı sağlaması ve çevreye duyarlı bir yapıya sahip olması nedeniyle modern taşımacılık alanında ilgi çekici bir konumda yer almaktadırlar.

Dünyanın pek çok farklı bölgesinde çeşitli alanlarda kullanılan ve kargo taşımacılığında ulaşım süresinin diğer taşımacılık yöntemlerine nazaran daha da kısalmasını sağlayan İHA'lar için yapılan farklı birçok tasarım, halihazırda Ar-Ge çalışmaları aşamasındadır. Yapılan bu proje, kullanılan malzemeler ve üretim yöntemleri ile düşük maliyet imkânı sunmaktadır. Bununla birlikte, faydalı yük kapasitesinin biraz daha artırılıp ve üzerine bazı ek donanımların eklenmesi sonucu geliştirilip ülkemiz içinde kullanılacak faydalı bir İHA tasarımına kaynak oluşturması amaçlanmaktadır.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. İnsansız Hava Aracının Bileşen Seçimleri

2.1.1. Gövde Seçimi

Malzemesine göre gövde çeşidi: Sert Plastik

Şekline göre gövde çeşidi: X tipi gövde

Malzemeler:

1. Elektronik bağlantıların ve hazne kollarının gövde üzerine sabitlenmesi için kullanılacak olan bir adet birleştirme plakası.



Şekil 18. Birleştirme plakası

2. İHA'nın havalanmasını gerçekleştiren pervanelerin dönmesidir. Pervaneleri döndüren kuvvet motorların ürettiği güçtür. Motorların gövdeye sabitlenmesini sağlayacak olan bileşen ise kol olarak adlandırılan elemanlardır. Kollar daha önce Solidworks programında tasarlanan kol parçası ile birebir aynı olacak biçimde alüminyum boru malzemesinden üretilmiştir.



Şekil 19. İHA kollarının karbon fiber ile kaplanmadan önceki hali

3. Motorlar ile İHA kolları arasındaki bağlantı ise kullanacağımız motorun boyutlarına uygun olarak hazırlanan dört adet motor tutucu olarak adlandırdığımız parça ile gerçekleştirilmiştir. Parçalar 3 mm sert plastik plakalardan yapılmıştır.



Şekil 20. Motor bağlantı plakasının motora uygun şekilde ayarlanması



Şekil 21. Motor ile kol arasındaki bağlantıyı sağlayacak olan bağlantı plakası

4. Dış tasarım ve İHA'nın kullanma amaçlarımızdan biri olan tıbbi ekipman taşıyacak olan haznenin yapımında strafor köpük kullanılmıştır. Strafor köpük tasarımımıza uygun hale gelecek biçimde zımparalanarak şekillendirilmiştir.



Şekil 22. Strafor köpük üst kapak



Şekil 23. Strafor köpük alt kapağın yan yüzeylerinin işlem görmemiş hali



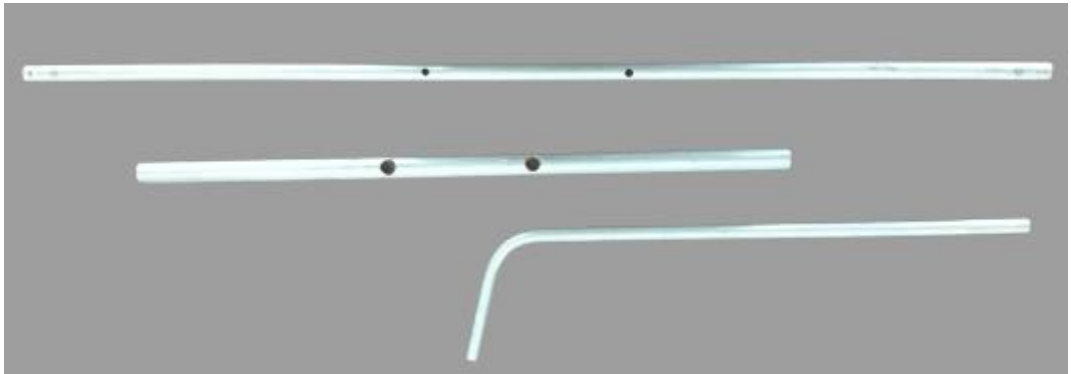
Şekil 24. Strafor köpük alt kapağın yan yüzeylerinin zımparalanmış hali

5. Taşıma kısmında kullanılacak hazne bölümünü güçlendirmek için kolonlar hazırlandı.



Şekil 25. Alüminyumdan yapılmış hazne kolonları

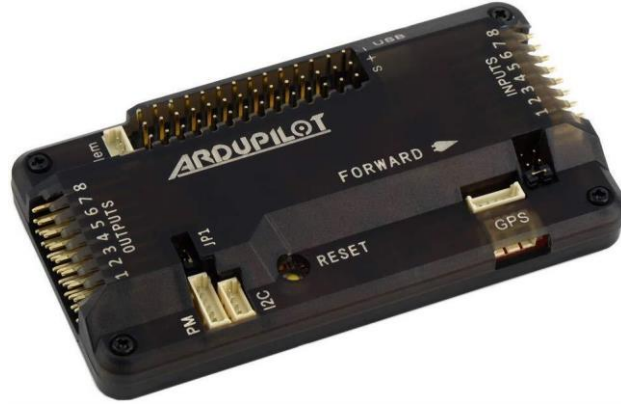
6. Son olarak İHA'nın yere iniş yaparken özellikle sert iniş yaparken zarar görmesini engelleyecek olan iniş takımı parçaları.



Şekil 26. İniş takımını oluşturacak olan elemanlar

2.1.2. Uçuş Kontrolcüsü Seçimi

Uçuş kontrol kartı da denilen bu kart İHA'nın uçuşunu sağlayacak olan bilgisayar olarak tanımlanabilir. Uçuş kontörlü için APM2.8 ArduPilot Mega 2.8 uçuş kontrol kartı seçilmiştir. Bu kart gelişmiş oto pilot sistemi olarak da adlandırılabilir. Hava ya da kara araçlarına otonom hareket yeteneği kazandırmada kullanabilirler.



Şekil 27. APM2.8 ArduPilot Mega2.8 uçuş kontrol kartı

2.1.3. Elektronik Hız Kontrolcüsü (ESC) Seçimi

Elektronik hız kontrolcüsü, bir motorunun hızını kontrol edebilen bununla beraber hızını düzenleyebilen elektronik devre elemanıdır. Seçmiş olduğumuz elektronik hız kontrolcüsü EMAX BLHELI SERİSİ 30A ESC, fırçasız dc motoru çalıştırmak için programlanmıştır. Düşük çıkış direnci, güç dengesini büyük ölçüde artırır ve bu da batarya ömrünü uzatır. Her bir motor ile bir tane olmak üzere toplam dört adet kullanılmıştır.



Şekil 28. Emax BLHeli Series 30A 2s-4s sürücü ESC

2.1.4. Güç Dağıtım Kartı Seçimi

PDB (Power Distribution Board), İHA'ya bağlanan; piller, ESC'ler ve diğer sistemlerin güç bağlantılarını sağlayan devre kartıdır. Maksimum akım dayanıklılığı 100 Amper olan 16 çıkışlı bir octocopter güç dağıtım kartı seçilmiştir.



Şekil 29. Kullanılacak olan güç dağıtım kartı

2.1.5. Pervane Seçimi

Pervaneler, havayı iterek İHA'nın havalanmasını sağlayan bileşenlerdir.

Çok rotorlu İHA'larda iki farklı dönüş yönüne sahip pervane kullanılır: Saat yönünde dönen (clockwise) ve Saat yönünün tersinde dönen (counter clockwise).

Üretim malzemesine göre pervane seçimi: Plastik

Şekillerine göre pervane seçimi: 2 bıçaklı pervane

Pervane boyutu ve açısı: 11 inç pervane boyutu ve 5.5 derece açısında seçilmiştir.

İHA'nın yönünü karıştırmamak için aracın ön ve arka kısımları için farklı renkte pervaneler seçilmiştir. Ön kısım için kırmızı renkte, arka kısım için mavi renkte pervaneler seçilmiştir.



Şekil 30. Ön kısım için 11 inç kırmızı pervane



Şekil 31. Arka kısım için 11 inç mavi pervane



Şekil 32. Motor performansını test etmek için alınan 10 inç pervane

2.1.6. Algılayıcılar

2.1.6.1. GPS Seçimi

Uydular yüksek yerde bulduklarından dolayı tarama alanları oldukça geniştir. Böylelikle dünya yüzeyine sık sık konum ve zaman bilgisi göndermektedirler. GPS ile sinyali alma zamanı belirlenerek aradaki mesafe de ölçülebilmektedir. Satın almış olduğumuz GPS paketi içerisinde anten tutucu çıkmadığı için bu malzeme ayrı olarak alınmıştır.



Şekil 33. Kullanılan GPS modülü

2.1.6.2. Telemetri Seçimi

Telemetri, bir sistemin kontrol edilemeyen kısmının uzaktan kablolu ya da kablosuz şekilde takip edilmesi ya da kontrol edilmesidir.



Şekil 34. Seçilen telemetri modülü

2.1.7. Motor Seçimi

Motor, pervanelerin dönmesini sağlayan kısımdır. Motor seçiminde dikkat edilmesi gereken en önemli nokta itki kapasitesidir ardından verimlilik hesabı yapılarak motor seçimi yapılır. Ayrıca motor seçimi yaparken fırçasız motorların sessiz çalışma, elektriksel gürültülerinin az olması, kolay bakım, uzun servis ömrü, yüksek çalışma hızı ve büyük moment gibi avantajlara sahip olması sebebiyle fırçasız motor tercih edilmiştir.



Şekil 35. Emax XA2212 820KV Multikopter için Fırçasız Motor

2.1.8. Pil (Batarya) Seçimi

İHA pilleri genellikle, kısa adı Li-Po olan Lityum İyon-Polimer pillerdir. Sıvı elektrolitin yerine polimer elektroliti kullanan ve tekrar şarj edilebilir batarya çeşididir. Pil seçerken motorun ihtiyaç duyduğu gerilim ve akım değeri önemlidir. Pil seçiminde bir diğer önemli konu da "C" değeri, yani deşarj oranıdır. Tüm sisteme enerji vermek için seçtiğimiz batarya 3500 mAh olan Li-Po bataryadır.



Şekil 36. 3500 mAh olan Li-Po batarya

2.1.9. Şarj Cihazı Seçimi

Li-Po piller kendi özelliklerine uygun şekilde şarj edilmesi gerekmektedir. Pillerin şarj edilmesinde kullanmayı seçtiğimiz imaxRc şarj cihazıdır.



Şekil 37. ImaxRc şarj aleti

2.1.10. Uzaktan Kumanda Seçimi

Uzaktan kumandalar, İHA'ların kontrolü için gerekli ekipmanlardır. Seçimi yapılırken uçuş modlarına göre Mode 1 ve Mode 2 olarak ikiye ayrılan kumandalar arasından ve kullanım şekillerine göre de Dijital (Hall Effect Gimbal) ve Analog (Potentiometer tip Gimbal) olarak da ikiye ayrılan kumandalar arasından seçilir.



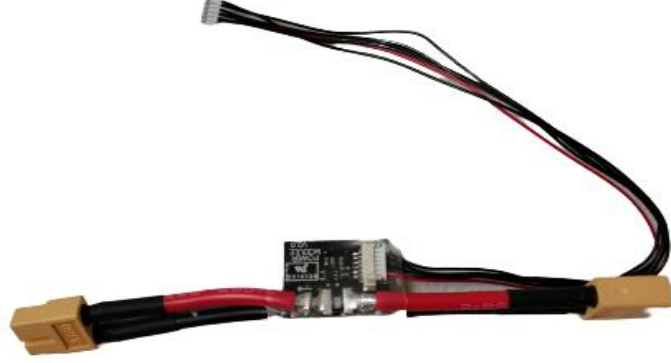
Şekil 38. Flysky 10 kanallı uzaktan kumanda

2.1.11. Diğer Bileşen Seçimleri

Yardımcı eleman veyahut bağlantılar için yardım eden elemanlar;



Şekil 39. Güç dağıtım kartını güç modülüne bağlayan XT60 konnektörlü ara kablo



Şekil 40. Uçuş kontrol kartına iletim sağlayan güç modülü



Şekil 41. Sökülüp takılması gereken bağlantılar için kullanılan konnektörler



Şekil 42. Kablo ve bazı ekipmanları sabitlemek için kullanılan kablo bağları



Şekil 43. Montaj sırasında kullanılacak ekipmanlar: Pense, tornavida, maket bıçağı, elektrik bandı, konnektörler, yapıştırıcılar vs.

