

**T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İNSANSIZ HAVA ARACI TASARIMI,
İMALATI VE TEZGÂH GELİŞTİRİLMESİ**

**FAHREDDİN FATİH ÖNGÜL
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

GEBZE

2015

**T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İNSANSIZ HAVA ARACI TASARIMI,
İMALATI VE TEZGÂH GELİŞTİRİLMESİ**

**FAHREDDİN FATİH ÖNGÜL
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DANIŞMANI
DOÇ. DR. İLYAS KANDEMİR**

**GEBZE
2015**

T.R.
GEBZE TECHNICAL UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

DESIGN AND MANUFACTURING
OF AN UNMANNED AERIAL VEHICLE AND
DEVELOPMENT OF ITS MACHINE TOOL

FAHREDDİN FATİH ÖNGÜL
A THESIS SUBMITTED FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE
DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING

THESIS SUPERVISOR
ASSOC. PROF. DR. İLYAS KANDEMİR

GEBZE

2015



YÜKSEK LİSANS JÜRİ ONAY FORMU

GTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 19/06/2015 tarih ve 2015/38 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 31/08/2015 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Fahreddin Fatih ÖNGÜL'ün tez çalışması Makine Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI) : Doç. Dr. İlyas KANDEMİR

ÜYE

:Doç. Dr. Ahmet Zafer ŞENALP

ÜYE

:Yrd. Doç. Dr. Alaattin Metin KAYA

ONAY

Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun

...../...../..... tarih ve/..... sayılı kararı.

İMZA/MÜHÜR

ÖZET

Bu tez çalışmasında bir mini İHA'nın tasarım ve imalat aşamalarındaki problemlere çözümler geliştirilmiştir.

Özellikle ticari olarak üretilen İHA'larda ileri teknoloji ürünü malzemeler kullanılmaktadır. Bunun sonucu olarak üretim maliyetleri ve süresi artmaktadır. Bu çalışmada öncelikli amaç düşük maliyetli bir İHA'yı kısa bir süre içinde üretmektir.

Bu amaçla malzeme olarak polistren köpük kullanılmıştır. Hızlı ve kaliteli bir sonuç alabilmek için 4 eksenli CNC sıcak tel kesim tezgâhı tasarlanıp imal edilmiştir. Tezgâhta kullanılmak üzere gerekli olan G-kodlarını üreten bir yazılım geliştirilmiştir. Söz konusu yazılım farklı uç ve kök kanat profilleri ve oturma açıları için, farklı hücum ve firar kenarı ok açıları için, kübik spline ile 2000 noktaya enterpole edilmiş G-kodlarını otomatik olarak üreterek tezgâh ve polistren blok için imal edilebilirliğine dair raporlama da yapabilmektedir. Köpüğü kesmek için kullanılan sıcak telin gerginliğini sabit tutmak için kapalı çevrim çalışan bir sistem oluşturulmuştur.

İHA'da kullanılan motorların seçilen pervane çapı ve hatve için itki testleri yapılmıştır. MotoCalc yazılımı ile batarya, motor, pervane, kanat alanı gibi parametreler kullanılarak eniyileme yapılmıştır. İmal edilen İHA'yı ipele yere sabitleyerek uçurtma modunda uçurtmak için gerekli tasarım parametreleri belirlenmiştir. Multirotor modunda uçuş için gerekli kontrol sistemi seçilmiştir.

Anahtar Kelimeler: İnsansız Hava Aracı (İHA), üretim, tasarım.

SUMMARY

In this work, it is aimed to design and manufacture mini UAV.

Especially on commercial UAVs high technology materials are used. Therefore the cost and the time for manufacturing is raised. This work's intent is to manufacture a mini UAV with low cost and as fast as possible.

For this purpose, it was decided to use polystyrene as a body material. A 4-axes CNC hotwire cutting machine was designed to manufacture UAV parts fast and accurately. A software for generation of CNC G-codes is developed. This software automatically generates the g-codes for the machine tool with interpolated 2000 points using cubic spline technique for different tip and root wing profiles and pitch angles and for different sweep angles of leading and trailing edges. It also presents a report about the feasibility of the design for the machine tool and polystyrene block. A close loop control system is used in order to keep the wire tension within acceptable limits.

Thrust tests of the motors to be used on UAV are conducted for selected propeller diameter and pitch values. By using a commercial software named MotoCalc, an optimization is achieved for parameters such as battery, motor, propeller, wing area. The design parameters for fixing the UAV by means of a string and flying in kite mode are calculated. The control system for multicopter mode is selected.

Key Words: Unmanned Aerial Vehicle (UAV), manufacturing, design.

TEŐEKKÖR

BaŐta, yűksek lisans eğitimimde ve akademik hayatımda desteğini ve yardımlarını hiğbir zaman esirgemeyip bilgisi ile bu ęalıŐmanın oluŐmasının yolunu aęan danıŐmanım Doę. Dr. İlyas KANDEMİR'e,

GöstermiŐ olduęu desteklerinden dolayı tűm aileme ve yakınlarıma en ięten teŐekkűrlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	v
SUMMARY	vi
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	viii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
TABLolar DİZİNİ	xiii
1. GİRİŞ	1
1.1. Tezin Amacı ve Katkısı	1
1.2. Tezin İçeriği	2
2. İNSANSIZ HAVA ARAÇLARI	3
2.1. İnsansız Hava Araçları Tarihi	3
2.2. İnsansız Hava Araçları Sınıflandırılması	6
2.3. İnsansız Hava Araçlarının Görev ve Çalışma Sahaları	8
3. İNSANSIZ HAVA ARACI TASARIMI	10
3.1. İHA Gövde Tasarımı	10
3.2. Kanat Tasarımı	10
3.2.1. Kanat Profili	11
3.2.2. Kontrol Yüzeyleri	15
3.2.3. Reynolds Sayısı	16
3.3. Kanat Tasarımı Hesapları	18
3.4. MotoCalc	23
4. İNSANSIZ HAVA ARACI KOMPONENTLERİ	25
4.1. Motor	25
4.1.1. Elektrik Motorları	25
4.1.2. Yakıtlı Motorlar	26
4.2. Batarya	27
4.2.1. Lityum Piller	28

4.2.2. Yakıt Pilleri	28
4.2.3. Diğer Pil Teknolojileri	29
4.3. Radyo Kontrol	29
4.4. Sensörler	30
4.4.1. Gyro/İvme Sensörü	30
4.4.2. Manyetik sensör	30
4.4.3. Konumlandırma Sensörü	30
4.4.4. Basınç Sensörü	31
4.5. Uçuş Kontrol Kartları	32
5. İNSANSIZ HAVA ARACI İMALATI	34
5.1. Yapısal Malzemeler	34
5.1.1. Karbon Elyaf	34
5.1.2. Cam Elyaf	35
5.1.3. Ahşap	35
5.1.4. Polistren	35
5.1.5. Diğer Malzemeler	37
5.2. CNC Sıcak Tel Kesim Tezgâhı	37
5.2.1. CNC Tezgâh Tasarımı	38
5.2.2. CNC Tezgâh Komponentleri	40
5.2.3. CNC Tezgâh Yazılımı	43
5.2.4. CNC Tezgâh İçin G-Kod Üretme Yazılımı	44
5.2.5. CNC Tezgâh Otomatik Tel Gergi Sistemi	48
5.3. İHA'nın Montajı	50
6. SONUÇ	55
KAYNAKLAR	57
ÖZGEÇMİŞ	59
EKLER	60

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler ve</u>	<u>Açıklamalar</u>
<u>Kısaltmalar</u>	
C_l	: Taşıma katsayısı
C_d	: Sürüklenme katsayısı
C_m	: Moment katsayısı
Re	: Reynolds sayısı
Hz	: Hertz
F	: Kuvvet
km	: Kilometre
mph	Mil/saat
s	: Saniye
GTÜ	: Gebze Teknik Üniversitesi
İHA	: İnsansız Hava Aracı

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil No</u>	<u>Sayfa</u>
2.1: Tarihteki ilk İHA Curtis-Sperry Hava Torpidosu.	3
2.2: Kettering Bug.	4
2.3: Queen Bee.	5
2.4: Tıbbi yardım amaçlı İHA.	9
3.1: Kanat dihedral açısı.	11
3.2: Kanat profili.	12
3.3: Airfoiltools sitesinden örnek bir sayfa.	13
3.4: Kontrol yüzeyleri.	16
3.5: Reynolds sayısına göre profilin davranışları.	17
3.6: İHA 3 boyutlu modeli.	18
3.7: İple bağlı durumda kuvvet diyagramı.	21
3.8: Kanat karakteristiğinin hücum açısı ile değişimi.	22
3.9: MotoCalc arayüzü.	23
3.10: Motocalc uçuş analiz ekranı.	24
4.1: Fırçasız doğru akım motoru.	25
4.2: Fırçasız doğru akım motoru faz değişim şeması.	26
4.3: İHA için turboprop motor.	27
4.4: Lityum polimer pil hücresi.	28
4.5: Hidrojen yakıt pili.	29
4.6: MEMS basınç sensörü.	31
4.7: Ardupilot kontrol sistemi.	32
4.8: Ardupilot kontrol kartı.	33
5.1: XPS basma dayanımı.	36
5.2: CNC sıcak tel kesim tezgâhı taslak çizimi.	38
5.3: CNC sıcak tel kesim tezgâhı.	39
5.4: CNC sıcak tel kesim tezgâhı X-Y eksenleri.	39
5.5: Nema17 standardı adım motor.	40
5.6: Adım motor şematik gösterimi.	41

5.7:	Adım motor sürücü devresi.	42
5.8:	Paralel port CNC sürücü kartı.	43
5.9:	CNC tezgâh yazılımı arayüzü.	44
5.10:	G-Kod üretme yazılımı arayüzü.	45
5.11:	Yük hücresi.	48
5.12:	Otomatik tel gergi sistemi elektronik devresi.	49
5.13:	İHA kanatları montaj aşaması.	50
5.14:	İHA gövde ve ekipmanları, ağırlık ve itki testi.	51
5.15:	İHA üst kanadı, test uçuşu öncesi.	51
5.16:	İHA üst kanat ölçüleri.	52
5.17:	İHA üst kanat uçuş testleri.	53

TABLolar DİZİNİ

<u>Tablo No</u>	<u>Sayfa</u>
2.1: İnsansız hava aracı sınıfları.	8
3.1: Profil bilgileri.	14
5.1: G-Kod dosyası örneği.	47
A1.1: Otomatik tel gergi sistemi yazılımı.	59

1. GİRİŞ

İnsansız hava araçları (İHA) birçok teknolojik yenilikte olduğu gibi askeri alanlarda ilk defa görülmeye başlanmıştır. İlk uygulamalarda sensör ve bilgisayar işlemcilerinden yoksun olmaları sebebiyle hedeflerini tutturma oranları düşüktü. İlerleyen sensör ve işlemci teknolojileri ile birlikte İHA'lar odaklandıkları hedeflerini yüksek çözünürlükte gözetleyebilmekte ve taşıyabildikleri ekipmanlar ile yok edebilmektedirler.

Gözetleme ve keşif amaçlı kullanılan insansız hava aracı (İHA) uygulamaları son yıllarda önem kazanmaktadır. İç güvenlik, hava savunma, sinyal istihbaratı, hedef uçak, elektronik harp, özel görevler ve benzeri uygulamalarda bu tür araçların etkinliği giderek artmaktadır. Bu doğrultuda çalışmalar da artmaktadır. Menzil, hız ve havada kalma süresi, bu amaçlar için oldukça önemli parametreler olarak karşımıza çıkar. Bu hususlarda gerekli kriterleri sağlayan İHA çeşidi olarak öncelikle karşımıza insansız uçaklar çıkmaktadır.

Bu tez kapsamında sabit kanatlı bir insansız hava aracının tasarımı ve imalatı yapılmıştır. Ayrıca ilerleyen çalışmalara ön bir hazırlık olması anlamında otonom uçuş hazırlıkları yapılmıştır. Gerek kullanılan malzeme gerekse tasarımı itibari ile gerçekleştirilen çalışma özgün bir niteliğe sahiptir. Farklı kanat açıları ve gövde tasarımlarının hızlıca üretilip test edilmesi anlamında bir dört eksenli CNC tezgâhı tasarlanıp imal edilmiştir. Ara bir program kullanılarak girilen kanat ve gövde boyutları doğrultusunda g-kodları üretilerek, üzerinden geçen akım ile ısınan tel vasıtası ile köpük malzeme, istenilen formda kesilmektedir. Kesici telin gerginliği dört eksendeki hareket ve ısınma dolayısı ile değişebildiğinden, gerginliği sabitlemek için beşinci bir DC motor da gergi teli için kullanılmış ve kapalı devre kontrol yapılmıştır.

1.1. Tezin Amacı ve Katkısı

Bu tez kapsamında, kullanım alanı yaygınlaşan ve ülkemizde yerli tasarım ve imalat çalışmaları giderek artan insansız hava araçlarına malzeme ve tasarım

anlamında yeni bir bakış açısı getirilmiştir. Bu kapsamda Gebze Teknik Üniversitesi - Makine Mühendisliği - Akışkanlar Mekaniği Laboratuvarı'nda dört eksenli CNC köpük kesim tezgâhının tasarımı, imalatı, kontrolü ve kanat veya gövde parametrelerinden direkt olarak tezgâh kodlarını oluşturan web tabanlı bir yazılım geliştirilmesi gerçekleştirilmiştir. Köpük kesim makinası ile birlikte farklı birçok tasarım doğrulaması gerçekleştirilebilmektedir. Tez içeriğinde İHA sistemlerinin tarihsel süreçte geçirdiği evrimler ve barındırdıkları temel ekipmanlar detaylıca açıklanmıştır. Bu yönü ile de bu sitemlere ilgi duyan herkesin kolaylıkla takip edeceği bir içerik vermeye çalışılmıştır.

1.2. Tezin İçeriği

Bu çalışmanın ikinci bölümünde İHA'ların tarihsel gelişimi ve sınıflandırılması anlatılmıştır.

Üçüncü bölümde İHA'larda kullanılan komponentler olarak tanıtılmıştır.

Dördüncü bölümde İHA tasarımında izlenen yol ve hesaplar anlatılmıştır.

Beşinci bölümde İHA'nın imalatında kullanılan malzemeler tanıtılmış ve imalat aşamaları özetlenmiştir. İHA imalatı için inşa edilen CNC tezgâh da bu bölümde anlatılmıştır.

Altıncı bölümde ise bu çalışmadan elde edilen bilgiler özetlenmiştir.

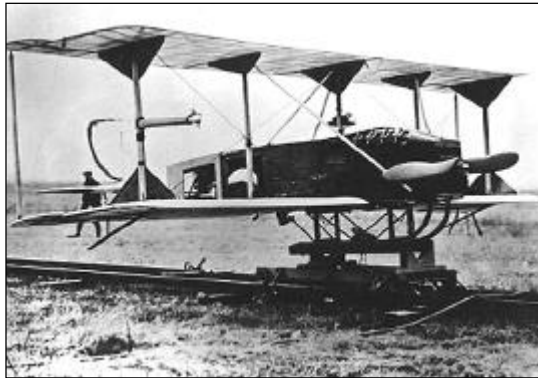
2. İNSANSIZ HAVA ARAÇLARI

Kendi güç sistemi olan, ölümcül olan ve olmayan faydalı yük taşıyan, herhangi bir pilot idaresinde olmayan, otomatik olarak veya uzaktan komuta sistemi ile uçurulan hava araçlarına İnsansız Hava Aracı (İHA) denmektedir. İHA'lar günümüzde pilotların riske atılamayacağı ya da icra edilmesi insan fizyolojisini zorlayan birçok görevde kullanılmaktadırlar.

2.1. İnsansız Hava Araçlarının Tarihi

İlk İHA'lar 1996 yılında A. M. Low tarafından geliştirilmiştir. Sonraki yıllarda ise ilk jiroskobik navigasyon sistemleri ve dengeleyici cihazların Amerikalı mucit Elmer Ambrose Sperry tarafından uçaklarda dengeleme amacıyla kullanılmaya başlanması ile otonom uçuş yapabilen İHA Hewitt-Sperry üretilmiş I. Dünya Savaşı'nda kullanılmıştır [Web 1, 2015].

Amerikan donanması bu dönemde pilotsuz ve daha stabil uçuşların yapılabileceği düşüncesiyle uçan torpidolar yapmaya yönelmiştir. Tarihteki ilk İHA'nın gövdesinin tasarlanması ve inşa edilmesi Curtiss Aeroplane ve Motor Company tarafından gerçekleştirildiği için ,Şekil 2.1'de görülen, Curtiss-Sperry hava torpidosu olarak adlandırılmıştır [Web 2, 2005].



Şekil 2.1: Tarihteki ilk İHA Curtiss-Sperry Hava Torpidosu.

I.Dünya Savaşı sırasında, Dayton-Wright Airplane Company ahşap malzemeden yapılmış iki kanatlı bir İHA geliştirmiştir: “Kettering Bug” adı verilen Pervaneli içten yanmalı bir motora sahip olan bu uçak, kendi ağırlığı kadar (300 lb) bombayı taşıyabiliyordu. İHA tekerlekli bir araç üzerinde kalkıyor ve önceden belirlenmiş süre sonunda kanatlarının uçağın gövdesinden ayrılmasıyla gövdesi bir torpido olarak hedefi vuruyordu. Kettering Bug 75 mil mesafedeki bir hedefi vurabiliyordu. Şekil 2.2’de görülen Kettering Bug birkaç tane üretilmesine rağmen, hiçbiri savaşta kullanılmamıştır [Web 3, 2015].



Şekil 2.2: Kettering Bug.

İlkel şartlarda sınırlı kullanım bulan ve kısıtlı doğruluğa sahip temel jiroskoplar, Western Electric Şirketi tarafından ortaya çıkarılan radyo kontrollü uzaktan kumanda sistemleri ile beraber kullanılmaya başlayınca, günümüz İHA’larının kontrol sisteminin en temel hali ortaya çıkmış ve bugünkü insansız hava aracı teknolojisinin temelleri atılmıştır. İlk ölçekli uzaktan kumandalı model uçak (RPV, Remote Piloted Vehicle)tasarımı ise 1935 yılında oyuncu Reginald Denny tarafından gerçekleştirilmiştir. İlk jet motorlu modeli 1951 yılında Teledyne Ryan firması geliştirmiştir [Web 1, 2015].

II. Dünya Savaşı’nın yaklaşmasıyla İHA’lar tekrar gündeme gelmiştir; fakat bu defa İHA’ların gelişmesi saldırı silahı olarak değil uçaksavar topçularının eğitilmesi için hedef uygulamalarıydı. İngiltere 400’den fazla Queen Bee olarak adlandırdıkları İHA’lardan üretmiştir. Bu isim İHA’lar için günümüzde de kullanılan “drone”

kelimesinin ortaya çıkmasına yol açmıştır. İngiliz Kraliyet Hava ve Deniz Kuvvetleri 380 adet Queen Bee'yi 1947 yılına kadar hedef drone olarak kullanmıştır. Şekil 2.3'te görülen İHA 17.000 feet yükseklikte uçabiliyordu. Bu uçaklar radyo kontrollü uçaklardı ve 100 mph üzerindeki hızlarda uçuyor, 300 mile kadar mesafeyi kat edebiliyordu.

Vietnam Savaşı'nda yalnızca uzaktan kumanda ile uçabilen bu İHA'lar, fotoğraf çekerek gözlem amacıyla çokça kullanılmıştır. Bu İHA'lar yalnızca düz gidebiliyor veya bir nokta etrafında daireler çizerek hareket edebiliyorlardı [Web 1, 2015].

Radyo frekanslarının geliştirilmesiyle İHA'ların uzaktan kumanda ile uçurulması yaygınlaştı ve "radyo kontrollü araç" olarak isimlendirilmeye başladı. Gelişen teknoloji sayesinde günümüzde radyo kontrolün yanı sıra İHA'ların üzerinde taşınabilen elektronik sistemler sayesinde bu araçların otonom uçabilmeleri de mümkündür.



Şekil 2.3: Queen Bee.

Bu tarihlere kadar Amerika ve İngiltere birkaç küçük insansız sistem üretirken, Almanya II. Dünya savaşı sırasında Vergeltungswaffe 1 (yaygın adıyla V-1) olarak bilinen otonom insansız bombardıman uçağını geliştirerek insansız havacılık teknolojisinde büyük bir gelişme gerçekleştirmiştir. V-1 insansız bombardıman uçağı 470 mph hızında uçabiliyor ve 2000 pound ağırlığındaki bombayı taşıyabiliyordu. Önceden belirlenen sürenin sonunda, -azami 150 mil mesafeden sonra- bombayı

düşürüyordu. V- 1'ler 1944 yılında İngiltere'ye karşı kullanılmış ve 900 kişinin ölümüne ve 35.000'den fazla İngiliz'in yaralanmasına yol açmıştır. Bu İHA bir insansız uçağın askeri amaçlar için kullanıldığında ne kadar etkili olduğunun en güçlü örneği oldu. Amerika, II. Dünya Savaşı'ndan sonra V-1'in potansiyelini görünce, kendi ürettiği insansız uçaklara V-1'in özelliklerini uygulamaya başlamıştır [Web 1, 2015].

2.2. İnsansız Hava Araçlarının Sınıflandırılması

İHA'lar farklı karakterleri melez olarak destekleyebilseler de genel olarak altı başlıkta sınıflandırılabilir:

- Hedef (yem) – Bunların iki amaçları vardır. Birinci kullanım amaçları hava hedefi vurma eğitiminde hedef İHA olarak kullanımlarıdır. İkinci kullanım alanları ise düşmanın yerini belirlemek içindir.
- Keşif ve gözetleme – Düşman hakkında havadan gözetlenebilecek veya alıcılarla algılanabilecek istihbaratı sağlamak için kullanılırlar.
- Çatışma – İnsan hayatının tehlikeye atılmaması için çatışmaya girip imha etme görevlerinde kullanılırlar.
- Lojistik - Kargo ve lojistik destek maksatlı İHA'lardır.
- AR-GE – İHA geliştirmek için yapılan çalışmalarda ortaya çıkan prototiplerdir.
- Sivil ve ticari – Genel olarak diğer sivil maksatlar için (mesela sinema, reklam, ...) kullanılan İHA'lardır [Web 1, 2015].

Bunun yanında İHA'lar ParcAberporth İnsansız Sistemler forumunda uçuş menzil ve irtifalarına göre de sınıflandırılırlar. Avrupa İnsansız Hava Aracı Sistemleri Derneği (European Association of Unmanned Vehicles Systems-EUROUVS) de mesafe ve irtifaları biraz farklı da olsa İHA ları bu kritere göre sınıflandırmıştır.

İnsansız hava araçları uçuş menzilleri ve uçuş irtifalarına göre de çeşitli sınıflara ayrılmıştır. Bu sınıflar temel olarak şu şekilde sıralanabilir:

HALE (High Altitude Long Endurance, Yüksek İrtifa Uzun Uçuş Süresi): İrtifa yüksekliği diğer İHA'lara göre çok yüksek olup yaklaşık olarak 15000m olarak belirtilmektedir. 1 günden daha fazla süre havada kalabilirler. Uzak komuta kontrol merkezinden idare edilebilir. Ülkeler arası görevlerde kullanılabilirler.

MALE (Middle Altitude Long Endurance, Orta İrtifa Uzun Uçuş Süresi): Yaklaşık olarak 24 saat havada kalabilirler. İrtifa yükseklikleri yaklaşık 5000 m ile 15000 m arası olarak belirtilmektedir. HALE tipi İHA'lara göre menzilleri kısadır fakat kullanım alanları benzerlik göstermektedir.

TUAV (Tactical or Medium Range UAV, Taktiksel veya Orta Menzil İHA): Küçük boyutlara sahiptir. Deniz ve kara kuvvetleri tarafından kullanılabilirler. İrtifa yüksekliği 2400m ile 3000m arası olarak tanımlanmaktadır ve yaklaşık 24 saat havada kalabilmektedir. HALE ve MALE sistemlerine göre sistemsel yapı olarak daha basittir.

CL-TUAV (Close Range Tactical UAV, Kısa Menzil Taktiksel İHA): Menzilleri TUAV ve HALE tipi İHA'lara göre kısa olup yaklaşık 100km olarak belirtilmektedir. Sivil amaçlı veya kısa menzil etrafında çeşitli kara ve deniz askeri güçleri tarafından kullanılmaktadır.

MUAV (Mini UAV, Mini İHA): Havada kalma süresi birkaç saatle sınırlıdır. Yaklaşık 30 km menzili bulunmaktadır. Küçük çaplı askeri operasyonlarda, gözetleme görevlerinde ve sivil amaçlarla kullanılabilirler.

MAV (Micro UAV, Mikro İHA): Havada kalma süresi yaklaşık olarak 1 saattir. Uçuş menzili ise 10km olarak belirtilmiştir. Kanat açıklıkları MUAV'a göre oldukça küçük olup 15cm'den fazla değildir. Yerleşim yerlerinde ve dar geçiş aralıklarının çok olduğu çevrelerde kullanım bulmaktadırlar. Aynı zamanda oldukça yavaş uçup, etkili bir şekilde süzülmesi ve çok dar alanlar üzerine inebilmesi için hareketli kanatlar geliştirme çalışmaları sürmektedir.

NAV (Nano Air Vehicle, Nano Hava Aracı): Boyutsal olarak en küçük olan İHA'lara verilen addir. 5 cm'den daha küçük ölçülere sahiptir ve oldukça kısa olan menzillerde kullanılır.

Tablo 2.1: İnsansız hava aracı sınıfları.

	Kategori	Maksimum Kalkış Ağırlığı(Kg)	Maksimum Uçuş Yüksekliği (m)	Uçuş Süresi (Saat)	Veri Link Mesafesi (Km)
Mikro/Mini İHA'lar	Mikro	0.10	250	1	<10
	Mini	<30	150-300	<2	<10
Taktik İHA'lar	Yakın Mesafe	150	3.000	2-4	10-30
	Kısa Mesafe	200	3.000	3-6	30-70
	Orta Mesafe	150-500	3.000-5.000	6-10	70-200
	Uzun Mesafe	-	5.000	6-13	200-500
	Dayanım (Süre)	500-1.500	5.000-8.000	12-24	>500
	Orta İrtifa Uzun Dayanım	1.000-1.500	5.000-8.000	24-48	>500
Stratejik İHA'lar	Yüksek İrtifa Uzun Dayanım	2500-12.500	15.000-20.000	24-48	>2.000
Özel Amaçlı İHA'lar	Öldürücü	250	3.000-4.000	3-4	300
	Tuzak	250	50-5.000	<4	0-500
	Stratosferik	Belirlenecek	20.000-30.000	>48	>2.000
	Exo-stratosferik	Belirlenecek	>30.000	Belirlenecek	Belirlenecek

2.3. İnsansız Hava Araçlarının Görev ve Çalışma Sahaları

İHA'lar kullanıldığı sahalardan çok geniştir. En yoğun kullanıldığı alanlar şunlardır:

- Uzaktan Algılama:

Elektromanyetik spektrum sensörleri, kimyasal ve biyolojik algılayıcılar uzaktan algılama maksatlı İHA'larda yer alırlar. Bunların içinde çeşitli kameralar, radarlar, kanal tarayıcıları yer alabilmektedir. Bazıları da biyolojik sensörler havadaki türlü mikroorganizma ve biyolojik etmenleri incelemeyi sağlarlar. Benzeri şekilde kimyasal sensörler ise havadaki molekülleri incelerler [Web 5, 2015].

- Taşıma:

İHA'ların en önemli tasarım kriterlerinden bir tanesi taşıma kapasiteleridir (payload - paralı yük). Çoğunlukla paralı yük gövdede taşınsa da bazen kanat altında veya burunda da taşınabilir. Burada dikkat edilmesi gereken husus gövde dışı ve kanat altında taşınan yükün aerodinamik etkileridir. Bu gibi durumlarda yük

çoğunlukla gövde dışına takılan düşük sürüklemeli tanklar içinde taşınır. Şekil 2.4'te tıbbi yardım taşıma amaçlı bir İHA görülmektedir [Web 6, 2015].



Şekil 2.4: Tıbbi yardım amaçlı İHA.

- Bilimsel Araştırma:

İnsanlı yapılacak bilimsel araştırmalardaki riski göz önünde bulundurarak görevi insansız uçuşa dönüştürmek çoğu zaman akılcı bir yaklaşımdır. Örneğin, fırtınalar, kasırgalar incelenirken bu çeşit İHA'lardan istifade edilir.

Bilim adamları benzeri mantıkla başka gezegenlerdeki keşifler için insansız hava (gaz) araçları geliştiriyorlar.

- Hassas Saldırıları:

MQ-1 Predator model ve AGM-114 Hellfire ile yüklü İHA'lar günümüzde hassas bölgeleri bombalamakta kullanılmaktadır. Silahlı ilk Predator 2001 yılı sonundan itibaren Pakistan ve Özbekistan'da konuşlandırılmıştır. Afganistan'da üstlenmiş bulunan bazı İHA'ların Pakistan içerisinde suikastlarda kullanıldığı da bilinmektedir. Ele geçen pilotun diplomatik utanç kaynağı olabileceği de unutulmamalıdır.

- Arama Kurtarma:

Çeşitli felaketler, askeri olaylar veya polisiye vakalar üzerine arama kurtarma faaliyetleri gerekebilmektedir. İHA'lar bu tip görevler için çok uygundur. Şu ana kadar bu doğrultuda birçok çalışma yapılmıştır.

3. İNSANSIZ HAVA ARACI TASARIMI

İnsansız Hava Araçları boyutları, özellikleri ve amaçları yönünden çok geniş bir yelpazeye sahiptir. Tasarıma başlamadan önce bazı parametrelerin kabaca da olsa belirlenmesi gereklidir. Örneğin; bu İHA belirli bir yükü bir yere ulaştırmak amacı gütmekte ise tasarıma bu yükün ağırlığı ve hacmi dikkate alınarak başlanır. İHA'nın enerji sistemi güneş panelleri ile desteklenecek ise özellikle kanat tasarımı güneş panellerini en verimli kullanacak şekilde tasarlanmalıdır.

3.1. İHA Gövde Tasarımı

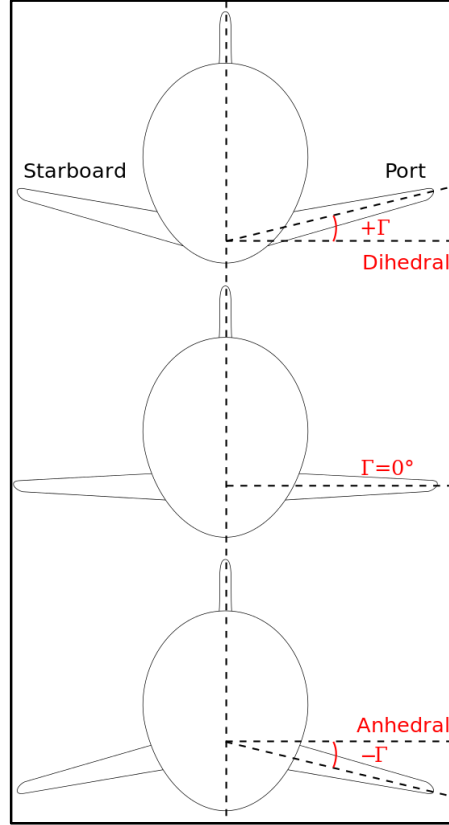
Tasarıma başlarken öncelikle belirlenmesi gerekli olan misyona özgü tasarım parametreleridir. Paralı ağırlık (payload), hız, menzil, uçuş irtifası, manevra kabiliyeti bunların başta gelenlerindedir. Bunlara bağlı olarak motor, gövde, kanat alanı ve kanat, kuyruk, aerodinamik ve kontrol yüzeyleri tasarımları yapılır. Taşıma kapasitesi ve itki-sürükleme karakteristikleri bilhassa gövde tasarımını belirleyici etmenlerdir. Geometrik tasarımın yanı sıra imalatta kullanılacak malzemeler ve imalat teknikleri de bu doğrultuda belirlenir.