2.2. İnsansız Hava Aracının Montaj Aşamaları

2.2.1. Gövde Montaj Aşamaları

1. İlk olarak motoru tutacak olan parçanın kollar ile bileşimi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 44. Motoru tutacak olan parça ile kolun montajı

2. Daha sonra kolların gövdede bir bütünlük sağlayacak olan plaka ile montajı gerçekleştirilmiştir. Üstünde ise elektronik cihazları sabitlemek için 2 mm kalınlıkta orta sertlikte plastik plaka kullanılmıştır.



Şekil 45. Kollar ve plakaların montajı

3. Kendi içinde bileşimi yapılan iniş takımı da plakanın altına monte edilmiştir.



Şekil 46. İniş takımının plaka altına montajı

4. Strafor köpüğün zımparalanarak tasarıma uygun hale getirilen parçaları alt kapak adı altında yapıştırıcı kullanılarak birleştirilmiştir.



Şekil 47. Alt kapak montajı

5. Hazne kolonları ve hazneyi güçlendirmek için kullanılacak olan 2 mm kalınlıkta orta sertlikte olan plastik malzemesindeki plakalar birbirine monte edilip ana gövde ile bağlantısı yapılmıştır.
6. Alt kapak, tasarıma uygun bir şekilde iskelet ile birleştirilmiştir.



Şekil 48. Alt kapağın iskelet ile montajı

7. Üst kapak da iskelete oturtturularak taslak olarak gövde montajı tamamlanmıştır.



Şekil 49. Üst kapağın da birleştirilmesiyle tamamlanmış olan gövde montajı

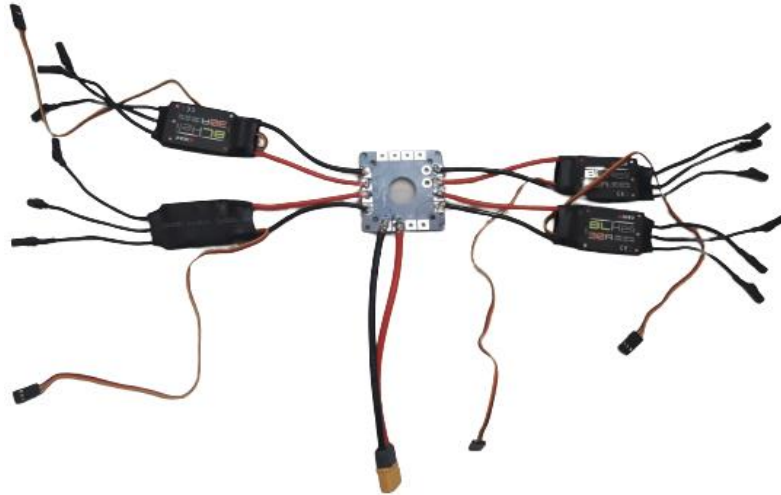
2.2.2. Elektronik Kısımın Montaj Aşamaları

1. Gövde montajında gelinen aşamadan sonra elektronik bağlantı kısmına geçilmiştir.



Şekil 50. Karbon fiber kaplama yapılan ana iskelet, motor bağlantı plakaları, dış kaplama olan sıkıştırılmış köpük ve elektronik bağlantı için gerekli malzemeler

2. Elektronik bağlantı kısmı, ilk olarak güç kontrol kartının ESC'ler ile bağlantısı gerçekleştirilmiştir.



Şekil 51. ESC'lerin ve üç dağıtım kartını güç modülüne bağlayan XT60 konnektörlü ara kablonun güç kartına bağlantısı

3. Güç dağıtım kartının ESC'ler ile bağlantısının gövdeye montajı yapılmıştır.



Şekil 52. Güç dağıtım kartının gövdeye montajı

4. Motorlar ve konnektörlerin bağlantıları yapılmıştır.



Şekil 53. Konnektör bağlantısı yapılmış motor

5. ESC, güç kontrol kartı ve uçuş kontrol kartı sisteme monte edilmiştir. Motorlar ve motor tutucularının montajı yapılmaktadır.



Şekil 54. Uçuş kontrol kartının gövdeye monte edilmesi, ESC'lerin kollara kablo bağları ile sabitlenmesi ve konnektör bağlantısı yapılmış motorların motor tutucularına montaj aşaması

6. Motor tutucularına monte edilen motorların dönüş yönlerinin test edilmesi ve ayarlanması yapılmıştır.



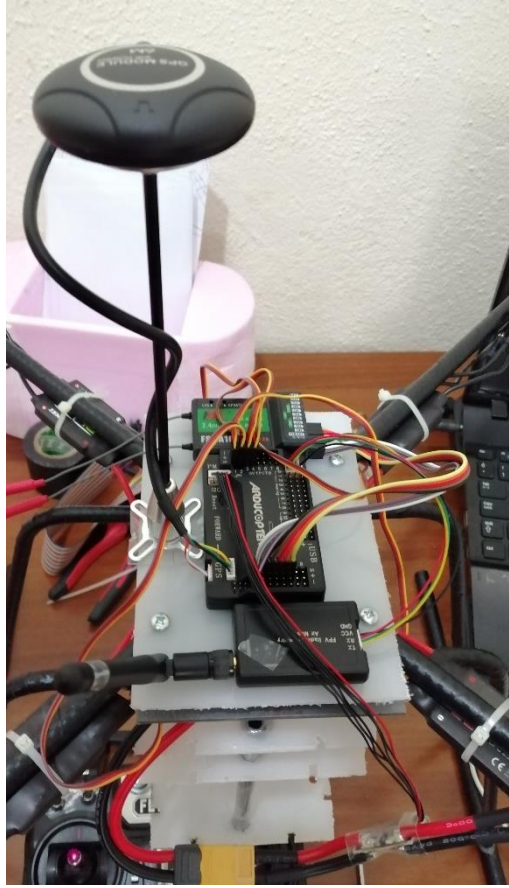
Şekil 55. Motorların test aşaması

7. Kumanda alıcısı aracılığıyla ESC'lerin kalibrasyonu yapılmıştır.



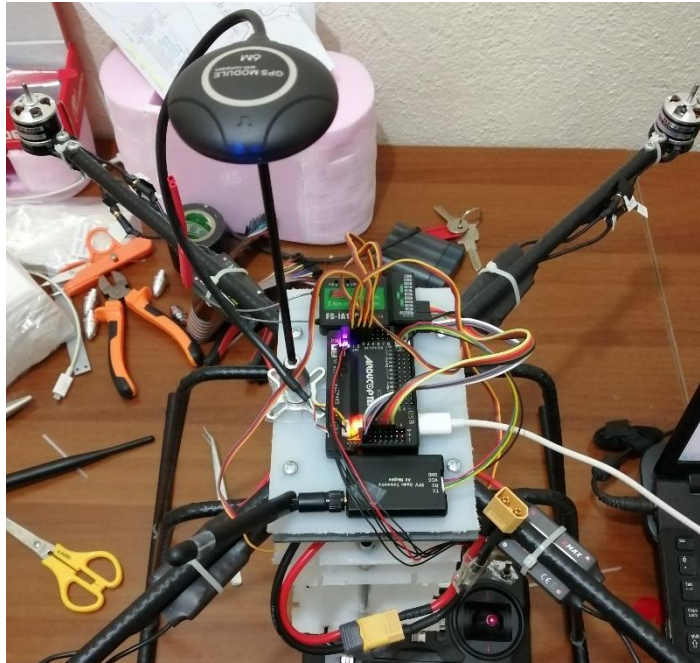
Şekil 56. ESC'lerin kalibrasyon aşaması

8. Uçuş kontrol kartını besleyen güç modülünün ve Güç dağıtım kartını güç modülüne bağlayan XT60 konnektörlü ara kablosunun bağlantıları yapılarak GPS ve telemetri modülleri sisteme monte edilmiştir.



Şekil 57. Bağlantı kabloları, GPS ve telemetri modülünün montaj aşaması

9. Bu aşamada sisteme enerji verilip GPS ve telemetri modüllerinin çalışmasında bir sorun olup olmadığı kontrol edilmiştir.



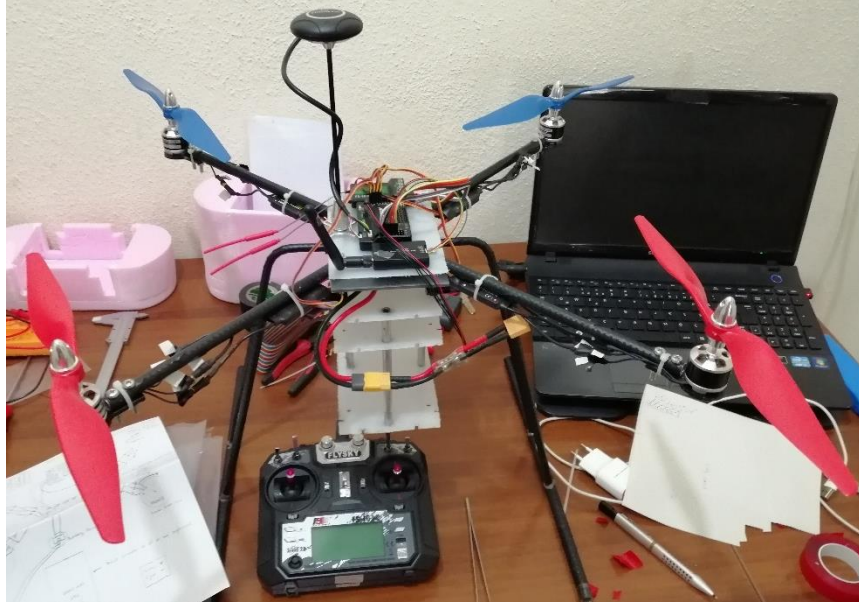
Şekil 58. GPS ve telemetri modülünün kontrol aşaması

10. 11x5.5 inç boyutundaki pervaneleri montajı motorlar üzerine yapılmıştır.



Şekil 59. Pervanelerin motorlara montajı

11. İHA'nın yönünü karıştırmamak için aracın ön ve arka kısımları için farklı renkte pervaneler seçildiğinden bahsedilmiştir. Bu aşamada ön kısım için kırmızı renkte, arka kısım için mavi renkte seçilen pervaneler görülmektedir.



Şekil 60. Ön ve arka kısım için farklı renklere seçilen pervaneler
Elektronik bağlantı aşaması da bu şekilde tamamlanmıştır.

12. Burada ise strafor köpüğün, elektronik bağlantıları tamamlandıktan sonra gövdeye tekrar birleştirilmesi görülmektedir.



Şekil 61. Döner kanatlı insansız hava aracımızın son hali

13. GPS ve telemetri bağlantıları yapılarak bilgisayardan kontrolleri yapılmıştır.



Şekil 62. GPS ve telemetri kontrollerinin ekran görüntüsü

14. Bütün bağlantılar tamamlandıktan sonra uçuş testi aşamalarına geçilmiştir.



Şekil 63. Uçuş testi öncesi bir kesit

15. Uçuş için gerekli ekipmanlar çalıştırılıp motorlara %20 gaz verildiği aşamada motor bağlantı plakası motorların gücüne dayanamayıp kırılmıştır. 3 mm sert plastiğin motorların gücüne dayanmadığı görülmüştür. Bundan dolayı uçuş denemeleri yeni motor tutucuları imal edilene kadar ertelenmiştir.



Şekil 64. Kırılan motor taşıyıcı plakası

16. Yeni motor taşıyıcı plakalar 3 mm alüminyum plakadan lazer kesim ile imal edilmiştir.



Şekil 65. Yeni tasarımla imal edilen motor taşıyıcı plakalar

17. Yeni motor taşıyıcı plakaların gövdeye montajından sonra tekrar uçuş denemelerine başlanılmış fakat bu deneme de bağlantı kabloları ve noktalarında çıkan sorunlardan dolayı istenilen sonuç elde edilememiştir. Bu sorunun gövde dışı kaplamaları olan strafor köpük kısmından kaynaklanabileceği düşünülmüştür.



Şekil 66. Yeni tasarımla imal edilen motor taşıyıcı plakaların montajı

18. İki motor sürücüsünün yapılan test aşamalarında bozulması sonucu uçuş denemelerine ara verilip aynı model yeni motor sürücüleri sipariş edilmiştir.
19. Bağlantılara uçuş öncesi ve sonrası müdahale etmekte zorluk yaşandığı için strafor köpük kaplamalar araç üzerinden çıkarılarak uçuş denemeleri yapılmaya başlanılıp uçuş denemeleri başarıyla sonuçlandırılmıştır.



Şekil 67. Uçuş denemesinin başarıyla gerçekleştiği andan bir kesit



Şekil 68. Uçuş denemesinin başarıyla gerçekleştiği andan bir kesit

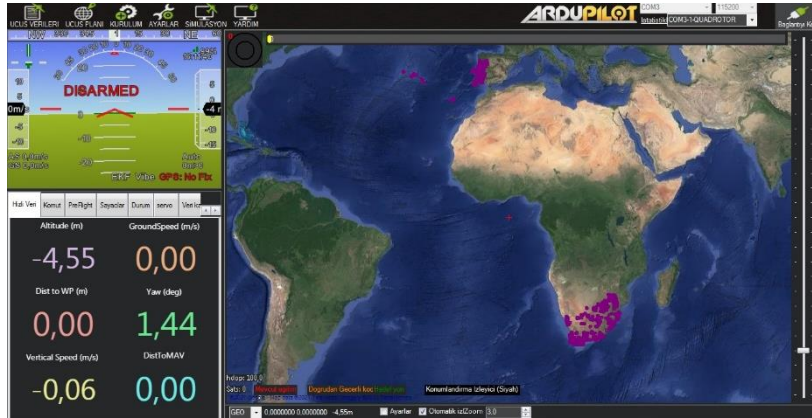


Şekil 69. Uçuş denemesinin başarıyla gerçekleştiği andan bir kesit

3. BULGULAR

Tasarımı yapılan döner kanatlı insansız hava aracının malzemeleri sipariş edildikten sonra montaj çalışmalarına başlandı. Aracın elektronik kısmının bağlantıları şase üzerinde tamamlandı. Montaj aşamasından sonra her bir elektronik hız kontrolcüsü (ESC), kendisine bir fırçasız DC motor bağlandıktan sonra kalibre edildi. Bu sayede motorlar birer birer çalıştırıldı, kontrol edildi ve motorlarda bir sorun olmadığı görüldü. Ardından ESC'ler uçuş kontrol kartına tanıtıldı. Uçuş kontrol kartının gerekli kalibrasyon ayarları da gerçekleştirildikten kart ile GPS arasında senkronizasyon ayarları yapıldı. Kontrol kartı ayarları tamamlandıktan sonra kumanda ile gerekli bağlantı gerçekleştirildi.

Araca pil ile enerji verildikten ve kumandayı çalıştırdıktan sonra araç hemen devreye girmemektedir. Öncesinde kumandanın, Mission Planer programı üzerinden "arm" işlemine tabi tutulması, yani devreye alınması gerekir. Bilgisayar üzerinden gerçekleştirilen söz konusu işlem, kumandaya motorları çalıştırması için izin verir. İşlem yapıldığı sırada motorların pervanelerinin takılmaması, güvenlik amacıyla belirli bir mesafede tutulması önerilir. Kumanda devreye alındıktan sonra komutlar motorlara rahat bir şekilde iletilir.



Şekil 70. Program üzerinden ekran görüntüsü

"Arm" işleminin ardından son kontroller de tamamlanarak motorlar test edilmeye başlandı. Motorların aynı anda çalıştırılması sırasında, aynı itki seviyesinde farklı devirlerde döndükleri tespit edildi. Yapılan testte motorların ikisinin çalışmadığı görüldü. Sonrasında gerekli ayarlar kontrol kartı yazılımı üzerinden yapıldıktan sonra test tekrar gerçekleştirildi. Söz konusu testte motorlardan birinin duraksama yaptığı ve dönmediği fark edildi. Sorunun motorun kendisinden kaynaklanıp kaynaklanmadığının tespiti için bahse konu motor farklı

bir ESC ile çalıştırıldı. Farklı ESC ile yapılan deneme sonucunda söz konusu motorun sorunsuz bir şekilde çalıştığı ve asıl sorunun söz konusu motora bağlanan ESC' de olduğu tespit edildi. Motor için yeni bir ESC siparişi verildi. Gelen yeni ESC ile birlikte motorlar tekrar test edildiğinde İHA'nın çalışmasında bir sorun olmadığı kaydedildi.

Motorların oturduğu plakalar köşeli bir tasarıma sahip olduğundan dolayı denemeler sırasında meydana gelen titreşim motor plakalarında çentik etkisi sebebiyle yorulmaya sebep olmuş ve plakalar kırılmıştır. Ardından yeni motor plakalarının imalatında çentik etkisini azaltıcı bir tasarım tercih edilmiştir.



Şekil 71. Çentik etkisini azaltıcı tasarım

Yapılan değişikliklerin ardından uçuş kontrol kartının sahip olduğu farklı uçuş modları için denemeler icra edildi. Uçuşlar, APM 2.8 uçuş kontrol kartının “stabilize”, “altitude hold” ve “loiter” isimlendirmeli uçuş modları ile gerçekleştirildi. Bahse konu modlardan “stabilize” mod, İHA'nın manuel olarak kontrol edilmesini sağlamaktadır. “Altitude hold” ve “loiter” modları ise APM 2.8'in otonom destekli uçuş modları arasında yer almaktadır. Yapılan denemeler sırasında en kararlı uçuş “altitude hold” uçuş modu ile gerçekleştirilmiştir. Döner kanatlı İHA, söz konusu denemelerde zeminden başarılı bir şekilde kalkış gerçekleştirerek havalanmıştır. Çeşitli itki seviyelerinde performans testleri icra edilen İHA'nın denemeler sırasında 30 metre irtifaya kadar rahat bir şekilde yükseldiği görülmüştür.

Denemeler sırasında yaklaşık 10 dakikalık uçuş kaydı alınmıştır. İHA, alınan video kayıt süresince yerden kalkış yapmış, irtifa değiştirmiş ve iniş gerçekleştirmiştir. Mevcut batarya, daha yüksek bir batarya ile değiştirilerek uçuş süresi uzatılabilmektedir.

4. TARTIŞMA

İnsansız hava araçları uzun zamandır hayatımızda olmasına rağmen son yıllarda meraklısının ve ilgisinin artmasıyla çok hızlı bir şekilde gelişme göstermiştir. Bu araçlar ihtiyaç ve özelliklere göre iki ana başlığa ayrılmaktadır. Projemiz olan döner kanatlı insansız hava araçları, sabit kanatlı İHA'lara göre daha düşük menzil ve irtifada uçabilen ve belirli bir süre havada asılı kalabilen sistemlerdir. Döner kanatlı olan İHA'lar rotor sayılarına göre adlandırılmaktadır. Yapılan literatür araştırmaları ve çalışmalar sonucu amacımıza uygun modelin 4 rotorlu İHA olan olduğuna karar verildi. Karşılaştırma yapılacak olursa 3 rotorlu olan İHA'ya göre bir motorun ve ESC'nin fazla olması amacımıza uygun performansı etkileyeceği için bir quadcopter yapmak daha uygun görülmüştür. Aynı şekilde bir hexacopter veya octocopter seçmenin fiyat performans açısından bütçede sıkıntı yaratacağı için uygun görülmemiştir.

Akla gelebilecek her alanda kullanıma elverişli olan İHA'lar kullanılmak istenen duruma uygun hale getirilmektedir. Bizim amacımız ise son zamanlarda büyük bir pandemi ile mücadele eden dünyada ve ülkemizde normal bir zamana göre daha fazla ilaca ve tıbbi desteğe ihtiyaç duyulması üzerine bu duruma kolaylık getirmek istemek ve İHA'lar ile ihtiyaç sahiplerine daha hızlı bir şekilde ulaşılmasını sağlamaktır.

Bunun üzerine normal bir döner kanatlı insansız hava aracını amacımıza uygun kullanılabilir hale getirmek için telemetri ve GPS eklemeye karar verdik. Bunun nedeni ulaşım, trafik veya kötü hava koşullarında zaman kaybedilmesinin önüne geçildiği gibi bir insan gücüne bile ihtiyaç duyularak kaybedilen zamanın da sifıra indirilmesidir.

Literatür araştırmalarında da sıklıkla karşılaşılan diğer bir husus insansız hava aracının hem hafif hem de dayanıklı olması için yapımında kullanılan malzemenin karbon fiber olması gerektiğidir. İstedığımız dayanıklılığı ve hafifliği maliyet yönünden de projemize uygun olan karbon fiber malzemesinin karşılayabileceğine karar verilmiştir. Kollarda da kullandığımız alüminyum boruların karbon fiber bantla mukavemetini artırılmıştır. İHA'nın taşıma haznesi, plastik malzemeyle üretilmiş olup strafor malzemeyle desteklenmiştir. Plastik bir malzeme yardımıyla iki katmanlı bir yapı haline getirilen faydalı yük taşıma haznesine, İHA'nın elektronik bileşenleri yerleştirilmiştir.

Kullanılan malzemeler İHA'nın yapımında çok önemli bir rol almaktadır. Malzeme seçimi doğru yapılmadığı takdirde İHA'nın taşıyabileceği yükün büyük bir kısmını kendi gövdesini kaldırmak için kullanabilir. Üzerine yerleştirilen birleşenlerin ağırlığını da hesaba katılırsa ve motorlar bu hesaplara uygun seçilmezse taşıyabileceği faydalı yük en aza düşer hatta yerden kalkamayabilir. Hem hesaplarımızı hem de malzeme seçimini bütün bu hususlara uygun olacak şekilde seçmiş bulunmaktayız. Nitekim başarılı bir uçuş ile yapmış olduğumuz seçimlerin doğruluğunu görmüş bulunmaktayız.

5. SONUÇLAR

1. ‘‘Döner Kanatlı İnsansız Hava Aracı’’ adlı bu çalışmamızda, eczacılık ve benzeri medikal alanlar da kargo taşıma görevinde kullanılacak olan bir quadcopter tasarımı yapılmıştır. Bu doğrultuda daha sonra yapılacak olan çalışmalar için kaynak oluşturulması ve çalışan özgün bir modelin ortaya çıkarılması amaçlanmıştır. Bununla birlikte okul bünyesinde edinilen mühendislik bilgilerinin tecrübe edilmesi sağlanmıştır.
2. Yapılan çalışmada, quadcopter için kullanılacak şase malzemesinin aracın faydalı yük taşıma kapasitesine doğrudan etki ettiği hesaplar sonucu görülmüştür.
3. Modelin ortaya çıkarılması için hangi üretim yöntemlerinin kullanılabileceği araştırılmış ve sonucunda uygun olan üretim yöntemi ve malzemeler seçilmiştir.
4. Quadcopter’ in maliyetinin, ağırlığının artışına bağlı olarak arttığı gözlemlenmiştir.
5. Fazla bağlantı parçası kullanımının sistemin dengesini bozabileceği ve uçuş sırasında titreşimlere yol açabileceği saptanmıştır.
6. Kullanılacak olan motor ve motor sürücüsünün özelliklerinin, yapılan hesaplar sonucu pil seçimini doğrudan etkilediği gözlemlenmiştir.
7. Pildeki artan hücre sayısına bağlı olarak quadcopter’ in ağırlığının çok fazla arttığı, uçuş süresinin uzadığı belirlenmiştir ancak tasarımın faydalı yük taşıma kapasitesini arttırmak için pilin mümkün olduğunca optimum değerlerde seçilmesi gerektiği hesaplar sonucu görülmüştür.
8. İniş takımlarının yeri tam kavrayamayacak şekilde olması quadcopter’ in iniş kalkışını etkilediği, iniş takımlarının mümkün olduğunca geniş yüzey alanına sahip olup, yeri iyi kavraması gerektiği saptanmıştır.
9. İnsansız hava araçlarının uçuş alanlarının insanların emniyeti açısından belli kurallar çerçevesi altında olması, güvenlik ve alınması gereken tedbirlerin neler olduğu, uçuşun hangi bölgelerde yapılabileceği anlatılmıştır.
10. Haberleşme, bilgi ve iletişim açısından, basit bir quadcopter’ den daha donanımlı bir quadcopter’ e geçiş için gereken malzeme ve aksesuarların neler olduğu belirtilmiştir.