3.2. İHA Kanat Tasarımı

Kanat tasarımında en önemli belli başlı parametreler şu şekilde özetlenebilir:

- Yüzey Alanı: Kanadın izdüşüm yüzey alanıdır ve taşıma kuvvetine doğrudan etkilidir. Bu parametre belirlenirken aslında kanat açıklığı ve veter uzunluğu da belirlenmiş olur.
- Veter Uzunluğu: Kanat profilinin hücum kenarı ile firar kenarı arasındaki mesafedir.
- Dihedral Açısı: Kanatların yer düzlemi ile yaptığı açıdır. Diğer bir deyişle uçağa önden bakıldığında kanat uçlarının kanadın kök bölgesine göre daha yüksek olmasıdır. Bu açı uçağın uçuş stabilitesini artırır. Öte yandan dihedral uçağın

manevra kabiliyetini bir miktar düşürecektir. Muharebe uçağı gibi uçaklarda manevra çok önemli bir unsur olduğu için negatif dihedral açısı kullanılır, buna da anhedral denir. Ayrıca bazı tasarımlarda kanat boyunca değişen bir dihedral açısı görülebilir, buna da polihedral denir [Web 7, 2015]. Şekil 3.1’de bir uçağın önden görüntüsü üzerinden dihedral açısı ifade edilmiştir.

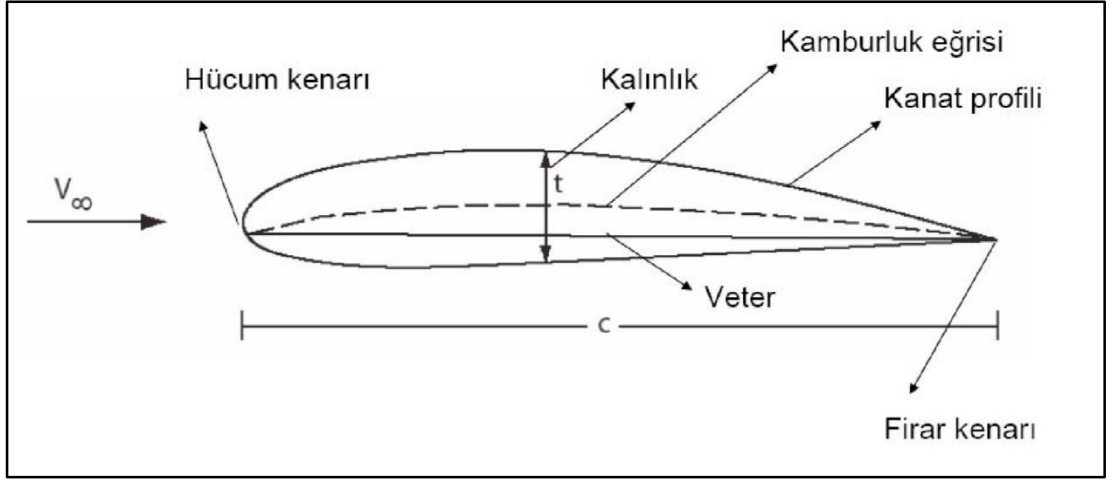


Şekil 3.1: Kanat dihedral açısı.

- Ok Açısı ve Sweep: Üstten bakıldığında kanat uçlarının gövdeye bağlandığı konuma göre geride olması durumuna ok açılı kanat denir. Sweep ise bu kaymanın miktarıdır.

3.2.1. Kanat Profili

Kanadın önden arkaya doğru uzanan düşey bir düzlem ile kesilmesiyle elde edilen kesit yüzeyidir. Kanadın oluşturduğu taşıma kuvveti açısından en önemli etkendir. Şekil 3.2’de örnek bir profilin parametreleri görülmektedir.



Şekil 3.2: Kanat profili.

Bazı kuruluşların veya araştırmacıların profil oluşturmak amacıyla kurduğu eğri eşitlikleri vardır. Bu eşitliklerde kullanılan parametreler ile oluşturulan profilin ismi ortaya çıkar. Bazı profillerin ise veritabanlarında sadece eğriyi oluşturan noktaların koordinatları belirlenmiştir. Bunlara özgü aerodinamik katsayılar, yapılan hava tüneli deneyleriyle belirlenmiştir. Sıfırdan profil çizmek yerine özellikleri belirlenmiş olan bu profillerden en uygun olanını seçip kullanmak çok daha iyi sonuç verecektir.

İnternet üzerinde profili oluşturan kişi veya kuruluşların sitelerinden bu bilgilere ulaşabileceğimiz gibi farklı sitelerde de bu profil bilgileri derlenerek yayınlanmaktadır. Bu sitelerden en geniş veritabanına sahip web sitesi Illinois Üniversitesi'nin (University of Illinois Urbana-Champaign) bu konu üzerine yayınladığı sitedir [Web 8, 2015]. Arayüz bakımından en kolay kullanımı olan web sitesi ise Airfoiltools.com sitesidir [Web 9, 2015]. Her iki sitenin veritabanı da oldukça geniştir. Airfoiltools sitesinin arayüzü Şekil 3.3'te görülmektedir.

airfoiltools.com/airfoil/details?airfoil=naca2412-il

Airfoil Tools

You have 0 airfoils loaded. Your Reynold number range is 50,000 to 1,000,000.

Search 1629 airfoils

Search

Applications

- Airfoil database search
- My airfoils
- Airfoil plotter
- Airfoil comparison
- Reynolds number calc
- NACA 4 digit generator
- NACA 5 digit generator

Information

- Airfoil data
- Lift/drag polars
- Generated airfoil shapes

Searches

- Symmetrical airfoils
- NACA 4 digit airfoils
- NACA 5 digit airfoils
- NACA 6 series airfoils

Airfoils A to Z

- A a18 to avistar (88)
- B b29root to bw3 (22)
- C c141a to curfsc72 (40)
- D dae11 to du861372 (28)
- E e1098 to esa40 (209)
- F falcon to frs21158 (121)
- G geminism to gu255118 (419)
- H hh02 to ht23 (63)
- I isa571 to isa962 (4)
- J j5012 to joukowsk0021 (7)
- K k1 to kenmar (11)
- L l1003 to livk80150k25 (24)
- M m1 to mue139 (95)
- N n0009sm to nplx (174)
- O oa206 to oaf139 (9)
- P p51droot to p140 (9)
- R r1046 to rhodesg36 (63)
- S s1010 to supermarine37iii (174)
- T tempest1 to tsagi8 (8)
- U ua2 to usnps4 (36)
- V v13006 to vr9 (17)
- W waspsm to whitcomb (4)
- Y ys900 to ys930 (3)

Site

- Home
- Contact
- Privacy Policy

NACA 2412 (naca2412-il)

NACA 2412 - NACA 2412 airfoil

Details

(naca2412-il) NACA 2412
NACA 2412 airfoil
Max thickness 12% at 30% chord.
Max camber 2% at 40% chord
Source [UIUC Airfoil Coordinates Database](#)
[Source dat file](#)
The dat file is in Selig format

Dat file

```
NACA 2412
1.0000 0.0013
0.9500 0.0114
0.9000 0.0208
0.8000 0.0375
0.7000 0.0518
```

Parser

No parser warnings

[Send to airfoil plotter](#)
[Add to comparison](#)
[Lechner format dat file](#)
[Selig format dat file](#)

Similar airfoils

E207 (12.04%)	Preview	Details
E220 (11.48%)	Preview	Details
S9055 (1.2%)	Preview	Details
NACA CV/H	Preview	Details
RAF 38 AIRFOIL	Preview	Details
LDS-2 AIRFOIL	Preview	Details
MH 120 11.57%	Preview	Details
GOE 704 AIRFOIL	Preview	Details
ONERA OA212 AIRFOIL	Preview	Details
NACA 1412	Preview	Details

Polars for NACA 2412 (naca2412-il)

Plot	Airfoil	Reynolds #	Ncrit	Max Cl/Cd	Description	Source
<input checked="" type="checkbox"/>	naca2412-il	50,000	9	32.5 at $\alpha=7.25^\circ$	Mach=0 Ncrit=9	Xfoil prediction Details
<input type="checkbox"/>	naca2412-il	50,000	5	34.6 at $\alpha=6.5^\circ$	Mach=0 Ncrit=5	Xfoil prediction Details
<input checked="" type="checkbox"/>	naca2412-il	100,000	9	50 at $\alpha=6.75^\circ$	Mach=0 Ncrit=9	Xfoil prediction Details
<input type="checkbox"/>	naca2412-il	100,000	5	49.4 at $\alpha=6^\circ$	Mach=0 Ncrit=5	Xfoil prediction Details
<input checked="" type="checkbox"/>	naca2412-il	200,000	9	66.6 at $\alpha=6^\circ$	Mach=0 Ncrit=9	Xfoil prediction Details
<input type="checkbox"/>	naca2412-il	200,000	5	62.6 at $\alpha=5.25^\circ$	Mach=0 Ncrit=5	Xfoil prediction Details
<input checked="" type="checkbox"/>	naca2412-il	500,000	9	87.3 at $\alpha=5^\circ$	Mach=0 Ncrit=9	Xfoil prediction Details
<input type="checkbox"/>	naca2412-il	500,000	5	78.3 at $\alpha=4^\circ$	Mach=0 Ncrit=5	Xfoil prediction Details
<input checked="" type="checkbox"/>	naca2412-il	1,000,000	9	101.4 at $\alpha=4.5^\circ$	Mach=0 Ncrit=9	Xfoil prediction Details

Şekil 3.3: Airfoiltools sitesinden örnek bir sayfa.

Veritabanından kullanılacak olan profil seçildikten sonra profilin şekil bilgisi Tablo 3.1'deki gibi .dat formatlı bir dosya olarak temin edilir. Bu dosyadaki bilgiler birim veter uzunluğundaki bir profili oluşturan noktalar bulutunun kartezyen koordinatlarıdır.

Tablo 3.1: Profil bilgileri.

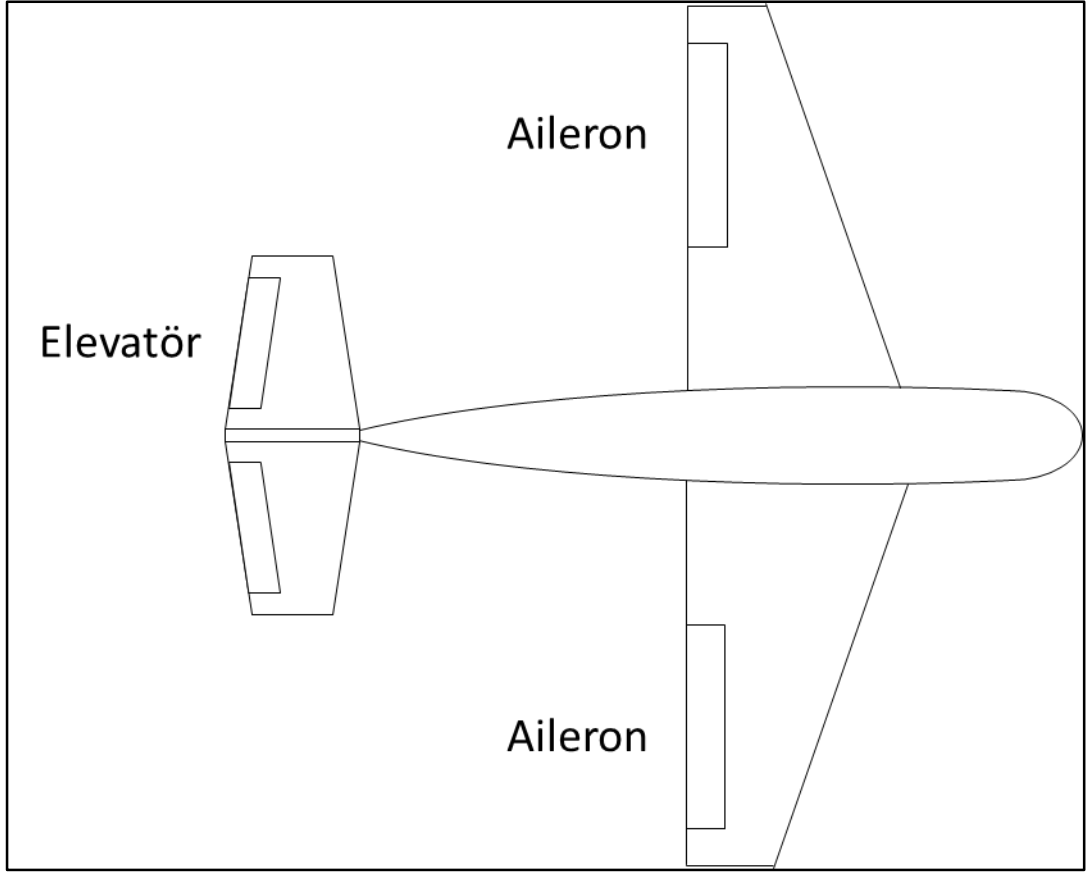
WASP (smoothed)	
1.00000	0.00007
0.99754	0.00132
0.99070	0.00392
0.98037	0.00632
0.96698	0.00831
0.95044	0.01060
0.93064	0.01373
0.90775	0.01754
0.88202	0.02173
0.85370	0.02616
0.82309	0.03071
0.79048	0.03534
0.75616	0.04001
0.72043	0.04467
0.68359	0.04923
0.64594	0.05362
0.60778	0.05775
0.56937	0.06154
0.53099	0.06495
0.49265	0.06796
0.45435	0.07055
0.41638	0.07265
0.37887	0.07421
0.34204	0.07514
0.30609	0.07537
0.27120	0.07482
0.23760	0.07345
0.20549	0.07122
0.17504	0.06813
0.14648	0.06419
0.11999	0.05944
0.09576	0.05388
0.07395	0.04750
0.05468	0.04040
0.03811	0.03288
0.02433	0.02528
0.01338	0.01779
0.00548	0.01060
0.00098	0.00395
0.00000	-0.00042
0.00098	-0.00434
0.00548	-0.00897
0.01338	-0.01273
0.02433	-0.01570
0.03811	-0.01799
0.05468	-0.01973
0.07395	-0.02094
0.09576	-0.02167
0.11999	-0.02197
0.14648	-0.02189
0.17504	-0.02147
0.20549	-0.02077
0.23760	-0.01984
0.27120	-0.01872

Tablo 3.1: Devam.

0.30609	-0.01746
0.34204	-0.01608
0.37887	-0.01462
0.41638	-0.01309
0.45435	-0.01154
0.49265	-0.01002
0.53099	-0.00856
0.56937	-0.00723
0.60778	-0.00604
0.64594	-0.00503
0.68359	-0.00420
0.72043	-0.00353
0.75616	-0.00299
0.79048	-0.00258
0.82309	-0.00231
0.85370	-0.00220
0.88202	-0.00223
0.90775	-0.00237
0.93064	-0.00258
0.95044	-0.00291
0.96698	-0.00323
0.98037	-0.00313
0.99070	-0.00225
0.99754	-0.00088
1.00000	-0.00016

3.2.2. Kontrol Yüzeyleri

Hava taşıtları iki şekilde manevra yapabilirler, hava akışını değiştirecek müdahaleler ile veya itki kuvvetinin yönünü/miktarını değiştirerek. Sabit kanatlı platformlarda manevralar kontrol yüzeylerinin hareket ettirilmesiyle kanat/stabilizer üzerinden akan havanın yönü değiştirilerek sağlanır. Bu hareket yüzeyleri temel olarak Şekil 3.4'te belirtilmiştir. Elevatör aracın Y ekseninde dönmesini sağlarken aileronlar ise X ekseninde dönmesini sağlarlar. Şekil 3.4'te aileron ve elevatör görülmektedir.