11. Motorun yanlış seçiminin, uygun olmayan pervane kullanımının ve hatalı kalibrasyon ayarlarının sistemi çalışmaz hale getirebileceği veya stabil çalışma bölgesinden uzaklaştıracağı yapılan testler sonucu görülmüştür.
12. Arızalı parça değişimi, pusula, jiroskop ve benzeri algılayıcılarının ayarlarının düzgün bir şekilde yapılması için konstrüksiyonun montaj ve demontaj işlemleri yönünden kolaylık sağlamanın gerekliliği saptanmıştır.
13. İmalat süresince ve bileşenlerin şase üzerine montajı esnasında uygun ekipmanların doğru kullanılmasının zamandan tasarruf için önemli olduğu belirlenmiştir.
14. Tasarımın üretim ve imalat sürecinde karşılaşılan ve karşılaşılabilecek problemlerin neler olduğu saptanmış, çözüm önerileri sunulmuştur. Tasarımı iyileştirmek ve ileriye taşımak adına öneriler belirlenmiştir.

6. ÖNERİLER

Tasarlanmak istenen İHA için öncelikli olarak kullanılacak motor sayısına göre bir şase seçiminin yapılması önerilir. Tasarıma ve hesaplamalara buradan başlamak diğer bileşenlerin doğru bir şekilde seçilmesi için önem arz eder. Şase sistemin kritik bölgesidir ve motor ile pil seçimini doğrudan etkilemektedir. Motor ve pilin seçimi ise tüm sistem ağırlığı göz önünde bulundurularak yapılmalıdır. Hatalı bir seçim sistemin çalışmamasına ya da stabil çalışma aralığından uzaklaşmasına neden olabilir. Burada yapılacak hesaplama veya tasarımsal hataların sistemi doğrudan etkileyeceğinden dolayı bu hataları en başta yapmak, görmek ve değerlendirmek vakit kazancı sağlamaktadır.

Tasarladığımız Döner Kanatlı İnsansız Hava Aracında kullandığımız tüm elektronik bileşenler gelişmiş donanım ve yazılım özelliklerine sahip olduğundan son aşamada uçuş için bu bileşenlerin birbirleri ile haberleşme ayarları ve bağlantıları karışıklık oluşturabilir. Örneğin kullanılan uçuş kontrol kartındaki ivme algılayıcısının ayarlarının doğru bir şekilde yapılmamasından dolayı araç dengesiz uçabilir veya gaz verilmesi esnasında doğrudan kırıma uğrayabilir. Bununla birlikte gelişmiş donanım ve yazılım özelliklerine sahip bileşenler proje maliyetini çok fazla arttırmaktadır. Bu projeler ile uğraşacaklar için önerimiz eğer bu konular ile ilgili deneyimleri yok ise ilk olarak daha basit ve ucuz bileşenler alıp kendilerini geliştirmeleridir. Başlangıç için APM 2.8 uçuş kontrol kartı yerine daha basit, ayarları bilgisayar ortamına ihtiyaç duymadan yapılabilen KK2 ve benzeri uçuş kontrol kartlarını kullanabilirler.

İlk aşamada aracın gövde konstrüksiyonunda kalın, gözenekli bir yapıya sahip strafor kullanılmıştır. Ancak radyus verilmesi, kesim, şekillendirme, yapııştırma ve kaplama işlemlerinin yapılması sırasında gözenekli yapıdan dolayı parça bütünlüğü ve yüzey dokusu bozulmuştur. Kaplama ve renklendirme işlemleri sırasında güçlükler ile karşılaşmıştır. Bu yüzden karışık geometrilere sahip tasarımlarda ana gövde malzemesi olarak strafor kullanılması önerilmemektedir.

Tasarımda motor bağlantı plakaları araç hafifliği göz önünde bulundurularak sert plastik malzemeden yapılmıştır. Bundan dolayı vidaların sıkılması esnasında deformasyonlara, ayar hassasiyetinin bozulmasına ve motorlar tam güçte çalışırken esnemelere sebebiyet verebilmektedir.

Projenin geliştirilmesi çalışmalarında motor bağlantı vidalarının çevrimlerinin hassas ayarlanması, esnemelerin önlenmesi için metal bir malzeme kullanılması önerilir.

İniş takımları, kargo bölümü, pil, güç dağıtım kartı, uçuş kontrol kartı gibi ekipmanların konumlandırılacağı bölümler bütünlüğün sağlanması, titreşimlerin minimuma indirilmesi için kompakt bir şekilde birleşik tasarlandı. Ancak uygulama da bu tasarım bazı sorunlar teşkil edebilmektedir. Aracın uçuş kontrol kartının ayarları yapılırken, lehimlerde bir bağlantı problemi oluştuğunda veya bir parçanın değişmesi gerektiğinde, demontaj sırasında bu durum güçlük oluşturabilmektedir. Bu bağlantı bölümlerinin aracın dengesini etkilemeyecek şekilde ulaşılabilir olarak yapılması önerilmektedir.

Taşınabilecek faydalı yük miktarını etkileyen en önemli parametreler motor gücü, şase ve pilin kapasitesidir. Tasarımda aracın faydalı yük kapasitesi, emniyet katsayısı da göz önünde bulundurularak yaklaşık 400 gr olarak belirlendi. Geliştirme çalışmalarında motor gücü, pil kapasitesi dolayısıyla da pervanelerin değiştirilmesiyle faydalı yük miktarı daha da yükseltilebilir. Ayrıca pil kapasitesinin artırılması uçuş süresini olumlu yönde etkilemektedir.

Motor sürücüleri, motor ve pilin desteklediği hücre sayısına göre seçilmelidir. Stabil çalışma için motor sürücüsü-motor-uzaktan kumanda arasındaki kalibrasyon son derece önem arz etmektedir. Uçuş öncesinde bu bileşenlerin sağlamlığının ve doğru şekilde çalışır durumda olduğunun kontrolünün yapılması önerilir. Bununla birlikte kullanılacak pervanelerin motor kataloglarında belirtilen tavsiyelere göre seçilmesi önerilir. Zira motorun karşılayacağından büyük veya küçük pervane kullanımı verimi düşürmektedir.

Tasarım eczacılık ve benzeri medikal alanlar da kargo taşımacılığı görevini yarı otonom uçuş ile icra edebilecek bir araç olarak yapıldı. Geliştirme çalışmaları ile bu alanlar daha da genişletilebilir. Bununla birlikte kargo bölümüne soğutucu bir sistem eklenip ısının muhafaza edilmesi gereken ürünlerin taşınması da sağlanabilir.

Son olarak bu çalışmalar sadece makine mühendisliği değil elektrik-elektronik, bilgisayar mühendisliği gibi farklı mühendislik alanlarından bilgi ve tecrübeye sahip tasarımcılara ihtiyaç duyar. Gerektiği durumlar da bu farklı disiplinlerden bilgi, fikir almak çalışmanın gidişatı konusunda yol gösterici olmaktadır. Bununla beraber tasarım ve üretim süreçleri de kısalmaktadır. Tasarım ve üretim tamamlandıktan sonra diğer önemli bir konu İHA'nın uçurulmasıdır.

Bu aşamada İHA' yı kullanacak kişinin siműlasyon programlarını kullanarak uzaktan kumanda aracılığıyla pratik yapması, farklı kaynaklardan uçuř videoları izlemesi önerilir.

7. KAYNAKLAR

1. Allianz Global Corporate & Specialty SE. September 2016.
http://www.agcs.allianz.com/assets/PDFs/Reports/AGCS_Rise_of_the_drones_report.pdf.
2. A-NPA, 2015-10, Introduction of a Regulatory Framework for The Operation of Drones, <https://www.easa.europa.eu/system/files/dfu/A-NPA%202015-10.pdf>
3. ARC, 2016, Micro Unmanned Aircraft Systems Aviation Rulemaking Committee (ARC), ARC Recommendations Final Report. 01 April 2016.
4. Bill No. 752189-6 on Amending the Air Code of the Russian Federation, 11 January 2016
5. KAHVECİ, M., CAN, N.; İnsansız Hava Araçları: Tarihçesi, Tanımı, Dünyada ve Türkiye'deki Yasal Durumu S.Ü. Müh. Bilim ve Tekn. Derg., c.5, s.4, ss. 511-535, 2017 Selcuk Univ. J. Eng. Sci. Tech., v.5, n.4, pp. 511-535, 2017
6. Baran, A. E., Hacer, C., Çalikoğlu, E., Duman, E., Çetinsoy, E., Ünel, M. ve Akşit, M. F.; İnsansız Hava Araçları için Test Düzenegi Tasarımı ve Üretimi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi Mekatronik Mühendisliği Programı Sabancı Üniversitesi, 34956 İstanbul, 2008
7. KUTLUK, A.G., ARIKAN B. ve KURTULUŞ D.F.; Hibrit İnsansız Hava Aracının Yönelim Dinamiklerinin Hibrit Denetimi VI. Ulusal Havacılık ve Uzay Konferansı Uruk-2016-078 28-30 Eylül 2016, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli
8. ÖNER, K. T., ÇETİNSOY, E., SIRIMOĞLU, E., AYKEN, T., ÜNEL, M., AKSİT, M. F., KANDEMİR, İ. ve GÜLEZ K.; Yeni Bir İnsansız Hava Aracının (SUAVI) Mekanik ve Aerodinamik Tasarımı Sabancı Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Orhanlı-Tuzla, 34956, İstanbul
{cetinsoy,kaanoner}@su.sabanciuniv.edu 4,5 {aksit,munel}@sabanciuniv.edu
Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mühendislik Fakültesi, Çayırova-Gebze, 41400, Kocaeli kandemir@gyte.edu.tr 6 Yıldız Teknik Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Fakültesi, Barbaros Bulvarı-Yıldız, 34349, İstanbul
9. YILMAZ, H.M., MUTLUOĞLU, Ö., ULVİ, A., YAMAN, A. ve BİLGİLİOĞLU S.S.; İnsansız Hava Aracı ile Ortofoto Üretimi ve Aksaray Üniversitesi Kampüsü Örneği ISSN: 2564-6761 Geomatik Dergisi Journal of Geomatics 2018; 3(2);103-110

10. ÖZBEK, N.S., ÖNKOL, M. ve EFE M.Ö; Döner kanat Tipinde Bir İnsansız Hava Aracının Farklı Yöntemlerle Kontrolü ve Performans Analizi TOK 2014 Bildiri Kitabı 11-13 Eylül 2014, Kocaeli
11. BAYRAKTAR, O., ÖZDEMİR, F., ÇETİN, Ö. ve YILMAZ, G.; İnsansız Hava Araçları İçin Otonom İniş Sistemi Simülatörü Tasarımı BİLİŞİM
12. TEKNOLOJİLERİ DERGİSİ, CİLT: 5, SAYI: 2, MAYIS 2012
13. <https://maker.robotistan.com/drone-nedir/>
14. <https://www.dronedoktoru.com/multikopter-nedir.html>
15. https://tr.wikipedia.org/wiki/%C4%B0nsans%C4%B1z_hava_arac%C4%B1
16. https://bilgeis.net/docs/40_B2_1.pdf
17. www.kho.edu.tr/akademik/enstitu/savben_dergi/141/7.pdf
18. <https://www.bilimcag.com/calismalarim/insansiz-hava-araclari/insansiz-hava-araclari-tarihcesi/>
19. <https://www.havadrone.com/dronenun-tarihi/>
20. <http://erenhobi.blogspot.com/2014/09/quadrotor-quadcopter-nedir.html>
21. <http://www.droneyapimi.com/drone-hangi-parcalardan-olusur/>
22. <https://www.dronetamiri.com/drone-calisma-prensibi/>
23. <https://www.drone.net.tr/blog/fpv-drone-yapimi-drone-hakkinda-temel-bilgiler-713.html>
24. <http://www.droneyapimi.com/drone-hangi-parcalardan-olusur/>
25. <http://www.fotokopter.com.tr/blog/drone-terimleri-sozlugu>
26. <https://www.wired.com/2017/05/the-physics-of-drones/>
27. https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/8/8d/Malazgirt_UAV_Helicopters_Acceptance_Tests.jpg/300pxMalazgirt_UAV_Helicopters_Acceptance_Tests.jpg
28. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Curtiss_N2C-2_NAF_drone_1938-39.jpg

29. https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/c/c4/Malazgirt_UAV_Helicopters.jpg/304px-Malazgirt_UAV_Helicopters.jpg
30. <https://www.iphoneness.com/cool-finds/yi-erida-tricopter-drone/>
31. <https://www.lazada.com.ph/products/zj-ls-xt6-mini-drones-4k-aerial-folding-long-endurance-uav-dual-lens-quadcopter-i1250760624.html>
32. <https://tr.aliexpress.com/item/4000169631975.html>
33. <https://arpod.com.tr/ar-ge/octocopter/>
34. <https://www.dyd.org.tr/portfolio/saseler-frame/>
35. <https://www.drone.net.tr/blog/fpv-drone-yapimi-drone-hakkinda-temel-bilgiler-713.html>
36. <https://www.robotshop.com/media/files/images/lynxmotion-hunter-vtail-500-drone-t-motor-combo-kit-1-large.jpg>
37. <https://www.hifisac.com/en/shop/product/esc-30a-skywalker-30a-electronic-speed-controller-esc-2583>
38. <https://blog.oyuncakhobi.com/wp-content/uploads/2019/08/Figure-1-Prop-Rotation.png>
39. https://ae01.alicdn.com/kf/Hd186b3a9d9cb4b139cc8e4d9140ede2fo/4-adet-pervane-koruyucu-DJI-Mavic-2-Pro-Zoom-Drone-koruma-tampon-h-zl-b-rakma.jpg_50x50.jpg_.webp
40. <https://www.mekrobot.com/Uploads/UrunResimleri/buyuk/apm2.6-icin-neo-m6n-gps-modulu-7299.jpg>
41. <https://img.gkbcdn.com/s3/p/2015-09-25/3dr-radio-telemetry-kit-with-case-433mhz-915mhz-for-mwc-apm-px4-pixhawk-1571976887776.jpg>
42. <https://i0.shbdn.com/photos/66/32/59/862663259s2o.jpg>
43. <https://st3.myideasoft.com/shop/dt/63/myassets/products/938/3s-2200mah-40c-lipo-batarya-11-1v-pil.jpg?revision=1550910931>
44. <https://www.promodelhobby.com/class/INNOVAEditor/assets/A99/rc-kumanda-vericisi-%C5%9Fema.jpg>

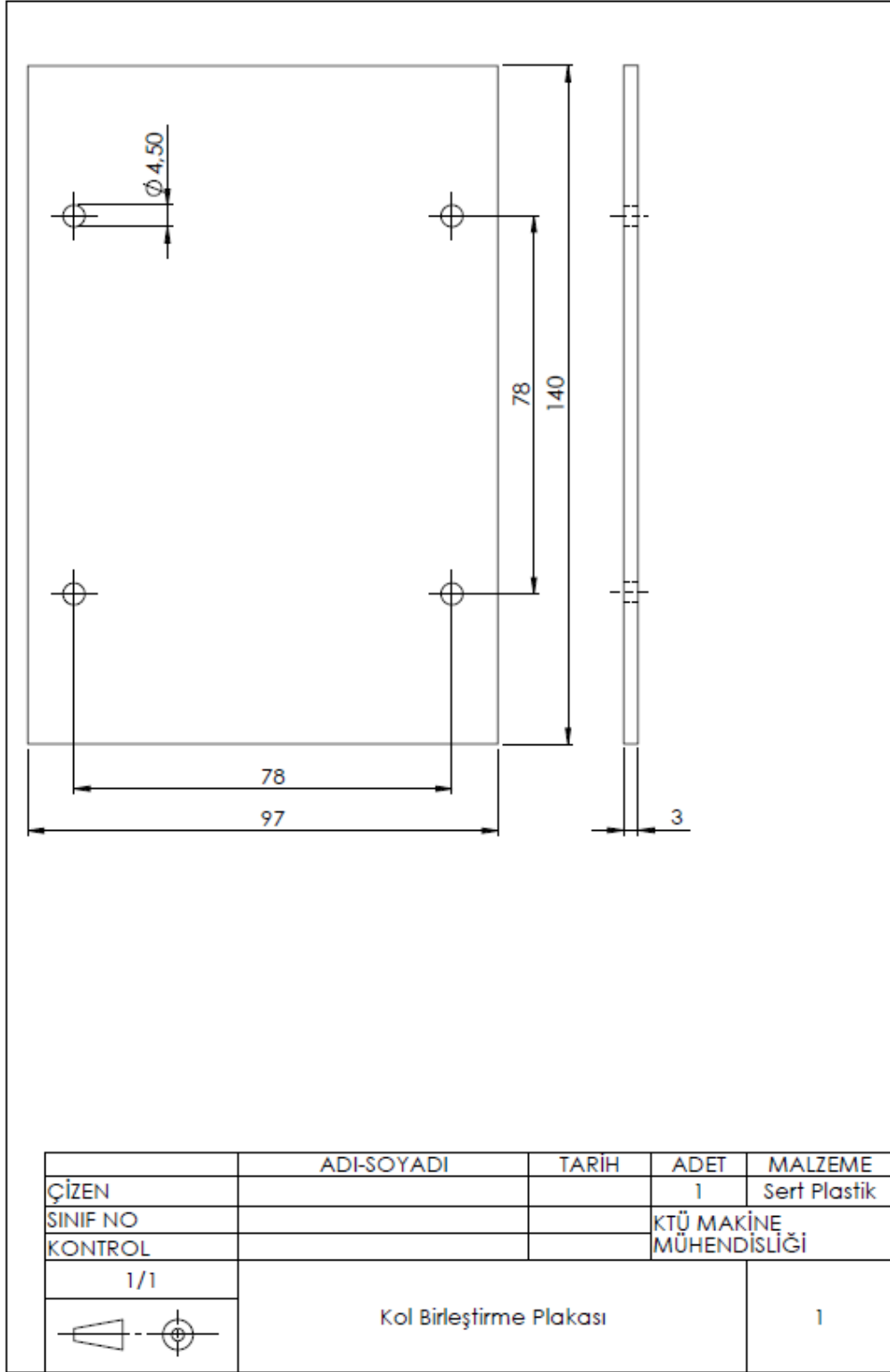
8. EKLER

EK 1

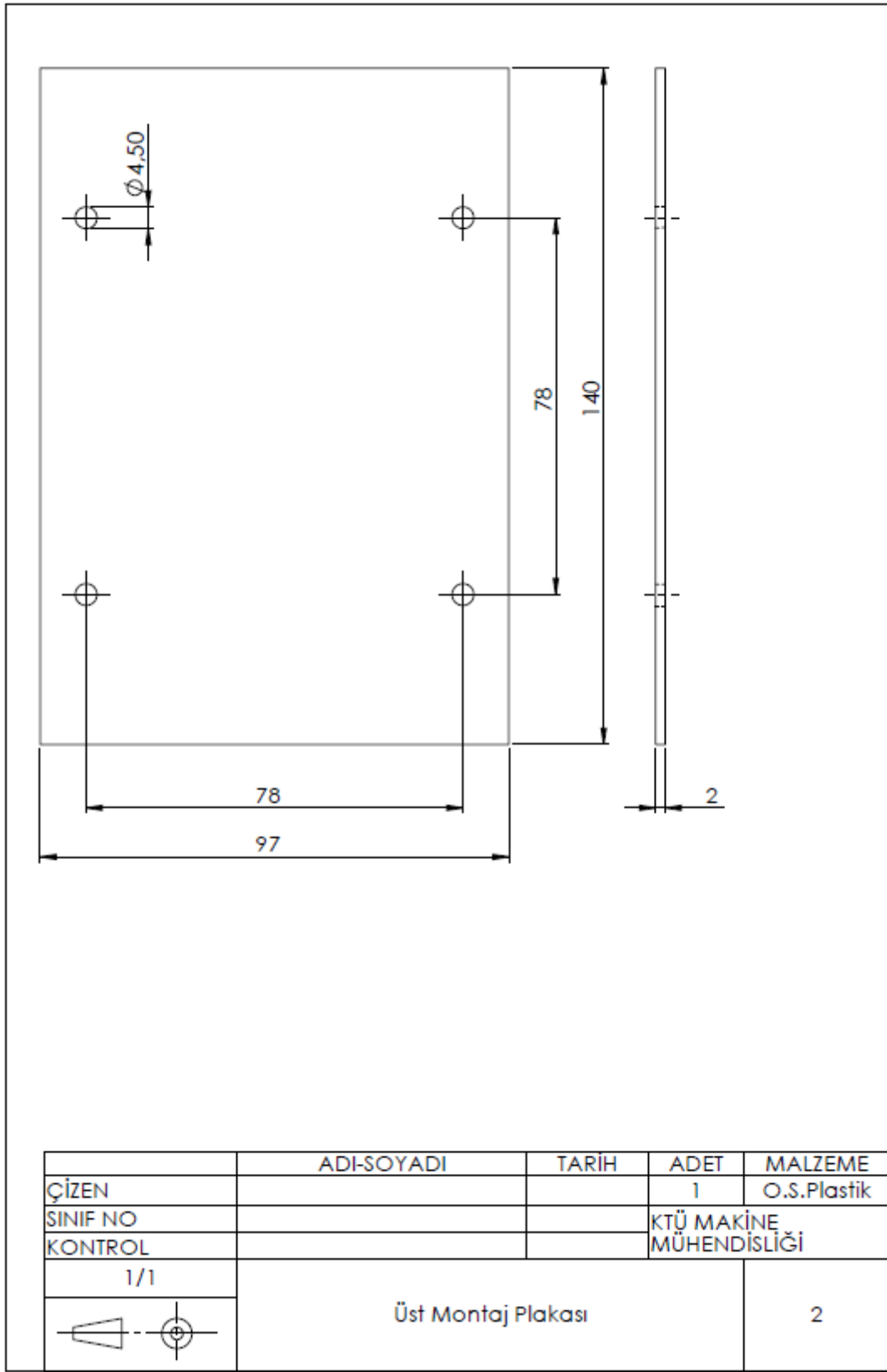
EK 2

Yukarıda vermiş olduğumuz eklerde projemizin imalat parçalarının teknik resimleri ve maliyet tabloları verilmiştir.