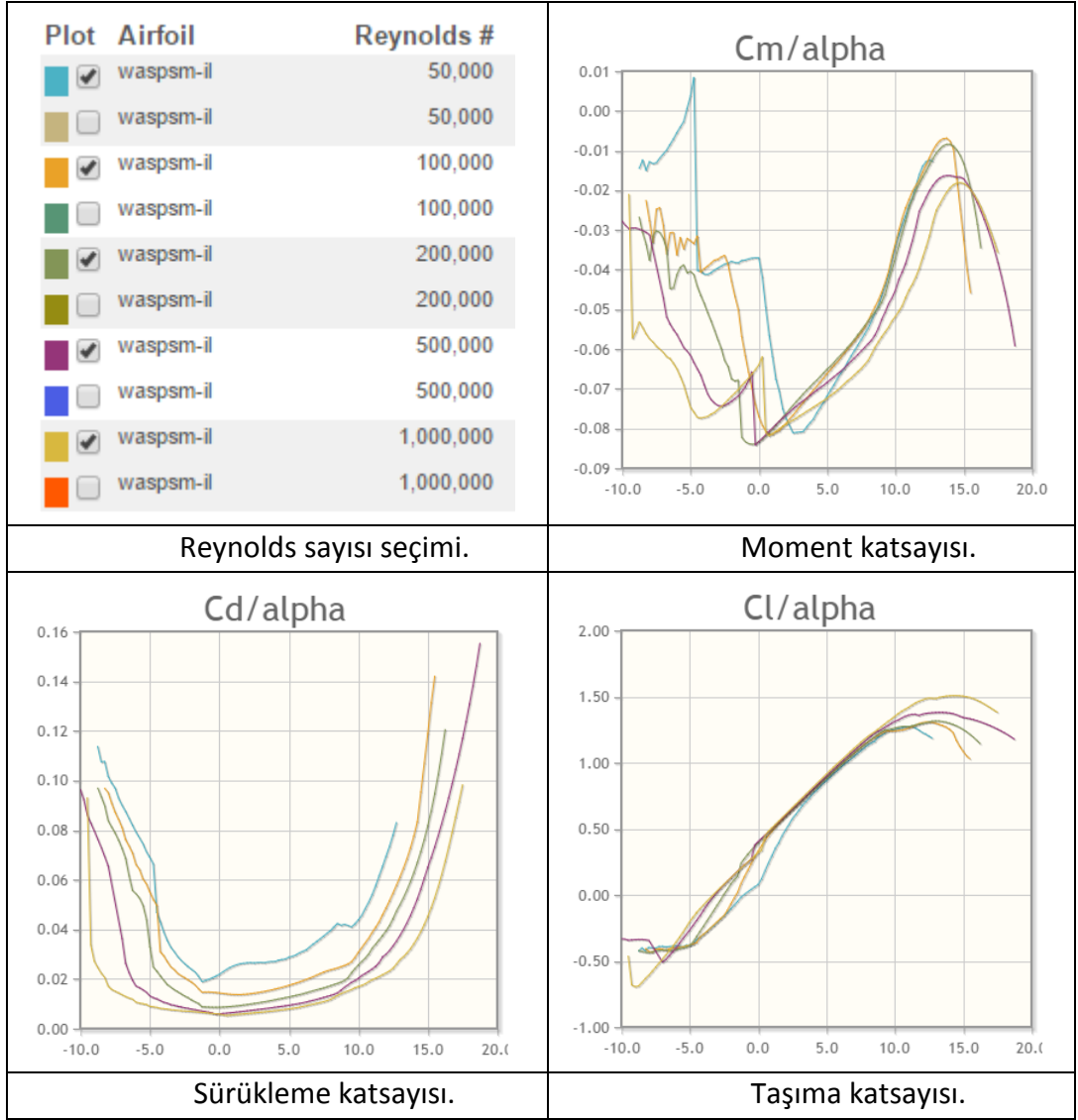


Şekil 3.4: Kontrol yüzeyleri.

Bu çalışmada tasarlanan İHA'nın en büyük özelliklerinden bir tanesi de kontrol yüzeyleri olmadan, motorların itki kuvvetlerini değiştirerek manevra yapabilmesidir.

3.2.3. Reynolds Sayısı

Boyutsuz bir sayı olan Reynolds sayısı farklı sistemlerin benzerliklerini kullanarak davranışlarının ve hatta akış rejiminin tahmin edilmesinde kullanılır. Kanat profillerinin davranışları da Reynolds sayısına bağlı olarak değişmektedir [Web 10, 2015]. Bu değişim Şekil 3.5'teki grafiklerde de açıkça görülebilmektedir.



Şekil 3.5: Reynolds sayısına göre profilin davranışları.

Reynolds sayısı ρ akışkanın yoğunluğu, v akış hızı, L karakteristik akış uzunluğu ve μ dinamik viskozite değerlerine bağlıdır.

$$Re = \frac{\rho v L}{\mu} \quad (3.1)$$

Tasarım sırasında İHA'nın uçuşu istenen en düşük ve en yüksek hızlar belirlenmeli, bu hızlar için Reynolds sayıları hesaplanmalı ve profil seçimi buna göre yapılmalıdır.

3.3. İHA Tasarımı Hesapları

İstenilen tasarım kriterlerine yakın mevcut İHA'ların bilgilerini kullanarak tasarım döngüsüne başlamak klasik bir yaklaşımdır.

Bu çalışmada tasarlamak istediğimiz İHA yaklaşık olarak 500 gr ağırlığında yük taşımalıdır. Bu yük için uygun İHA'ların boş ağırlıkları yaklaşık 2000 gr'dır.

Göz önünde bulundurulan bir başka kriter de olabildiğince az kontrol yüzeyine ihtiyaç duyulmasıdır. Bu sebeple gövde tipi olarak gövde-kanat tercih edilmiştir. Tasarlanan İHA'da yalnızca yatay stabilizör kullanılacaktır. Şekil 3.6'da tasarlanan İHA'nın katı modeli görülmektedir.



Şekil 3.6: İHA'nın 3 boyutlu modeli.

Başlangıç için belirlenen 2500 gr kalkış ağırlığı için yine başlangıç için bir kanat yüzey alanı kabul edilmesi gerekir. Bunun için en kolay yol kanat yükleme oranı üzerinden gitmektir. Uçakların modellerine göre tavsiye edilen yük/alan oranları çeşitli makalelerden kolayca bulunabileceği gibi mevcut ticari projeler baz alınarak da yaklaşık bir oran bulunabilir. Bu projede kanat yükleme oranı başlangıç için 50 gr/dm² alınmıştır. Bu oran tasarımın diğer parametreleri de belirlendikten sonra tekrar kontrol edilecektir.

$$WLR = \frac{W}{S} \quad (3.2)$$

eşitliği kullanarak kanat yükleme oranı bulunur. Bu noktada bilinmeyen değer S

$$S = \frac{W}{WLR} = \frac{2500}{50} = 50 \text{ dm}^2 \quad (3.3)$$

olarak bulunur. Ağırlık ve kanat alanı bilindiğine göre buradan İHA'nın sabit hızda havada kalabilmesi için gerekli olan taşıma kuvveti katsayısı (C_L) hesaplanır.

Kanadın oluşturduğu taşıma kuvvetinin hesaplanması için kullanılan eşitlik genel haliyle şu şekildedir:

$$L = \frac{1}{2} \rho V^2 C_L S \quad (3.4)$$

Bu eşitliği kullanarak hesaplanmak istenen değer C_L dir. Bunun için İHA'nın uçuş hızının belirlenmesi gerekir. Sabit irtifa uçuşunda istenen en düşük hız hesaplamalar için kullanılır. Birçok durumda bu hız 10m/s'dir, burada da öyle alınmaktadır.

Hava yoğunluğu ise yaklaşık bir değer olarak 1,2 kg/m³ alınabilir. Eşitliği bu yönde düzenlediğimizde

$$C_L = \frac{2L}{\rho V^2 S} = \frac{2 \times 25}{1,2 \times 100 \times 0,5} = 0,833 \quad (3.5)$$

olarak hesaplanır. Bu değer sabit irtifa uçuşu için gerekli olan taşıma katsayısıdır. Genel bir kabul olarak seçilecek olan kanat profilinin maksimum taşıma katsayısı bu değerın yaklaşık 2 katı olmalıdır. Kanat profili seçilirken öncelikle bu değer göz önüne alınır.

Sabit hızlı yatay uçuşta denge eşitlikleri:

Düşey kuvvet dengesi

$$\sum F_y = 0 \quad (3.6)$$

$$W = L = \frac{1}{2}\rho V^2 C_L S \quad (3.7)$$

Hareket yönündeki kuvvet dengesi

$$\sum F_x = 0 \quad (3.8)$$

$$T = D = \frac{1}{2}\rho V^2 C_D S \quad (3.9)$$

Seçilen profile karşılık geometriye ait C_D belirlenmiş olduğu için, elde edilen sürüklenme kuvvetine karşı gelen itki de motorların belirlenmesine olanak sağlar.

Ağırlık merkezi etrafındaki x-y moment dengesi

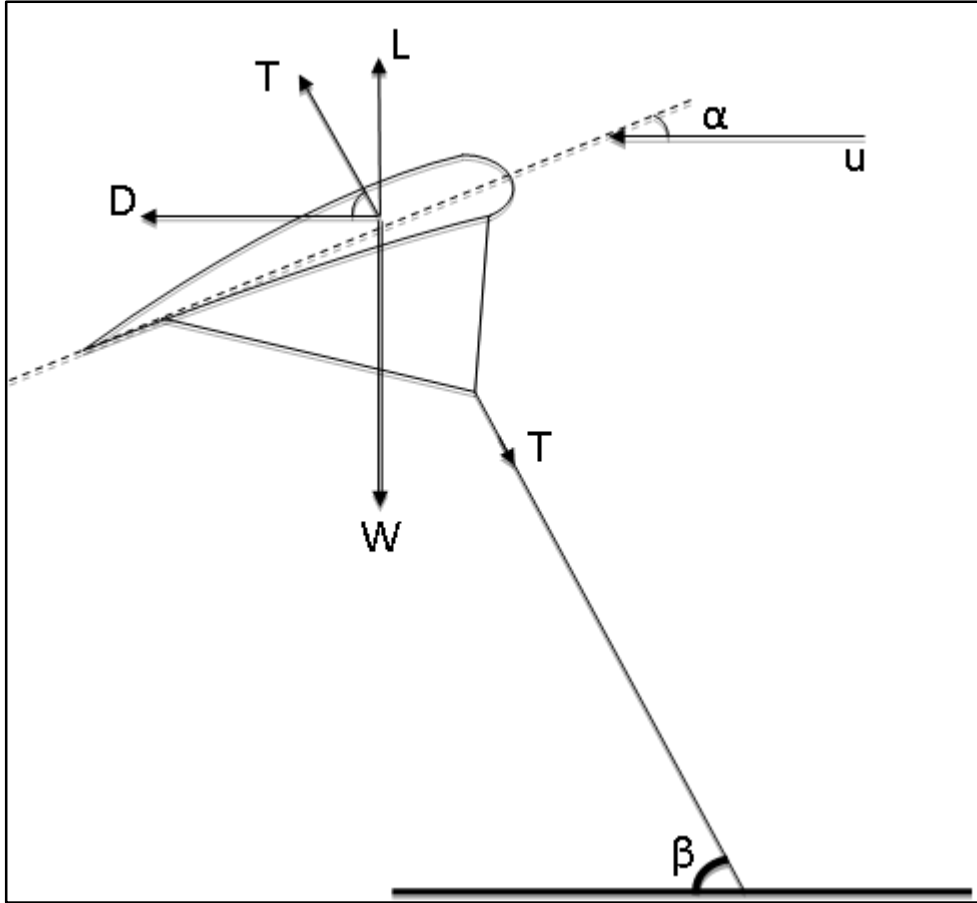
$$\sum M = 0 \quad (3.10)$$

$$M = \frac{1}{2}\rho V^2 C_M S C \quad (3.11)$$

Profil belli olduğu için moment katsayısı C_M de bellidir. Dolayısıyla moment dengesinden bütün platformun kontrolünü sağlamaya yönelik moment merkezi ve yatay stabilizör ve elevatör tasarımı gerçekleştirilebilir. Bizim tasarımımızda yatay stabilizör kullanmaktan kaçınmakta isek de en az bir adet elevatör yer almaktadır.

Tasarlanan İHA'nın farklı durumlarda kullanılması planlanmaktadır. Bunlardan bir tanesi de İHA ile yer arasında ip gibi esnek bir bağlantı bulunduğu durumdur. Bu durumda İHA'nın önden aldığı rüzgâr yardımı ile motorların itki gücüne ihtiyaç duymadan havada kalabilmesi düşünülmüştür.

Rüzgar hızının "u" ile ifade edildiği kuvvet diyagramı Şekil 3.7'da belirtilmiştir.

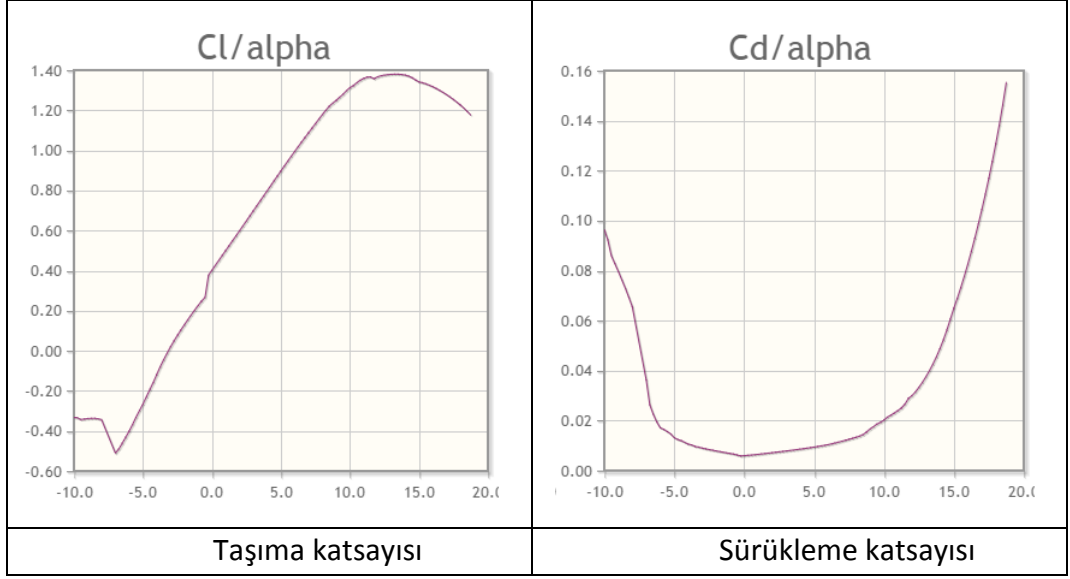


Şekil 3.7: İple bağlı durumda kuvvet diyagramı.

Kanat profili ile ilgili verilere bakıldığında taşıma ve sürüklenme katsayılarının α hücum açısına bağlı olarak değiştiği görülmektedir [Web 10, 2015]. Katsayılardaki hücum açısına bağlı değişim Şekil 3.8'deki grafiklerde de açıkça görülmektedir.

$$C_L = C_L(\alpha) \quad (3.12)$$

$$C_D = C_D(\alpha) \quad (3.13)$$



Şekil 3.8: Kanat karakteristiğinin hücum açısı ile değişimi.

İpteki gerilme T ile ifade edildiğinde yatay eksendeki bileşen kuvveti de T_x olarak ifade edilir. Bu da sürükleme kuvvetine eşit gelmektedir.

$$T_D = |T_x| = D \quad (3.14)$$

İpteki gerilme (T) kuvvetinin dikey bileşeni ise T_z ile ifade edilmektedir.

$$|T_z| = L - W \quad (3.15)$$

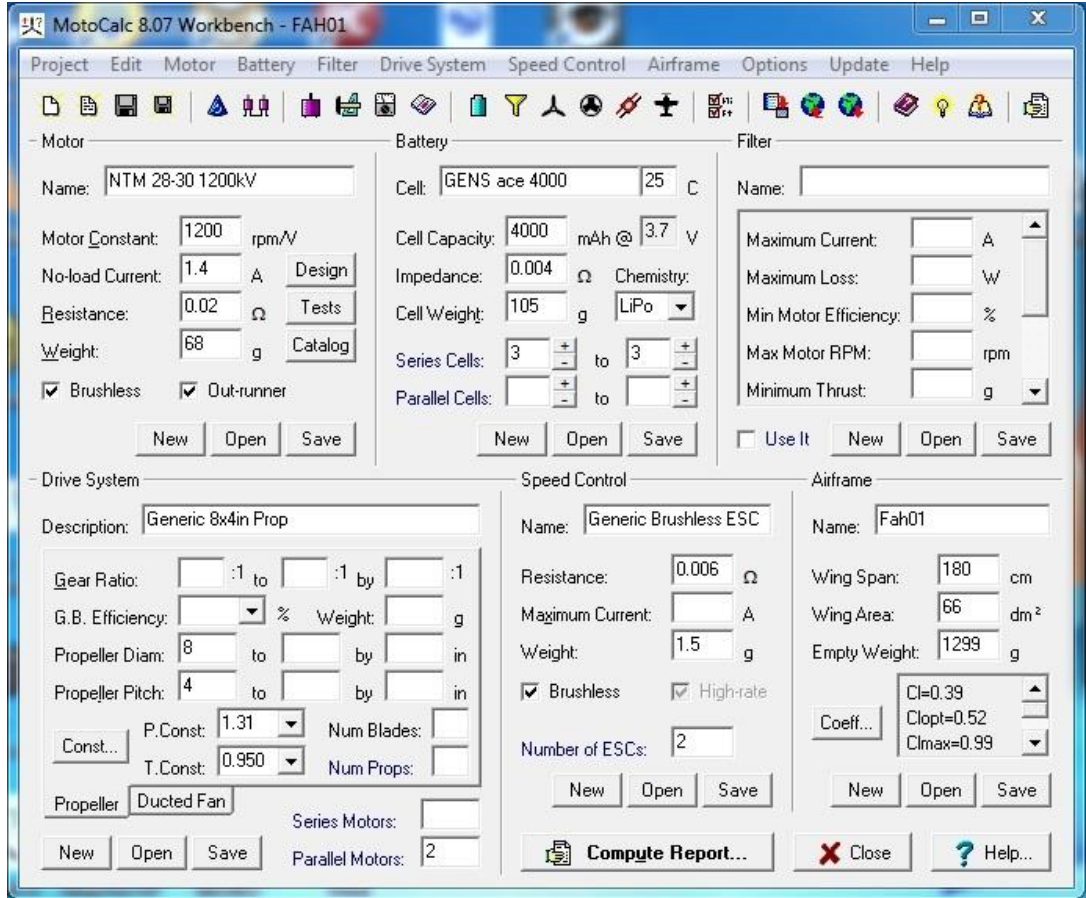
eşitlikleri kullanılarak

$$tg\beta = \frac{L-W}{D} = \frac{C_L}{C_D} - \frac{W}{D} \quad (3.16)$$

bulunur. Yüksek rüzgâr yükleri için $\frac{W}{D}$ ihmal edilebilir. (Eşitlikler de kullanılırsa, iplerin bağlantı açlarına karşı gelen hız polarının $(\frac{C_L}{C_D})$ etkili olduğu anlaşılmaktadır.