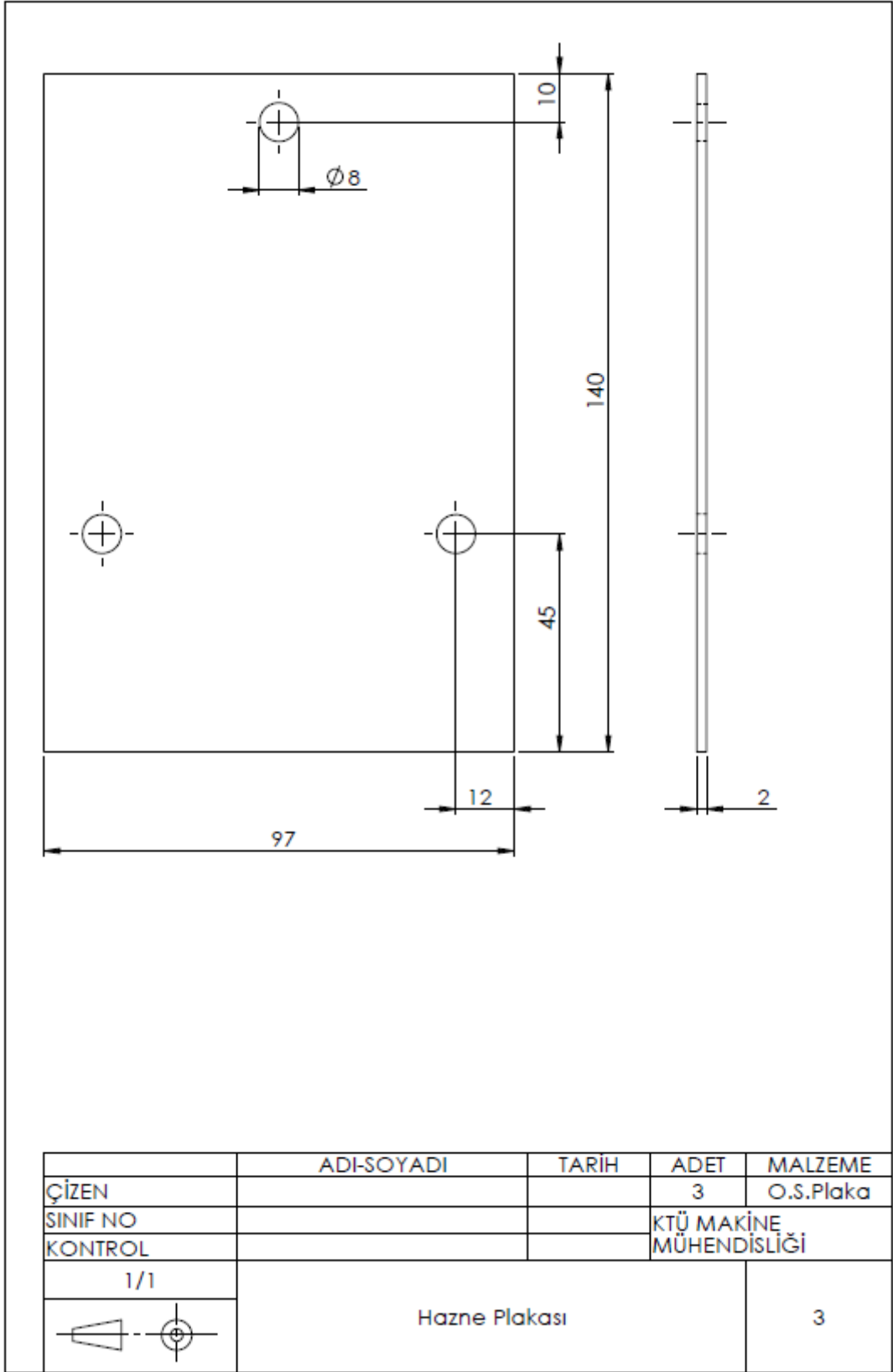
EK 1. İmalatı tarafımızca yapılan parçaların teknik resimleri



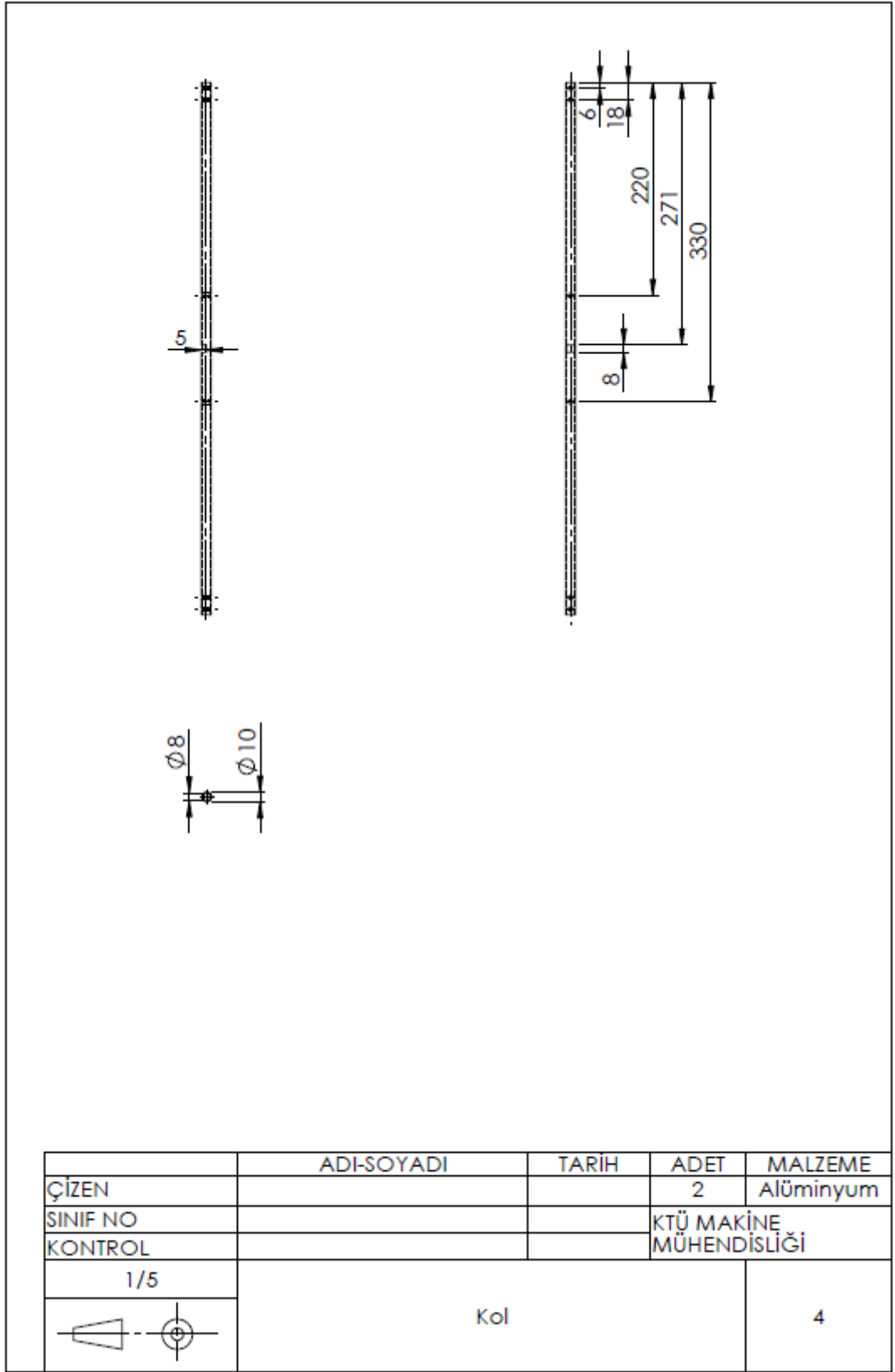
EK 1.1. Kol Birleştirme Parçasının Teknik Resimi



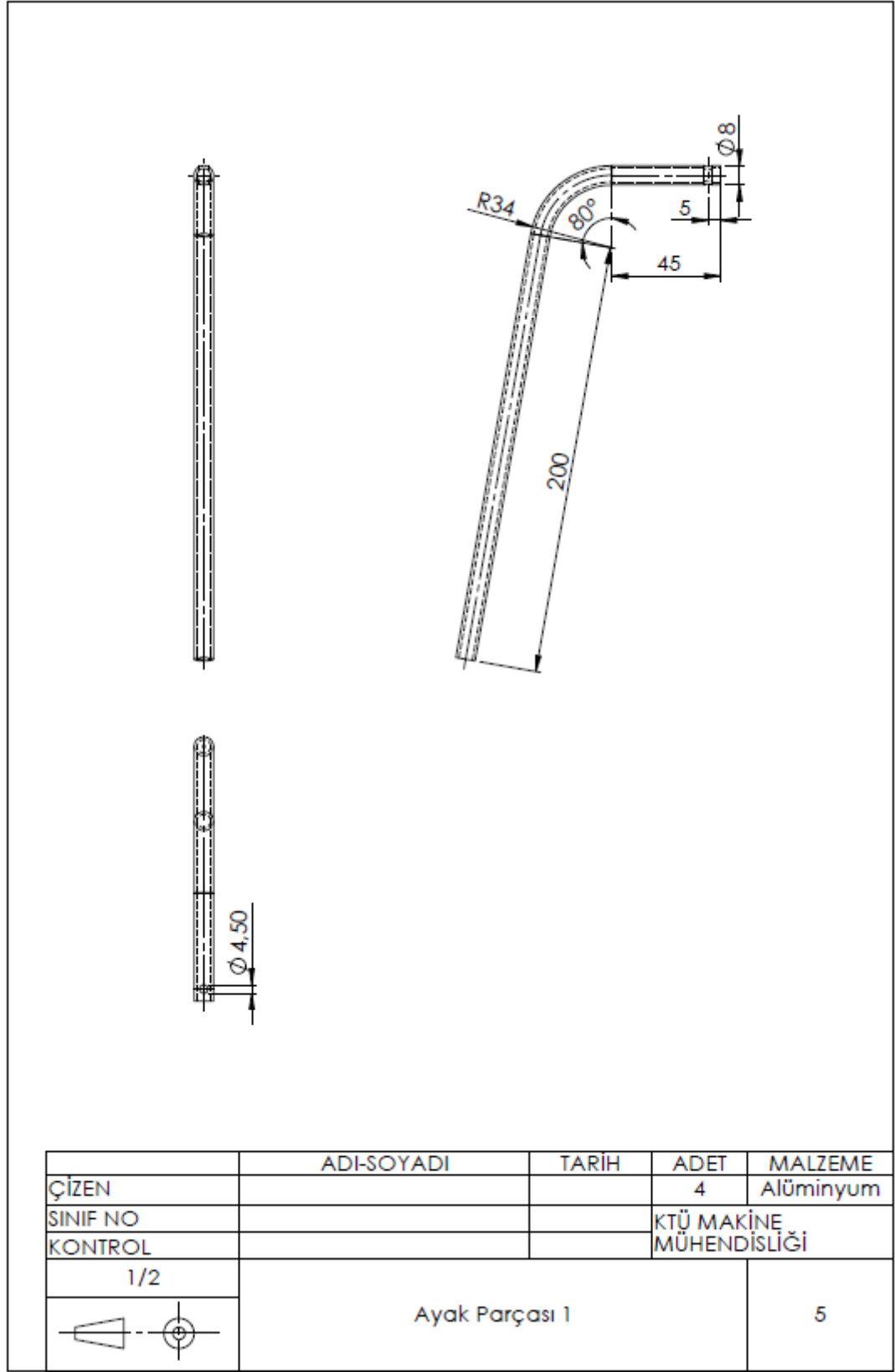
EK 1.2. Üst Montaj Plakasının Teknik Resimi