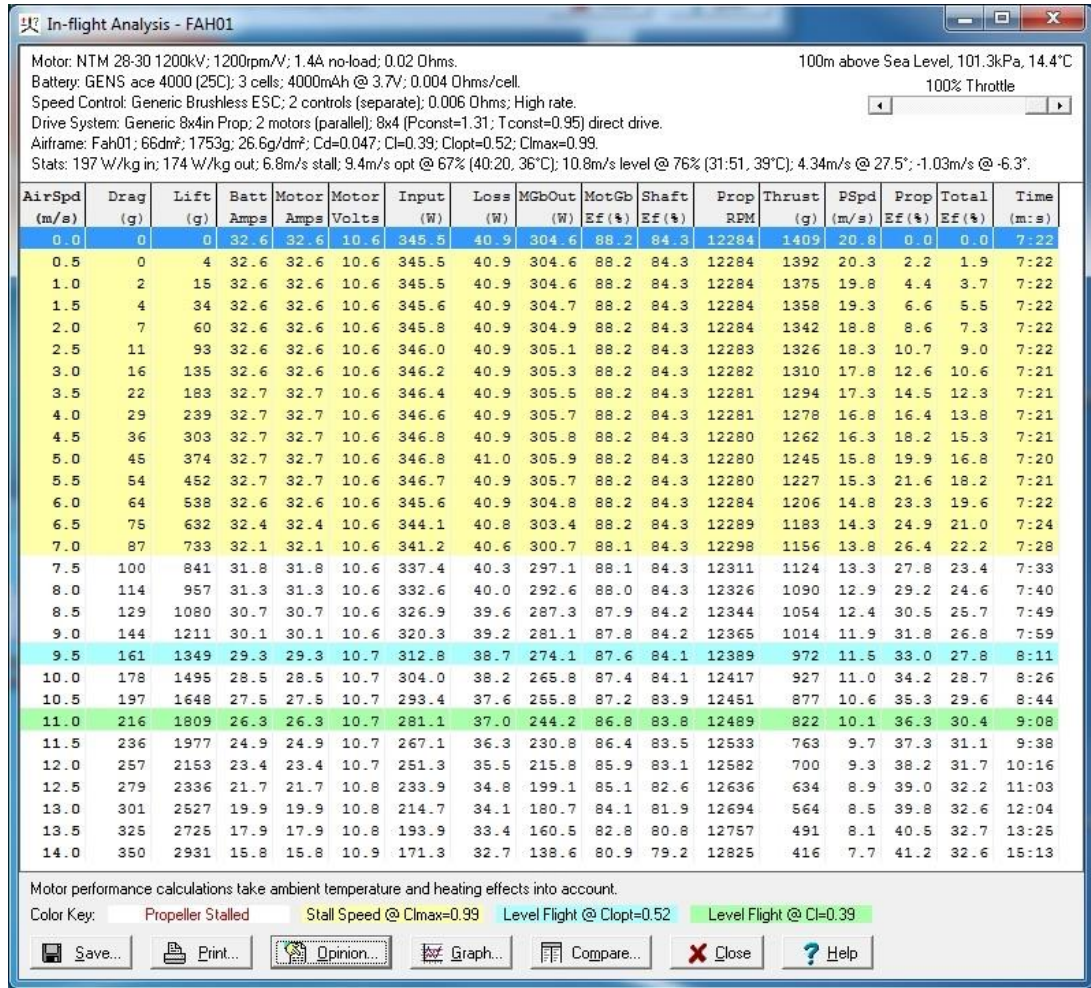
3.4. MotoCalc

İnternet ortamında model uçak tasarımında kullanılmak üzere oluşturulmuş çeşitli program veya web araçları bulunmaktadır. Model uçak için kullanılan bu yazılımlardan İHA için de faydalanılabilir. Bunların içinde en geniş veritabanına sahip olanı, Şekil 3.9'da arayüzünün görüldüğü MotoCalc isimli programdır [Web 11, 2015].



Şekil 3.9: Motocalc arayüzü.

Programa İHA hakkında belirlenmiş olan parametreler girildiğinde, belirlenmemiş ekipmanlar için önerilerde bulunacaktır. Bu önerilerden uygun olan seçildiğinde ise uçuş ile ilgili analiz gerçekleştirilerek Şekil 3.10'daki ekranda bu bilgiler çıktı olarak görüntülenecektir. Ayrıca uçuş hakkında biraz daha ayrıntıya girerek yorumlar da yapabilen program, optimum uçuş hızı, en düşük kalkış hızı, kalkış için gerekli olan şartlar gibi bilgileri de kullanıcıya aktaracaktır.



Şekil 3.10: Motocalc uçuş analiz ekranı.

4. İNSANSIZ HAVA ARACI KOMPONENTLERİ

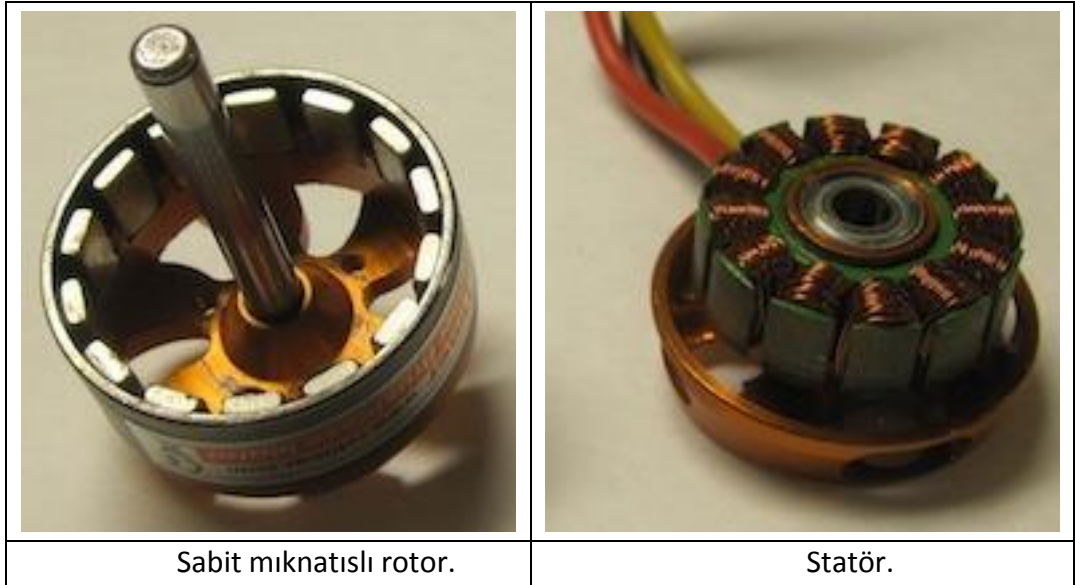
İHA'larda, özellikle de mini ve mikro İHA'larda kullanılan komponentlerin birçoğu piyasada radyo kontrollü model uçaklar için üretilmiş ve satılmakta olan malzemelerdir. Bu parçaları temin etmek kolaydır ve maliyetleri düşüktür.

4.1. Motor

İnsansız hava araçları hareket için gerekli olan itiş gücünü (itkiyi) motorlardan alırlar. Çok çeşitli motor alternatifleri bulunmaktadır ancak hava araçlarında yüksek güç/ağırlık performansı beklendiği için ister elektrikli motorlar olsun ister sıvı yakıtlı motorlar olsun, belirli tip, sıklıkla kullanılan motorlar kullanılması uygun olmaktadır.

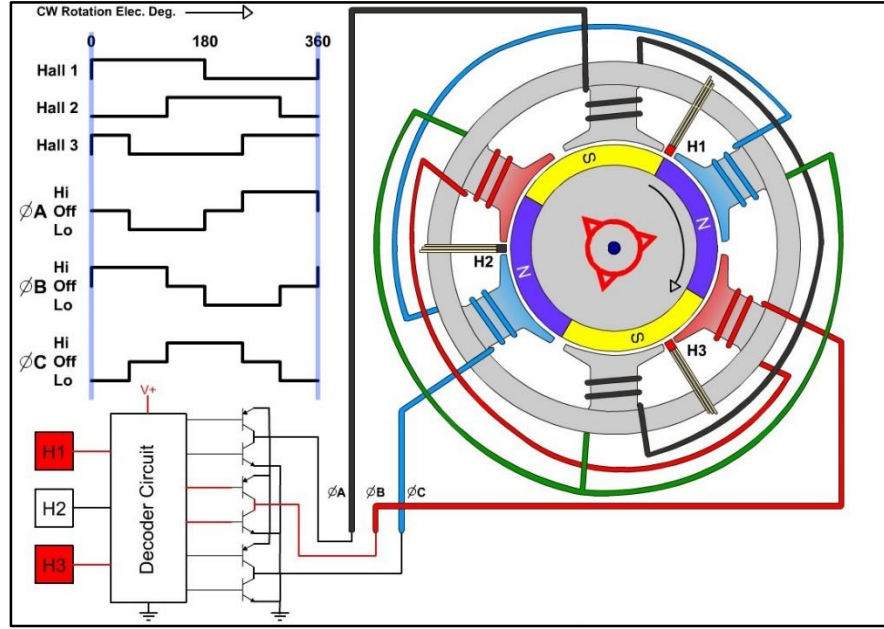
4.1.1. Elektrik Motorları

Yakın zamanda çok büyük değişimlerle yüksek verimlere ve güç/ağırlık oranlarına ulaşan elektrik motorları artık uçaklarda bile rahatlıkla kullanılabilir duruma gelmiştir. Şekil 4.1'de bir fırçasız DC motorun iki ana parçası görülmektedir.



Şekil 4.1: Fırçasız doğru akım motoru.

Yüksek verimleri sayesinde uzun zamanlı uçuşlarda bile çok başarılı olan elektrik motorları yüksek performans avantajı ile de önemli bir tercih sebebi olmaktadır.



Şekil 4.2: Fırçasız doğru akım motoru faz değişim şeması.

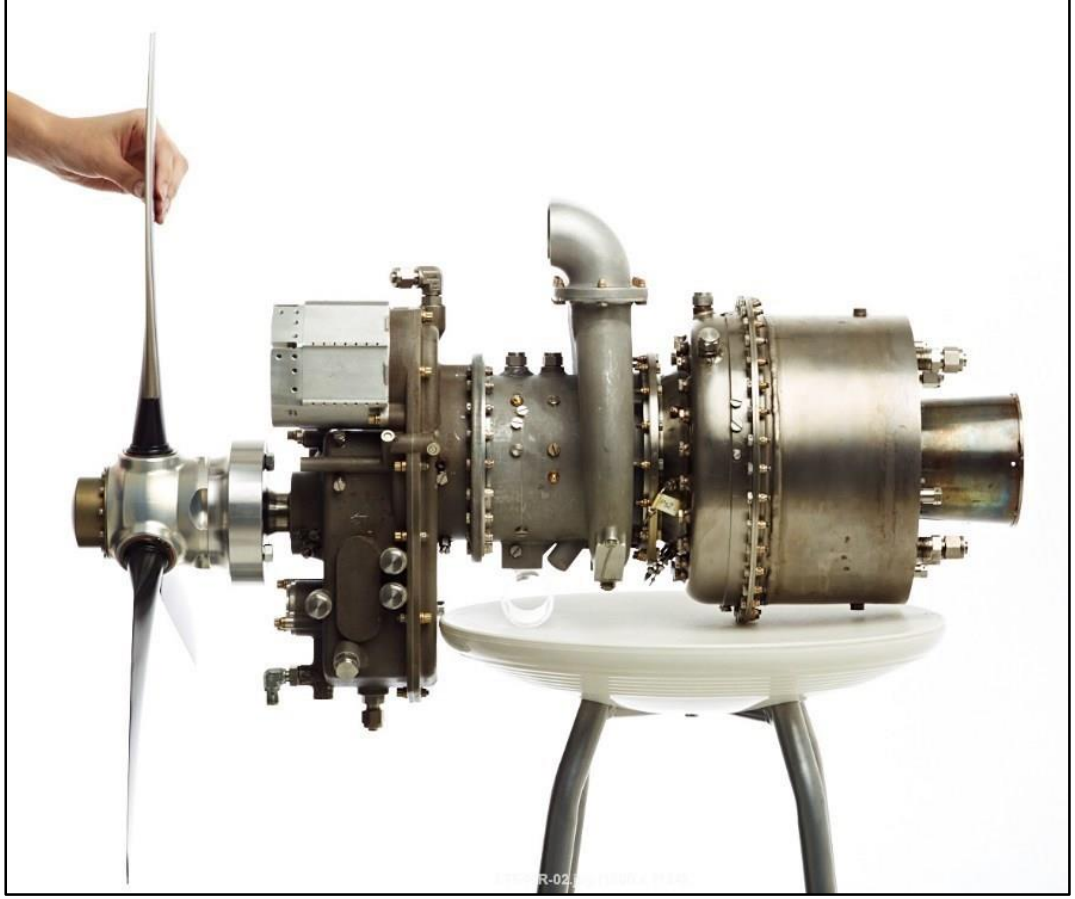
Kalıcı mıknatıslı elektrik motorlarının ömürleri de yakıtlı motorlara oranla çok daha yüksektir. Sessiz çalışmaları sayesinde farkedilmemesi gereken uygulamalarda da çok önemli bir özelliğe sahip olmuş olmaktadır.

Fırçasız DC motorlar faz değişimi sayesinde hareket etmektedirler. Bu faz değişim işlemi Şekil 4.2’de ana hatlarıyla ifade edilmiştir.

4.1.2. Yakıtlı Motorlar

Büyük İHA’larda, özellikle daha uzun menzilli araçlarda enerji yoğunluğu noktasındaki avantajından dolayı fosil yakıtlar tercih edilmektedir. Günümüzde elektrik motorlarının giderek daha da yaygın kullanılmasının yanında bu teknolojinin en büyük sınırlayıcı etkeni bataryalardır. Bununla birlikte imalat yöntemlerinin ve malzeme biliminin de gelişmesiyle özellikle belli bir gücün üstündeki türbin motorlarının gittikçe gelişen güç/ağırlık avantajı yakıtlı motorların elektrik

motorlarına tercih edilmesinde önemli bir etkidir [Web 12, 2015]. Şekil 4.3'teki gibi küçük türbin motorların yayılmasıyla daha küçük İHA'larda da kullanılabilir hale gelmişlerdir.



Şekil 4.3: İHA için turboprop motor.

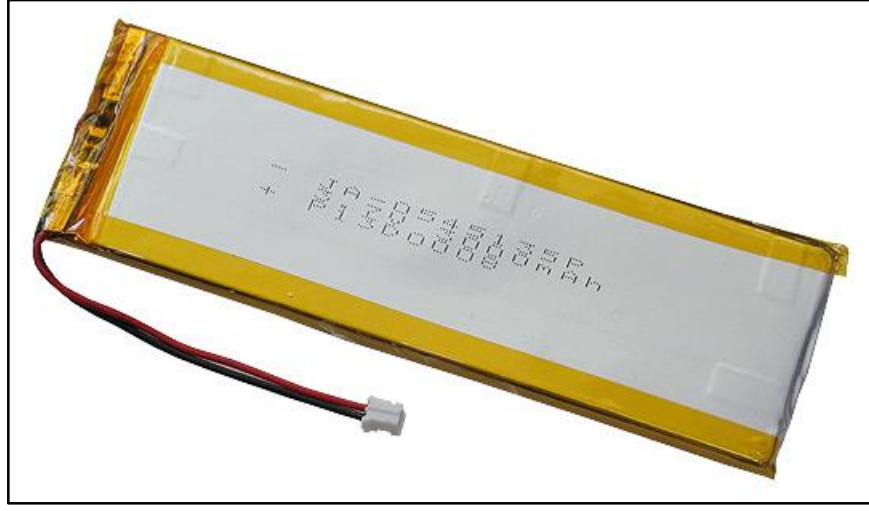
4.2. Batarya

Elektrik motorlu insansız hava araçlarında elektrik kaynağı olarak kullanılan sistemlerdir.

Çok çeşitli elektrik depolama tipleri bulunmaktadır. Aslında elektrik depolanabilir bir enerji olmadığından dolayı enerjiyi depolamak için farklı yakıtları kullandıkça elektriğe çevirme yöntemi benimsenir. Genellikle kimyasal enerjiyi elektrik enerjisine çeviren bataryalar bulunmaktadır.

4.2.1. Lityum Piller

Lityum esaslı kimyasal bataryalar kimyasal enerjisini elektriğe çevirerek geri verir. Bu, piller arasında en yüksek “enerji kapasitesi/ağırlık” oranına sahip pillerden bir tanesidir. Şekil 4.4’te görüldüğü gibi hücreler halinde üretilmektedir. İhtiyaca göre seri veya paralel bağlanarak güç veya kapasiteleri artırılabilir.



Şekil 4.4: Lityum polimer pil hücresi.

4.2.2. Yakıt Pilleri

Yakıt pilleri genellikle hidrojen enerjisini elektrik enerjisine çeviren ve oldukça kompleks bileşenlere sahip bir pil çeşididir. Çok uzun zamandır bilinen bir pil teknolojisi olmasına karşılık yakın zamanda yakıt pilleri üzerine yapılan araştırmalar sonucunda daha yaygın kullanılmaya başlanabilir hale gelmiştir [Web 13, 2015]. Şekil 4.5’te örnek bir yakıt pili dizini görülmektedir.



Şekil 4.5: Hidrojen yakıt pili.

4.2.3. Diğer Pil Teknolojileri

Lityum piller ve yakıt pilleri dışında Nikel Metal, Nikel Kadmiyum, Kurşun Asit v.b birçok pil çeşidi vardır. Lityum piller, diğer pillere kıyasla enerji yoğunluğu avantajı olduğundan dolayı birçok havacılık alanında kullanılmaktadır.

Son yıllarda sodyum tabanlı, çinko tabanlı gibi farklı piller de geliştirilmektedir. Özellikle lityumun çevreye zararlı olması, bununla birlikte ileride yeterli miktarda lityum bulunamayacağının düşünülmesi gibi sebeplerle diğer alternatiflerin geliştirilmesine ağırlık verilmiştir [Wang, 2015].

Son çalışmalarda elde edilen sonuçlar ışığında süperkapasitörlerin kısa bir süre sonra pillere alternatif olacak kadar yüksek kapasitelere ulaşabileceği düşünülmektedir.

4.3. Radyo Kontrol

Küçük ve orta büyüklükte İHA'larda, otonom uçuş özelliği bulunsa dahi, kalkış ve inişler bir operatör tarafından gerçekleştirilebilir. Küçük İHA'larda çoğunlukla radyo kontrollü modeller için kullanılan sistemler kullanılır. Bu sistemler çoğunlukla 2.4 GHz bandında 500 mW yayın gücünde cihazlardır. Farklı motor, kontrol yüzeyi, göreve ait kontroller için birden çok kanal kullanılabilir.

4.4. Sensörler

Sensörler herhangi bir araçta olmazsa olmaz parçalardan bir tanesidir. Kara araçlarında motorda, tamponlarda, tekerleklerde v.b. hemen hemen her yerde bulunan sensörler hava ve deniz araçlarında da bulunmaktadır. Araçla ilgili her türlü bilgi sensörler sayesinde öğrenilebilmektedir. Birçok kontrol de buna göre yapılabilmektedir.

4.4.1. Jiroskop/İvme Sensörü

İnsansız hava aracının hareketlerini anlık olarak algılamak için ivme sensörleri ve jiroskoplar kullanılmaktadır. Hava aracının ivmesini ve jiroskoptan aldığı açısız hız bilgilerini doğru okuması sayesinde istenilen hız, konum değişimi, açısız durumu v.b. bilgileri ve ilgili kontrol geri bildirimleri elde edebilmektedir.

4.4.2. Manyetik Sensör

Hall etkisi metoduyla ölçüm yapan sensörlerdir. 3 ekseninde bağımsız olarak manyetik akıyı ölçerler. Bu bilgiler bir algoritma ile yorumlandığında çevredeki hakim manyetik akının yönü tespit edilmiş olur. Sensörün çevresinde sistemi etkileyecek kadar manyetik alan oluşturacak bir etken yoksa kuzey yönü bu sayede tespit edilmiş olur.

Özellikle multirotor İHA'larda motorların sensöre daha yakın durmasından dolayı motorların oluşturduğu manyetik alan yön algılamasını bozabilir.

4.4.3. Konumlandırma Sensörü

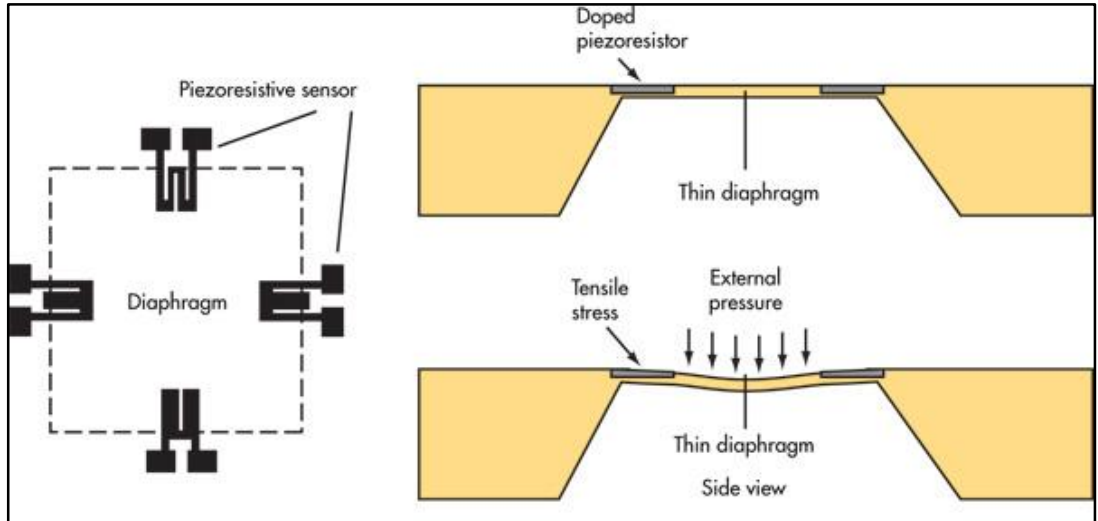
Yerkürenin yörüngesine dünyadaki konumlandırma amacıyla yerleştirilmiş 26 adet uydu yardımıyla dünya üzerindeki konumun tespit edilmesini sağlayan sistemdir. Gelişmiş alıcılar ile hata miktarları 30 cm'ye kadar düşmektedir. Yüksek hesaplama

gerektiren bu sistem insansız hava aracının yeterince hassas hareket edebilmesine imkân vermektedir.

Uydular yörüngedeki kendi konumlarını yer istasyonları ile bağlantı kurarak hesaplar. Uydulardan alınan sinyalleri kullanarak sensör uyuyla arasındaki mesafeyi hesaplar. Aynı zamanda bu sinyaller üzerinden uydunun konumu ve sinyalin zamanı da sensöre aktarılır. Sensör bu bilgileri kullanarak uzayda bir küre çizer. En azından 3 tane uydudan bilgi alabilirse 3 tane farklı küre çizilmiş olur. Bu 3 kürenin kesişme noktası da sensörün bulunduğu noktayı verir.

4.4.4. Basınç Sensörü

Günümüzde atmosferik ölçüm için kullanılan basınç sensörlerin tamamına yakını MEMS (Micro ElectroMechanic Systems) diye adlandırılan sensörlerdir. Bu sensörlerin içinde basınca duyarlı olarak esneyen bir diyafram bulunmaktadır. Bu diyaframın konumunu ise kapasitif, rezistif veya piezoelektrik malzemeler ile ölçen bir sistem bulunmaktadır. Bu sistemler çok küçük olduklarından dolayı dış etkilerden en az etkilenirler [Web 14, 2015]. Şekil 4.6'da piezorezistif çalışan bir basınç sensörünün iç yapısı açıklanmıştır.



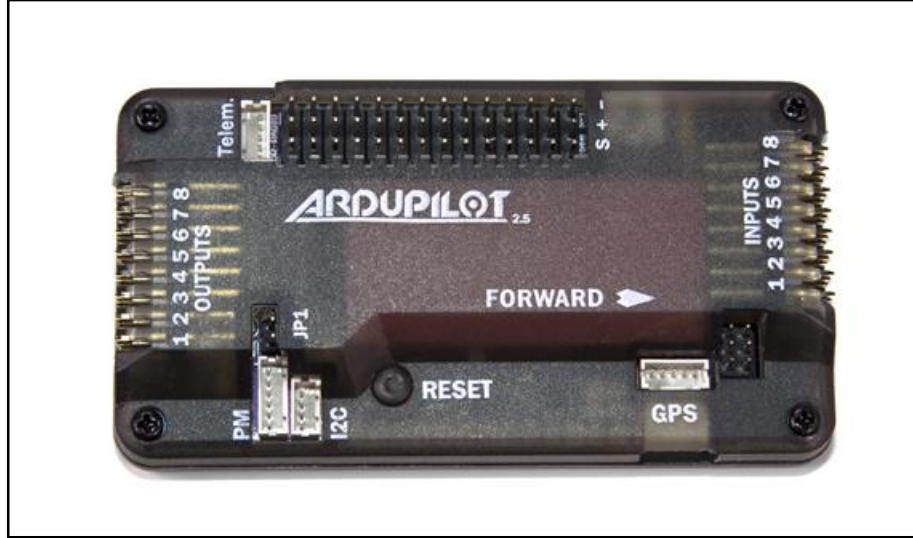
Şekil 4.6: MEMS basınç sensörü.

İHA üzerinde hava basıncını ölçmek iki şekilde kullanılabilir; Mutlak basınç ölçen sensörler kullanılarak İHA'nın irtifa bilgisi elde edilebilir veya basınç farkı ölçen sensörler kullanılarak pitot tüpünün de yardımıyla anlık hızı hesaplanabilir.

4.5. Uçuş Kontrol Kartları

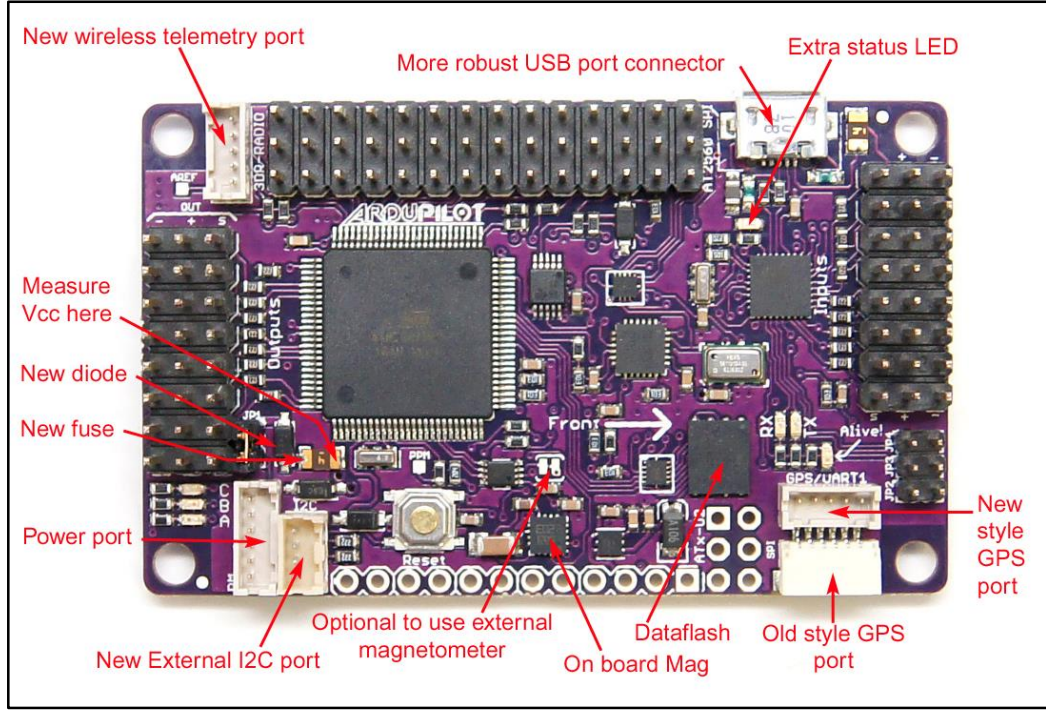
Son yıllarda hızlanarak artan açık kaynak kodlu sistemlere ve multirotor araçlara olan eğilim sayesinde bugün piyasada birçok otonom uçuş kartı bulunmaktadır. Fiyatları ve kabiliyetleri açısından büyük farklılıklar göstermektedirler. Bunlardan en yaygın olarak kullanılanları; CC3D, KKBoard ve bu çalışmada kullanılan Ardupilot sistemleridir.

Bu sistemlerin hemen hepsi Arduino tabanlı olarak geliştirilmeye başlamıştır. Birkaç sistem haricinde de Arduino tabanlı olarak gelişimleri devam etmektedir.



Şekil 4.7: Ardupilot kontrol sistemi.

Mevcut uçuş sistemleri genellikle multirotor sistemler için geliştirildiklerinden dolayı hepsi sabit kanatlı İHA'lar için uygun değildir. Bu çalışmada kullanılan Ardupilot sistemi, multirotor, sabit kanatlı İHA, kara araçları ve su üzerindeki araçlar için uyarlanabilmektedir. Şekil 4.7'de görülen, Arduino Mega kartı üzerine geliştirilmiş olan APM 2.5 model kart kullanılmaktadır [Web 15, 2015].



Şekil 4.8: Ardupilot kontrol kartı.

Şekil 4.8’de de görüldüğü üzere APM 2.5 kartının üzerinde 3 eksen jiroskop, 3 eksen ivme sensörü ve hava basınç sensörü mevcuttur. Konumlandırma (GPS) ve manyetik akı sensörleri ayrıca sisteme bağlanan bir kartın üzerinde bulunmaktadır. Sistem açık kaynak kodlu olduğundan dolayı mevcut haberleşme protokollerini kullanarak ihtiyaç duyulan başka sensörler de takılabilmektedir.

5. İNSANSIZ HAVA ARACI İMALATI

İleri teknoloji kullanımı yönünden bakıldığında İHA'lar oldukça üst sıralarda yer alır. Lityum piller, yakıt pilleri, mikro işlemciler, sensörler gibi alanlarla birlikte yapısal malzeme yönünden de karbon elyaf, kevlar, seramik gibi yeni teknolojiler sıkça kullanılmaktadır. Bunlara ilaveten ileri imalat yöntemleri de kullanılmaktadır. Bu ileri teknoloji ürünlerinin ve imalat yöntemlerinin birçoğu teknik açıdan büyük avantajlar sağlasa da maliyet yönünden bakıldığında her zaman avantajlı olmayabilir.

Mini İHA'larda ve özellikle de mikro İHA'larda maliyet oldukça önemli bir kriterdir. Bazı durumlarda İHA'ların tek kullanımlık olması dahi söz konusudur.

5.1. Yapısal Malzemeler

Genel kabul olarak bir tasarımda emniyet faktörünü artırmak ağırlığın da artmasına neden olur. Havacılıkta ise emniyet oldukça önemliyken, hafiflik de hayati önemli bir kriterdir. Bu nedenle emniyet faktörleri diğer sektörlere göre düşük tutulan havacılıkta, bunun doğal sonucu olarak daha kapsamlı ve hassas tasarım ve analiz yapmak, dayanım/ağırlık bakımından da en performanslı malzemeleri seçmek gerekmektedir.