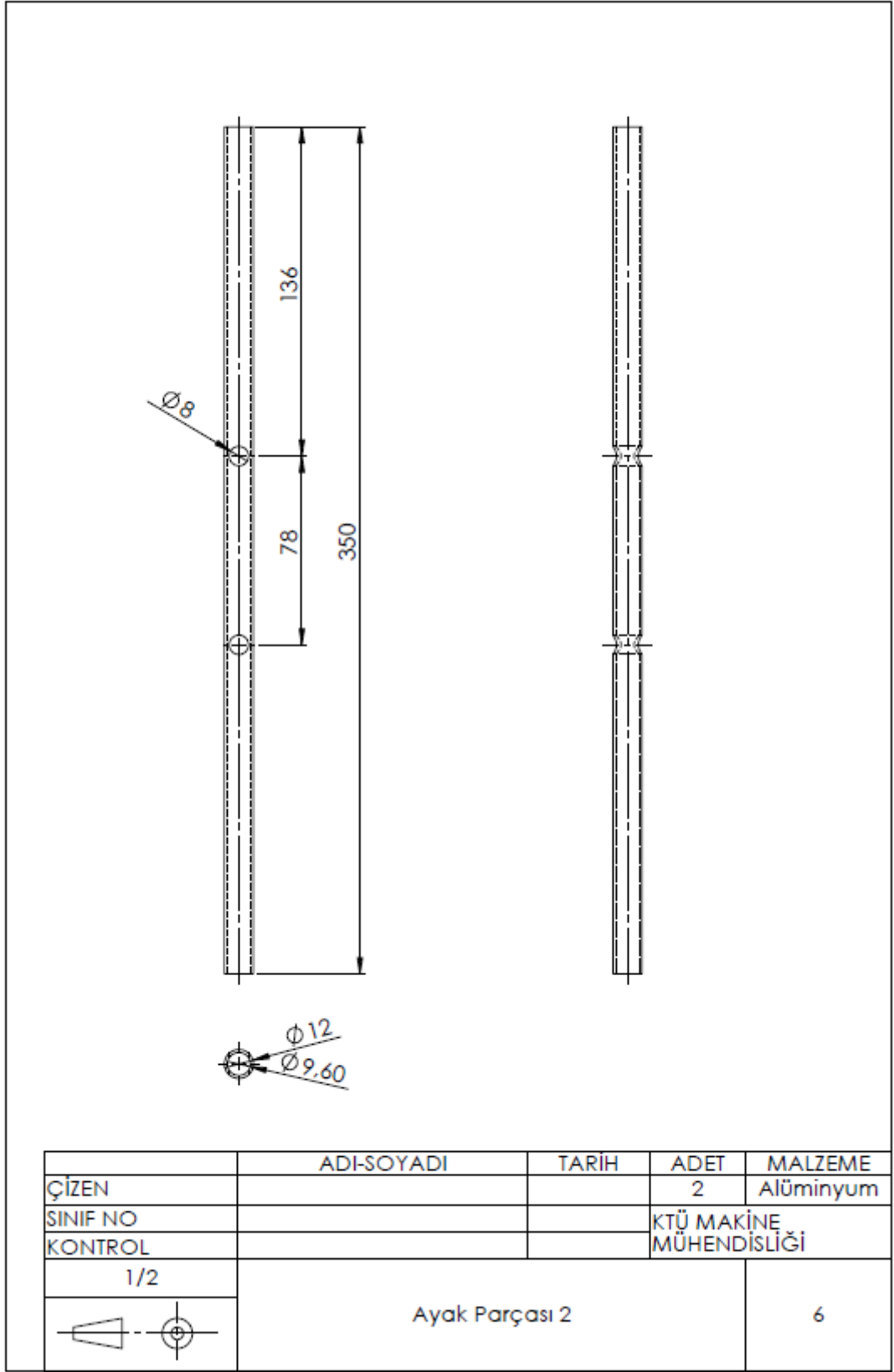
EK 1.3. Hazne Plakasının Teknik Resimi



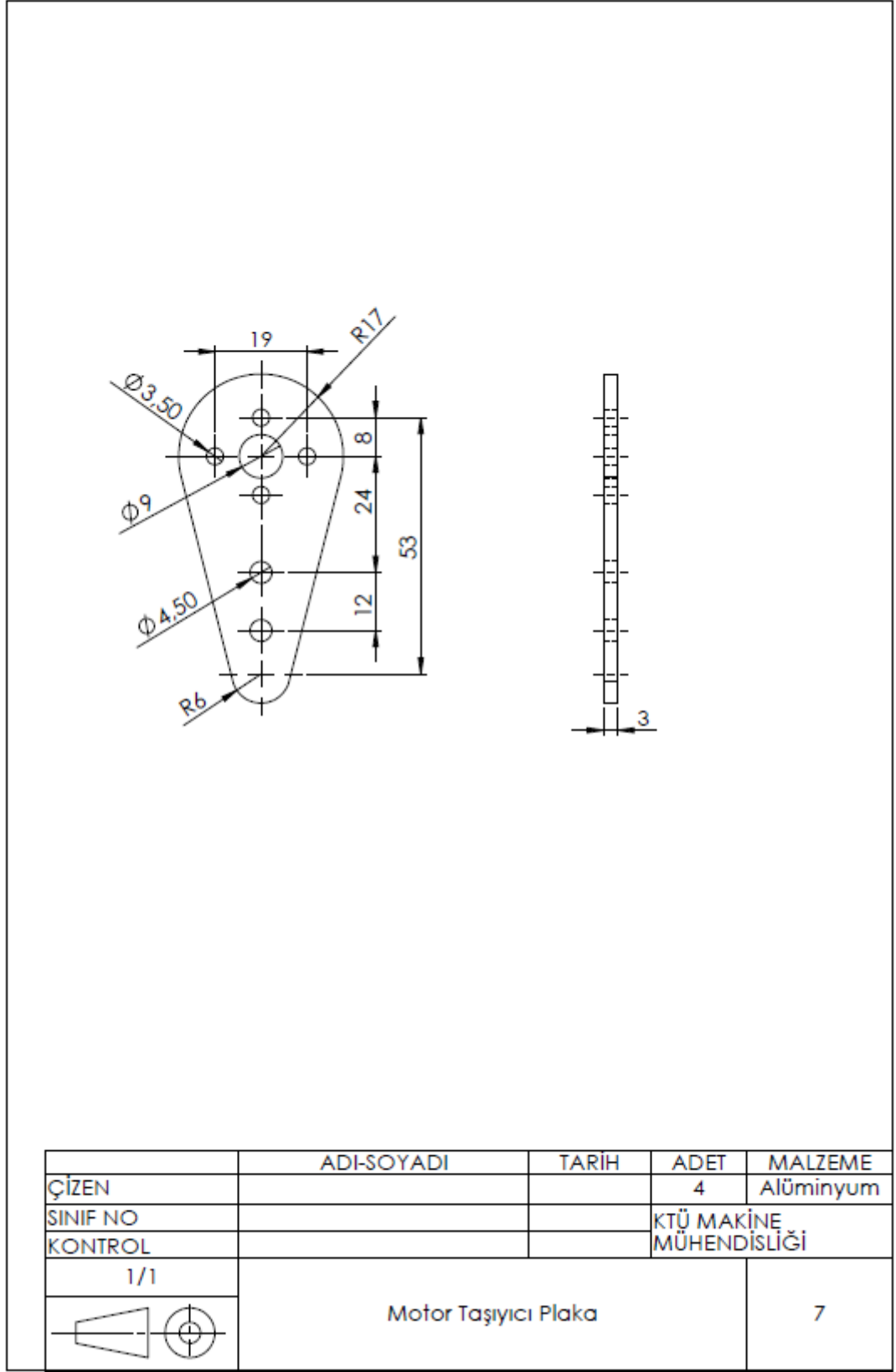
EK 1.4. Kolların Teknik Resimi



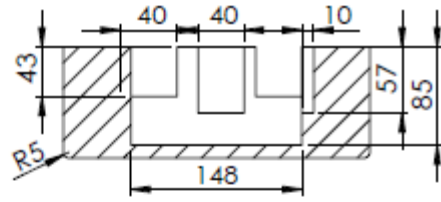
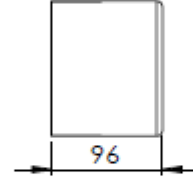
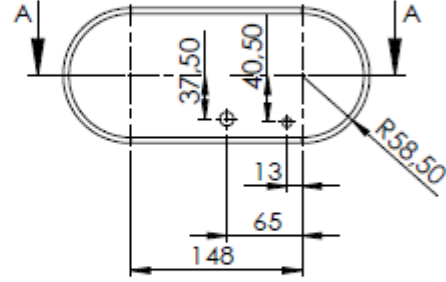
EK 1.5. 1. Ayak Parçasının Teknik Resimi



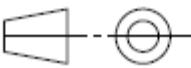
EK 1.6. 2. Ayak Parçasının Teknik Resimi



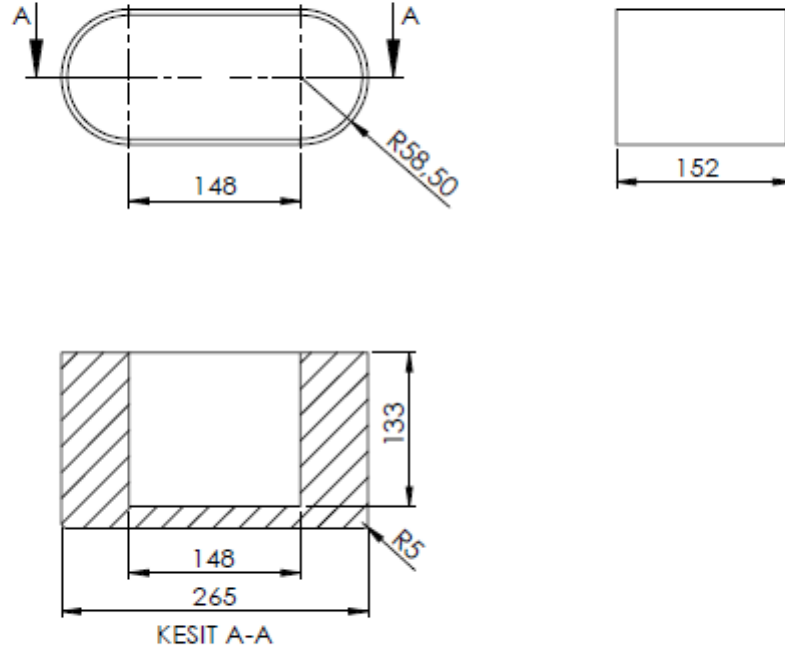
EK 1.7. Motor Taşıyıcı Plakanın Teknik Resimi