5.1.1. Karbon Elyaf

Karbonun işlenerek iplik haline getirilmesiyle elde edilen malzemedir. Genelde kumaş gibi örülmüş halde kullanılır. Reçine adı verilen bir bağlayıcı bu kumaşa emdirilir. Reçine kürlenip sertleştiğinde karbon elyaf liflerini birbirine bağlar. Kendi içinde çok yüksek gerilme ve basma dayanımına sahip olan bu lifler birbirine bağlandığında bazı yükleme çeşitlerinde çelikten daha sağlam bir yapı elde edilebilir.

Karbon elyafın yoğunluğunun da düşük olması özellikle havacılıkta bu malzemenin kullanımının cazip hale gelmesine karşın üretimi için gerekli olan işçiliğin maliyete olan olumsuz etkisi bu malzemenin kullanım alanlarını

kısıtlamaktadır. Ayrıca karbon elyafтан üretilen parçaların tamirinin metal esaslı parçalara kıyasla daha zor olması ticari sistemlerde kullanımı açısından da bir dezavantaj oluşturmaktadır.

5.1.2. Cam Elyaf

Cam elyaf, karbon elyafa birçok yönden yakın bir malzemedir. Camın eritilerek iplik haline getirilmesiyle elde edilir. Serpme liflerden oluşan keçe tabakaları halinde veya karbon elyaf gibi dokuma halinde kullanılır.

Üretim aşamaları da yine karbon elyafa çok benzer olsa da malzeme maliyeti açısından karbon elyafa kıyasla oldukça ucuzdur. Diğer yandan mukavemet ve korozyon bakımından da daha zayıftır.

5.1.3. Ahşap

İlk uçaklarda yapının neredeyse tamamı ahşaptan yapıldı. Ağırlık/mukavemet açısından uzun süre de bu malzemeden vazgeçilemedi. Günümüzde hala radyo kontrollü modellerde yaygın olarak ahşap (bilhassa balsa ağacı) kullanılmaktadır.

Ahşap, düşük maliyetli olması hedeflenen İHA'larda tercih edilebilecek bir malzemedir.

5.1.4. Polistren

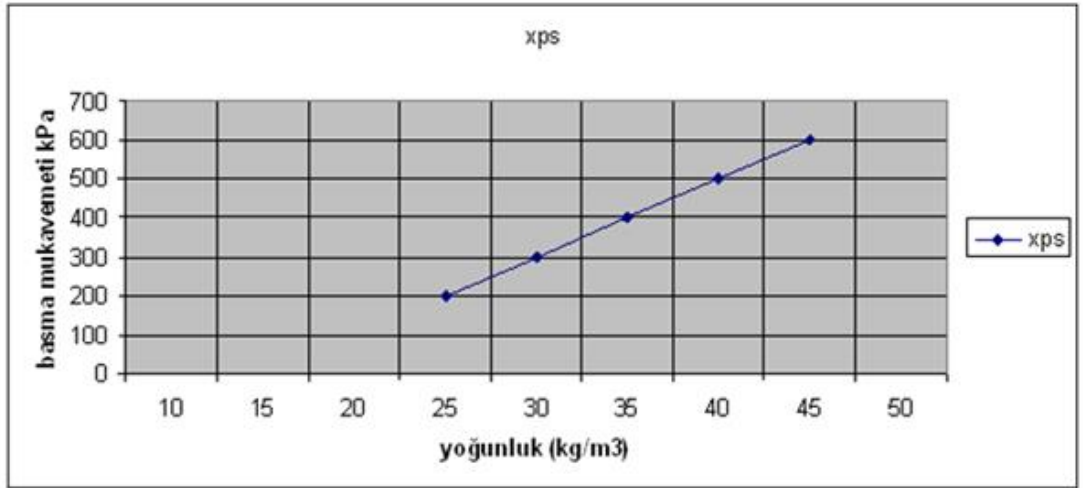
Düşük maliyetli malzemeler arasından üretimi en kolay olanı yapılarda ısı izolasyonu ve dekoratif detaylarda da sıkı gördüğümüz polistren köpüktür. İHA'larda son zamanlarda kullanılmaya başlayan polistren köpük malzeme radyo kontrollü model uçaklarda uzun bir süredir kullanılmaktadır.

Polistren köpük iki yöntemle üretilir. Genleştirilmiş (expanded) polistren (EPS); bir kalıp içine küçük küreler şeklinde doldurulur buhar yardımıyla polistren malzemenin genişleyerek kalıbın iç hacmini doldurması sağlanır. Çekilmiş (extruded) polistren (XPS); polistren malzeme ergiyik halde iken karbondioksit veya benzeri bir

gaz karıştırılarak köpük formunu alması sağlanır. Hala sıcak olan bu köpük bir nozülden geniş bir kalıptan geçerek sürekli bir köpük üretimi sağlanır.

EPS köpüğün taneli bir yapıda olması mukavemetini olumsuz etkilediği için İHA üretiminde XPS kullanmayı tercih ediyoruz. EPS içine katkıları eklenerek mukavemeti önemli oranda artırılabilir ancak yine de bu yöntem için basınca dayanıklı bir kalıp ihtiyacı olduğundan yalnızca seri imalatta kullanılır. Prototip veya az sayıdaki imalatlar için XPS daha uygundur.

XPS köpük üretim esnasındaki parametreler değiştirilerek 20-50 kg/m³ yoğunlukta üretilebilir. Buna bağlı olarak da basma mukavemeti 100-500 kPa aralığında değişim gösterir [Web 16, 2015]. Şekil 5.1'de de anlaşılacağı gibi malzemenin mukavemeti yoğunluğa bağlı olarak değişmektedir.



Şekil 5.1: XPS basma dayanımı.

Yapılarda ısı izolasyonu için kullanıldığından dolayı XPS köpüğü standart kalınlıklarda blok halinde temin etmek çok kolaydır. Bu bloğu istediğimiz şekle getirmek için talaşlı imalat yöntemlerini kullanabiliriz ancak bu uzun süren bir işlem olmanın yanında oldukça yüksek maliyetlidir. Bunun yerine polistrene şekil vermek için sıcak tel kullanabiliriz. Bu yöntem ayrıca yüzey kalitesi yönünden de talaşlı imalata kıyasla oldukça iyi sonuç verir.

Polistren yaklaşık 160 °C'de erimeye başlar, 275 °C'nin üzerinde buharlaşmaya başlar. 460-500 °C'de ise tamamen buharlaşır. İstemediğimiz bölgelerin sıcaklığını

300 °C'nin üzerine çıkardığımız takdirde malzeme buharlaşarak uzaklaşacaktır. Çeşitli aparatlar kullanarak köpüğe şekil vermek oldukça kolaydır.

Uçak kanadı üretiminde de profil kullanıldığı düşünüldüğünde düz bir çizgi şeklinde bir aparat işimizi görmektedir. Bunun da en kolay yolu ısıtılmış gergin bir teldir.

5.1.5. Diğer Malzemeler

Yukarıda belirtilen malzemeler kadar sık kullanılması da alüminyum alaşımları, kevlar polikarbonat gibi yüksek dayanımlı plastikler de İHA üretiminde kullanılmaktadır.

Özellikle ahşap yapılı hava araçlarının dış yüzeyleri için çeşitli plastik kaplama filmleri sıkça kullanılmaktadır.

5.2. CNC Sıcak Tel Köpük Kesim Tezgâhı

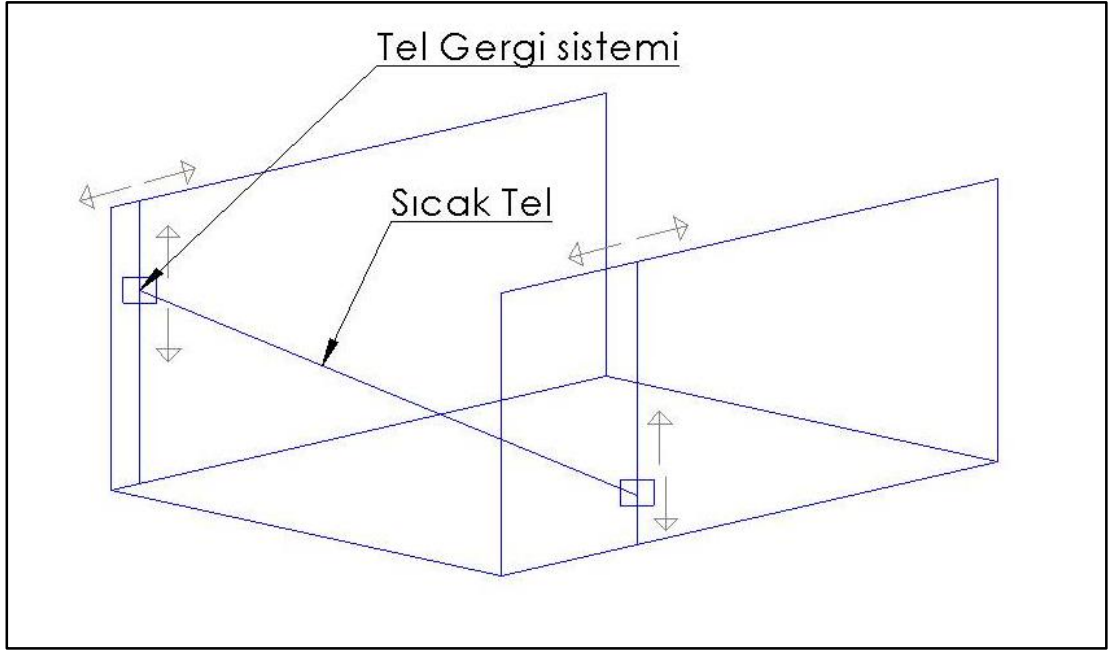
Sıcak tel kesim yöntemi radyo kontrollü model uçaklarda sıkça kullanılmasının yanında mini ve mikro İHA'larda da kullanılmaya başlamıştır. Model uçak için genelde el ile kullanılan sistemler tercih edilmektedir. Bu yöntemde temel olarak kanat profilinin ahşap gibi ısıya dayanabilecek, kolay işlenen bir malzemedен bir şablonu üretilir. Bu şablon köpük üzerine geçici olarak tutturulur ve ısıtılmış gergin tel bu şablon izlenerek hareket ettirilir.

El ile uygulanan bu yöntem yeteri kadar hassas olmayıp fazla zaman almaktadır. Bu nedenle bu üretim metodunu bilgisayar kontrolü ile uygulamak çok daha iyi sonuç vermektedir.

Uçak kanadı kesmek amacıyla 2 eksenli bir sistem kullanılabilir. Böyle bir sistemde elde edilen kanat parçasının iki ucundaki kesitler aynı olacaktır. Hava aracının tasarımına bağlı olarak bu yeterli olabilir.

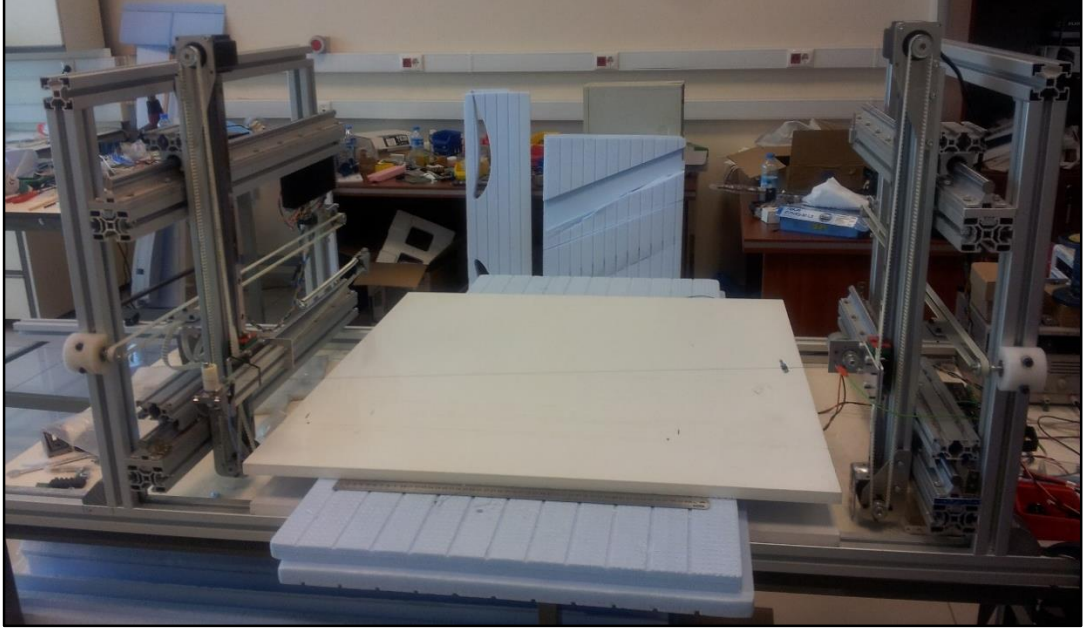
5.2.1. CNC Tezgâh Tasarımı

Kanat kökten uca doğru herhangi bir değişim gösteriyorsa 2 eksenli bir sistem kullanılarak bu kanadın üretilmesi güçtür. Böyle bir kanadın üretilebilmesi için 4 bağımsız eksen kullanmak daha akılcı olacaktır. İki eksen kanadın uç tarafında, diğer iki eksen ise kanadın kök tarafında konumlanacak şekilde tezgâhın tasarımı yapılmalıdır. Şekil 5.2’de tezgâhın çalışma mantığı taslak olarak ifade edilmiştir.

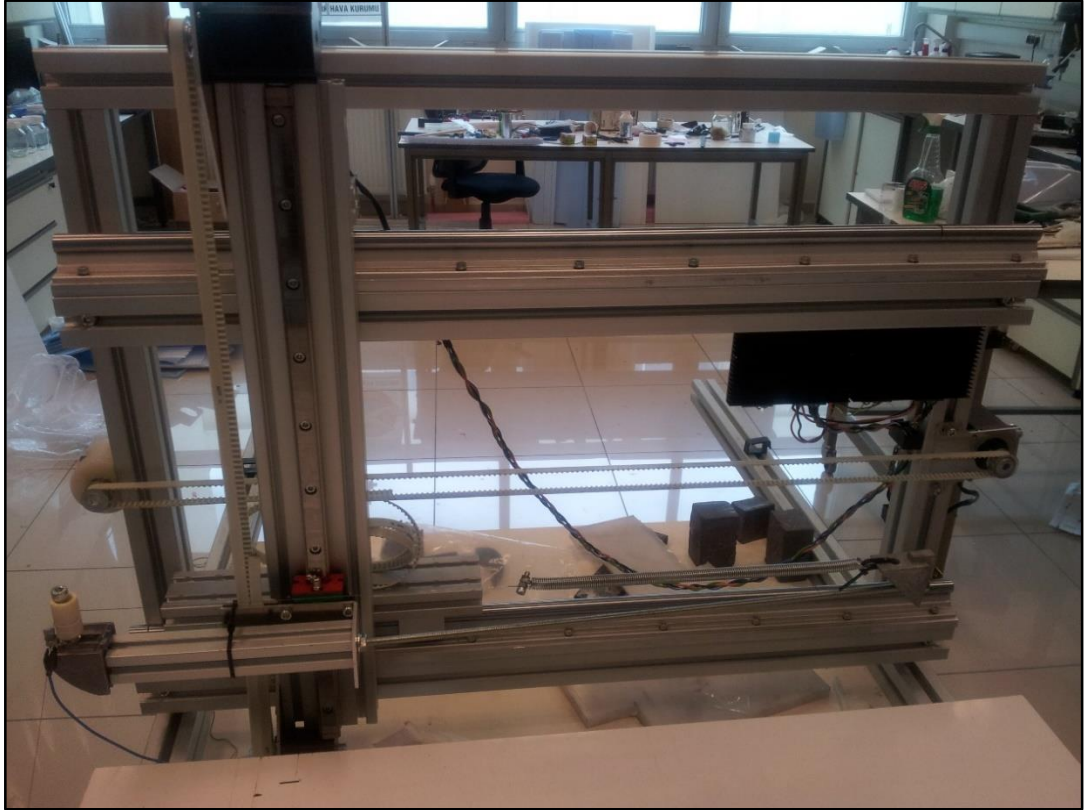


Şekil 5.2: CNC sıcak tel kesim tezgâhı taslak çizimi.