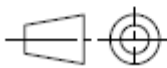


KESIT A-A

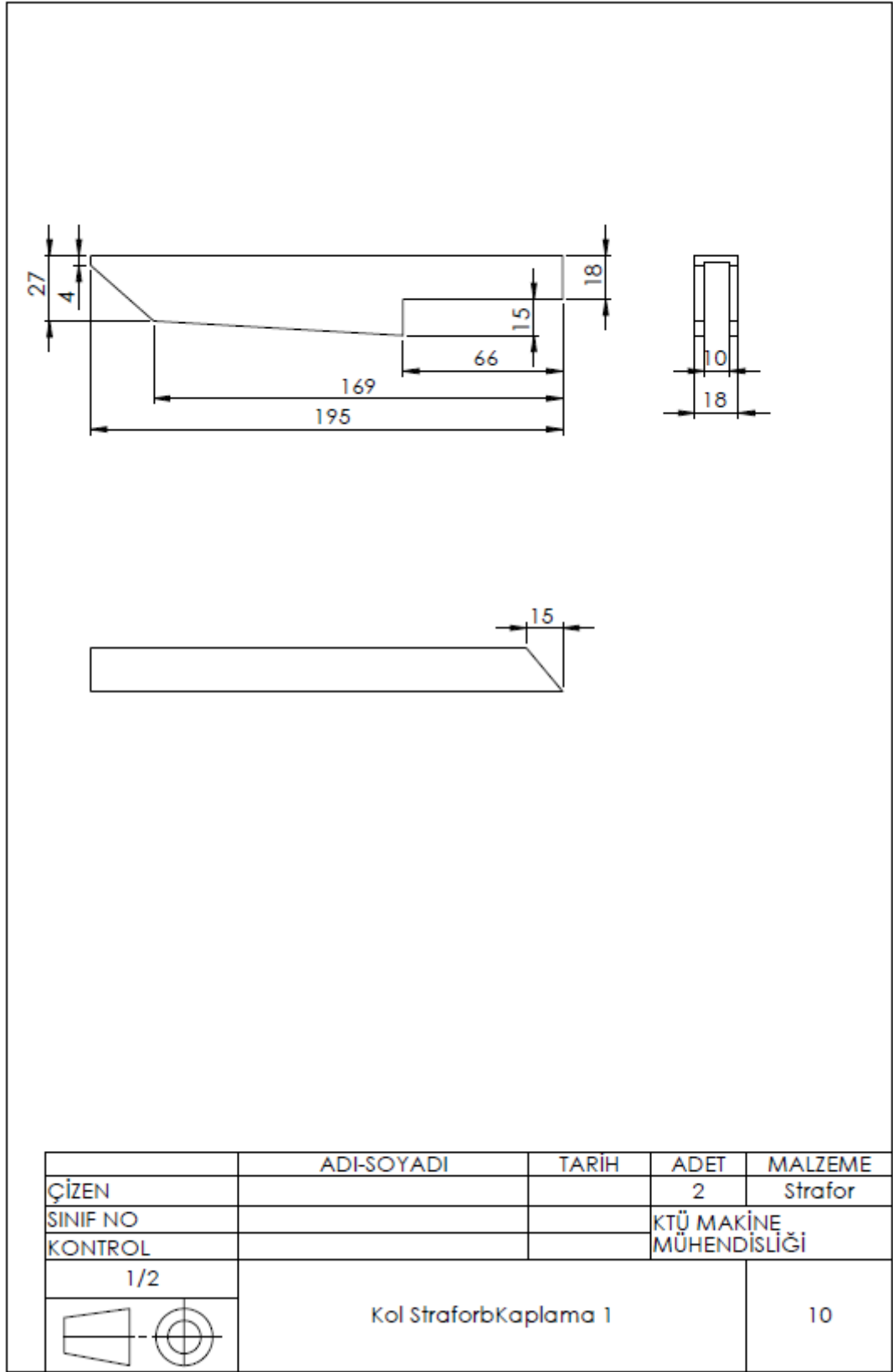
	ADI-SOYADI	TARİH	ADET	MALZEME
ÇİZEN			1	Strafor
SINIF NO			KTÜ MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ	
KONTROL				
1/5	Üst Strafor Kaplama			8
				

EK 1.8. Üst Strafor Kaplamanın Teknik Resimi

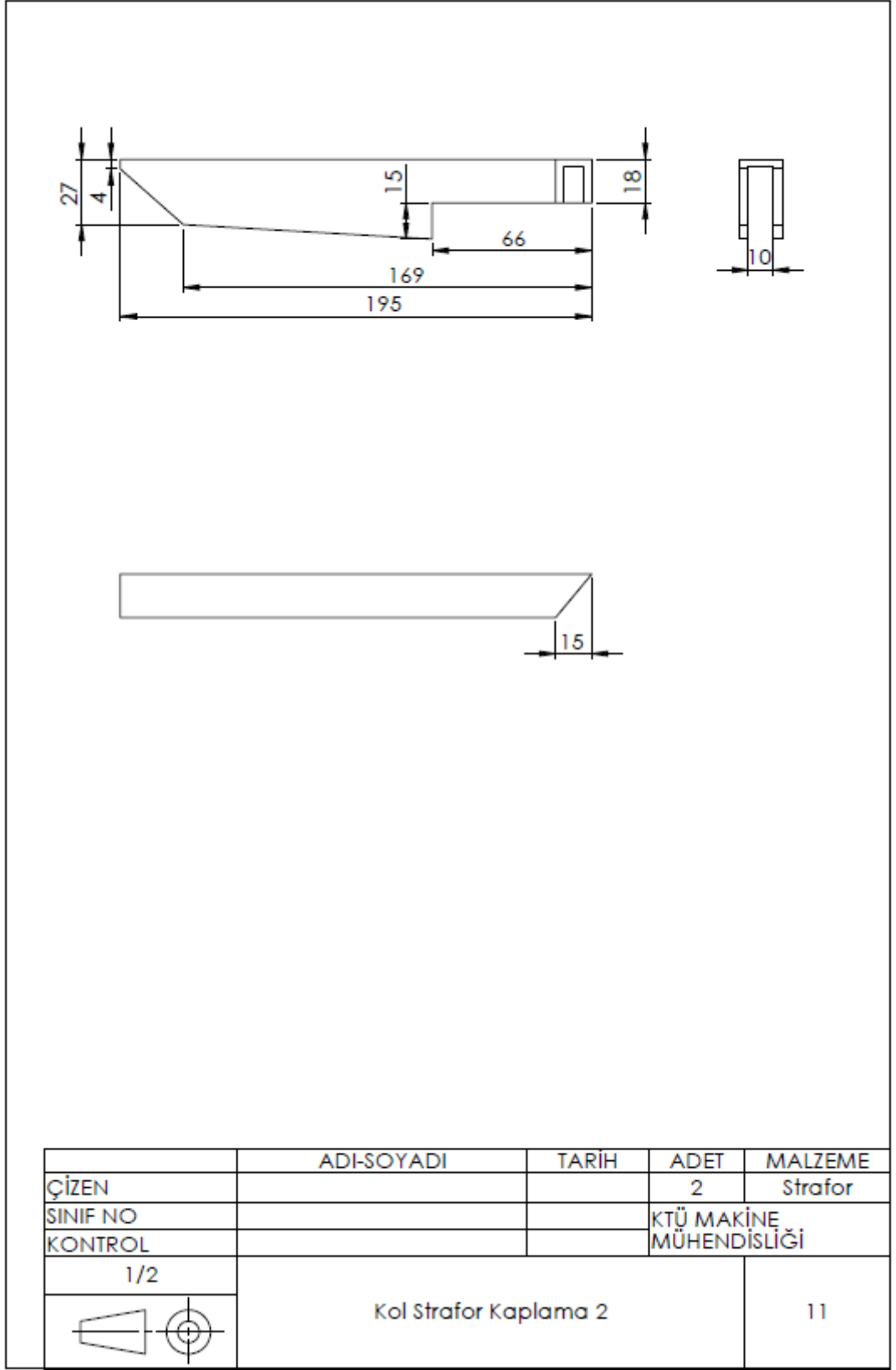


	ADI-SOYADI	TARİH	ADET	MALZEME
ÇİZEN			1	Strafor
SINIF NO			KTÜ MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ	
KONTROL				
1/5				
	Alt Strafor Plaka			9

EK 1.9. Alt Strafor Kaplamanın Teknik Resimi



EK 1.10. 1. Kol Strafor Kaplama Parçasının Teknik Resimi



EK 1.11. 2. Kol Strafor Kaplama Parçasının Teknik Resimi

EK 2. Kullanılan her bir malzemenin sayısı ve maliyet tablosu

Malzeme Adı	Adet	Maliyet
APM2.8 ArduPilot Mega 2.8 uçuş kontrol kartı	1	231 TL
Emax BLHeli Series 30A 2s-4s sürücü ESC	6	810 TL
Güç dağıtım kartı	1	21 TL
11x5.5 CW&CCW kırmızı pervane seti	2	15 TL
11x5.5 CW&CCW mavi pervane seti	2	15 TL
10x4.5 CW&CCW siyah pervane seti	2	16 TL
GPS	1	187,5 TL
Telemetri	1	246,4 TL
Emax XA2212 820KV fırçasız motor	4	448 TL
3500 mAh Li-Po batarya	1	187 TL
Imax Rc şarj aleti	1	70 TL
10 kanallı RC kumanda	1	592 TL
XT60 konnektörlü ara kablo	1	25 TL
Uçuş kontrol kartını besleyen güç modülü	1	65 TL
Konnektörler	9	25 TL
M3x40 İnbus civata	15	20 TL
M3 Somun	8	15 TL
Karbon fiber bant	1	30 TL
Jumper kablolar	20	7 TL
Strafor köpük	2	15 TL
3 mm sert plastik plaka	1	10 TL
2 mm orta sertlikte plastik plaka	3	8 TL
Alüminyum borular	6	110 TL
Kablo bağları	1 paket	9 TL
Bant	1	5 TL
Çelik yapıştırıcı	1 kutu	15 TL
ESC uzatma kabloları	5	25 TL
Motor bağlantı plakası	7	100 TL
Makaronlar	4	5 TL
	Toplam	3328 TL

ÖZGEÇMİŞ

Semih MUTLU, 1996 yılında Bursa'nın Orhangazi ilçesinde doğdu. İlk okul ve orta okul öğrenimini doğduğu şehir olan Bursa'da Atatürk İlk Öğretim Okulu'nda tamamladı. 2010 yılında Bursa/Orhangazi Teknik ve Endüstri Meslek Lisesine başlayıp 2014 yılında mezun oldu. 2016 yılında Kocaeli Üniversitesi Kontrol ve Otomasyon Teknolojileri Bölümünden başarıyla mezun oldu. Aynı yıl Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünü kazandı. Bir yıl İngilizce hazırlık eğitiminin ardından makine mühendisliği lisans eğitimine başladı. 2016-2019 yılları arasında Bursa İlinde bulunan ORMO A.Ş' de periyodik bakım çalışanı, depo sorumlusu ve stajyer olarak farklı görevler de çalışmıştır. İyi seviyede İngilizce bilmektedir. Siemens Nx, Solidworks, Autocad programlarını ileri seviyede kullanabilmektedir. Şu an Karadeniz Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünde aktif öğrenci olarak eğitimine devam etmektedir.

Adem AYDEMİR, 1994' de Bursa'da doğdu. 2008 yılında ilk ve ortaokul öğrenimini Cavit Çağlar İlköğretim Okulu'nda, 2012 yılında lise öğrenimini Atatürk Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi'nde ve 2014 yılında ön lisans öğrenimini Bursa Uludağ Üniversitesi Gemlik Asım Kocabıyık Meslek Yüksekokulu'nda tamamlamıştır. Lise stajını AKP Otomotiv San. Tic. Ltd. Şti. 'de, Yüksekokul stajını REYMAKSAN Otomotiv Makine Kalıp Aparat San. Tic. Ltd. Şti.' de yapmıştır. 2017 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Yabancı Diller Yüksekokulu'nda İngilizce hazırlık eğitimini bitirdikten sonra Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği lisansına başlamıştır ve halen öğrenimini sürdürmektedir. İyi derecede Catia ve SolidWorks programı kullanabilmektedir.

Emre KARAKOÇ, 1999 yılında İstanbul'da doğdu. İlk öğretim hayatını Osmangazi İlköğretim Okulu'nda gördükten sonra orta öğretimini 2013 yılında girdiği Asiye Ağaoğlu Anadolu Lisesi'nde tamamladı. 2017 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünü kazanmış ve lisans eğitimine halen devam etmektedir. Lisans stajı kapsamında, 2019 yılında İmsan Pres şirketinde bir aylık staj görevini icra etmiştir. İyi derecede İngilizce bilen KARAKOÇ, Solidworks ve CATIA gibi katı modelleme programlarını ileri seviyede kullanabilmektedir.

Zeynep AKDOĞAN, 1998 yılında Ankara'da doğdu. 2016 yılında Özel Sınav Temel Lisesinden mezun oldu. Aynı yıl Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünü okumaya hak kazandı. 2017 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Yabancı Diller Yüksekokulu'nda İngilizce hazırlık eğitimini bitirdikten sonra lisans öğrenim hayatına başladı. 2019 yılında ATABEY Beton Makinaları San. Dış Tic. Ltd. Şti. de imalat stajını yapmıştır. Halen Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünde öğrenci olarak eğitimine devam etmektedir. İyi derecede Solidworks, Homer ve Matlab programlarını kullanabilmektedir. Orta seviye İngilizce ve başlangıç seviyesinde Almanca bilmektedir.