Şekil 5.3 ve Şekil 5.4’te CNC tezgâhın faal durumdaki fotoğrafları görölmektedir.



Şekil 5.3: CNC sıcak tel kesim tezgahı.



Şekil 5.4: CNC sıcak tel kesim tezgahı X-Y eksenleri.

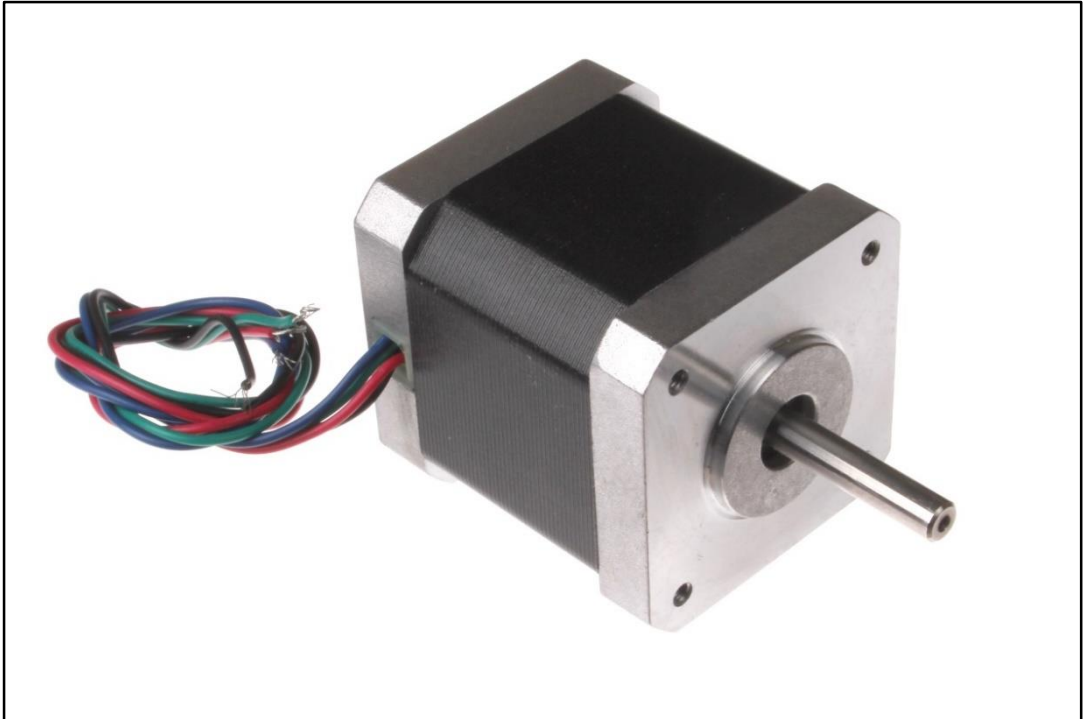
5.2.2. CNC Tezgâh Komponentleri

Tezgâhın gövdesinin üretim kolaylığı ve esnekliği dolayısıyla piyasada sigma profil olarak bilinen alüminyum profillerden imal edilmesi yoluna gidilmiştir.

Hareketli eksenlerin yatakları için bilyeli lineer yataklar kullanılmıştır. Piyasada bulunan en düşük kapasiteli bilyeli lineer yataklar tezgâhta ihtiyaç duyulan kuvvetlerin üzerinde mukavemet gösterdikleri için en kolay temin edilecek yataklar kullanılmıştır.

5.2.2.1. Adım Motor

Bir çeşit senkron motor olan adım motorlar faz değişimi sayesinde hareket oluştururlar. Bu faz değişimi elektronik sürücü devreler tarafından gerçekleştirilir.



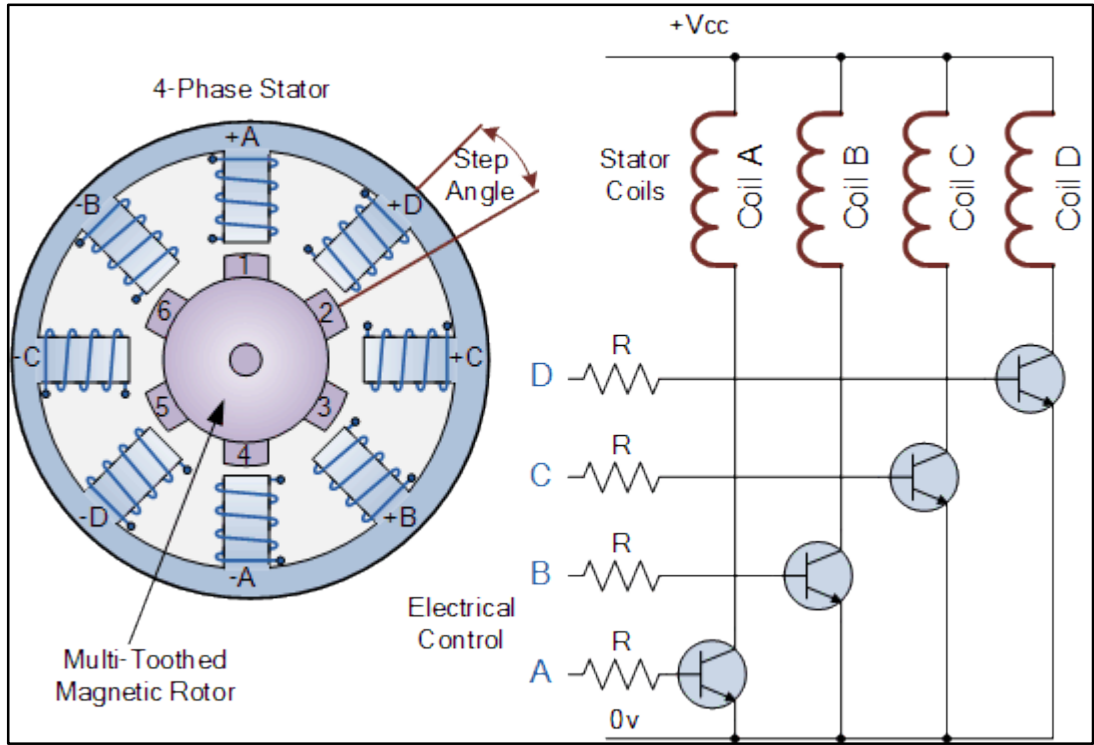
Şekil 5.5: Nema17 standardı adım motor.

Adım motorların konumlandırma işlerinde servo motor yerine tercih edilmelerinin sebebi maliyetlerinin düşük olmasıdır. Değişken veya ani yüklemelere maruz kalan sistemlerde servo motorlar tercih edilmelidir. Bu çalışmada tasarlanıp

üretileen sistemde yüklerin değışimi kısıtlı olduğundan adım motor yeterli olmaktadır. Şekil 5.5'te Nema17 ölçü standardında bir adım motor görülmektedir.

5.2.2.2. Adım Motor Sürücü

Adım motorlar senkron motor mantığına benzer şekilde çalıştılarından hareket etmeleri için faz değışimine ihtiyaç duymaktadırlar. Bunu sağlamak için elektronik sürücü devresi kullanılmaktadır. Adım motorun elektriksel bağlantıları şematik olarak Şekil 5.6'da verilmiştir.



Şekil 5.6: Adım motor şematik gösterimi.

Adım motorda her faz değıştiğinde rotor 1 adım ilerler. Yeni nesil sürücülerde faz sayısını artırarak yarım adım ilerletmek mümkündür. Akım geri-beslemesini de kullanarak motorun bobinlerini oransal sürerek bu kademeleri daha da artırmak mümkündür, bu işleme mikrostepping denir. Piyasadan kolayca temin edilebilecek bir sürücü 1/128 hatta 1/256 adıma kadar sürebilmektedir. Mikrostep sayısını artırmak konumlama hassasiyetini ve hareketin daha pürüz yapılabilmesini

sağlamaktadır [Web 17, 2015]. Şekil 5.7’de bir adım motor sürücü devresinin kasası görülmektedir.



Şekil 5.7: Adım motor sürücü devresi.

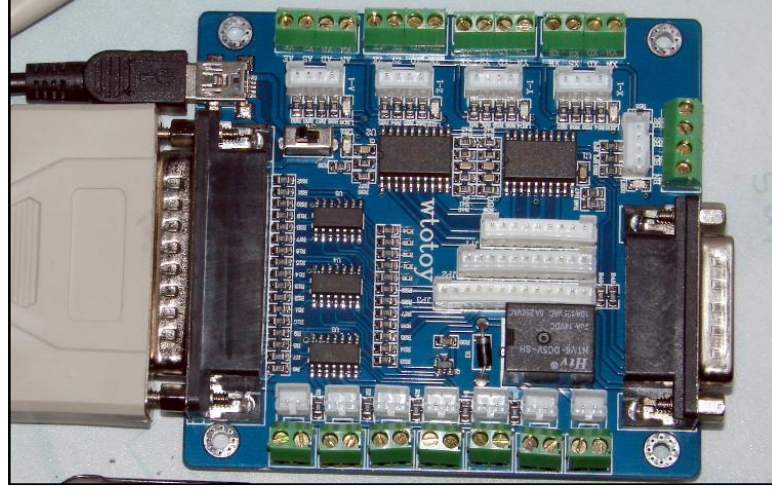
Adım motor sürücüler girdi olarak iki tip komut alırlar. Küçük sistemlerde daha sık kullanılanı adım/yön sistemidir. Giriş kanallarından bir tanesinden yön bilgisi iletilirken ikincisinden adım bilgisi iletilir. Elektriksel olarak gelen her kare formundaki sinyal için motor 1 adım ilerler. Bu adımın yönü yön kanalından gelen bilgiye göre seçilir.

Diğer sistemde ise iki kanaldan da adım bilgisi iletilmektedir. Kanalın birinden iletilen sinyal motorun bir yönde dönmesini sağlarken diğer kanaldan iletilen sinyal de motorun diğer yönde dönmesini sağlar.

5.2.2.3. CNC Kontrol Kartı

Bu çalışmada tasarlanan tezgâhta sürücülere iletilen bilgilerin bir bilgisayarın paralel portundan yönetilmesi düşünülmüştür. Bu porttan çıkan elektriksel sinyallerin bozulmadan iletilmesi için çeşitli filtreleme ihtiyacı vardır. Bu filtrelerin hazır olarak sunulduğu kartlar piyasada mevcuttur.

Bu çalışmada kullanılan kart Şekil 5.8’de gösterilmiştir. Bu kart hem çevreden gelen elektriksel gürültüleri temizlemektedir hem de sistemin bağlantılarının kolay yapılabilmesini sağlamaktadır.



Şekil 5.8: Paralel port CNC sürücü kartı.

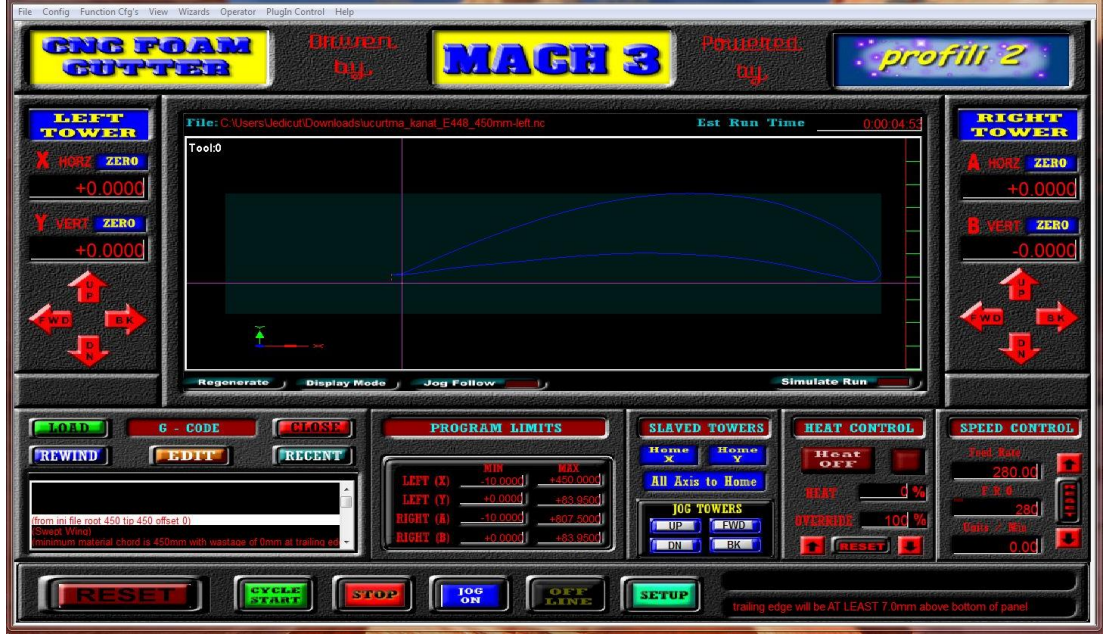
5.2.3. CNC Tezgâh Yazılımı

CNC tezgâhlarda kullanılmak üzere geliştirilen çok miktarda programlama dili vardır. Bunların arasından en yaygın kullanılanı G-kodlarıdır.

Bu kodlar temel olarak tezgâhın herhangi bir düzlem takımı üzerinde ilerlemesi istenen noktalar kümesinin koordinatlarını içerir. Bir arayüz yazılımı sayesinde bu kodlar işlenerek tezgâhın hareket aygıtlarının kullanabileceği sinyaller haline getirilir.

Bu çalışmada tasarlanan sistemde bu işlemleri bilgisayar üzerine kurulu olan bir paket program, Mach3 kullanılmıştır. Bu yazılım G-kodlarında verilen bilgileri adım motorların algılayabileceği bilgiye dönüştürerek bilgisayarın paralel portundan sinyal çıkışı sağlar [Web 18, 2015].

Yazılımın arayüzünü kullanıcının ihtiyacına göre düzenlemesi mümkündür. Şekil 5.9’de görülen arayüz açık kaynak kodlu olacak şekilde internet üzerinden herkesin kullanımına açıktır.



Şekil 5.9: CNC tezgah yazılımı arayüzü.


5.2.4. CNC Tezgâh için G-Kod Üretme Yazılımı


CNC'lerde kullanılan G kodları üretmek için yazılmış çok sayıda yazılım mevcuttur. Bu çalışmada tasarlanan tezgâh için gerekli kodlar bu programların herhangi bir tanesi ile üretilebilir. Ancak bu çalışmada öncelikli amaç İHA kanadı üretmek olduğu için daha amaca yönelik bir yazılım kullanmak çok daha olay olacaktır.

Bu amaçla internette kaynak kodları açık olarak sunulan çeşitli yazılımlardan bir tanesi seçilerek üzerinde geliştirmeler yapıldı. PHP tabanlı olarak geliştirilen bu yazılımın arayüzü Şekil 5.10'da görülmektedir.

Tasarım yükle: tasar/kanat_wasp.txt

Oluşturulacak tasarım dosyası: tasar/dosya.txt

rootfile:  prof/waspsm.dat

tipfile:  prof/waspsm.dat

wingspan (mm): 500

root (mm): 400

tip (mm): 300

sweep (mm): 300

gantry (mm): 915

(tip) theta (derece): 0

foamchord (mm): 1100

foamthick (mm): 45

feedspeed (mm/dk): 280

sağ/sol: sağ


G-Code Oluştur

Arayüz ekranının sol kısmı

Index of /tezgah/ustpng

Name	Last modified	Size	Description
Parent Directory	-	-	-
E448_450.png	06-Apr-2015 04:39	4.3K	
E448_450_uc.png	06-Apr-2015 04:40	5.3K	
akrobasi_hq010.png	27-Apr-2015 07:21	3.7K	

Index of /tezgah/kodlar

Name	Last modified	Size	Description
HRSP (snoothed)			
			

Index of /tezgah/tasar

Name	Last modified	Size	Description
------	---------------	------	-------------

Arayüz ekranının sağ tarafı

Şekil 5.10: G-Kod üretme yazılımı arayüzü.

Web tabanlı çalışan bu yazılımın arayüzü üzerinden kanadın tasarımı ile ilgili bütün verileri ilgili sekmelere girip çalıştırıldığında bu özelliklerdeki bir kanadı tezgâhta kesmek için gerekli olan G-kodları oluşturulmaktadır. Seçilen veya girilen bu bilgiler şunlardır:

- Kanat profili; veritabanında kayıtlı çok sayıda kanat profilinden kanadın kök ve uçtaki profilleri ayrı ayrı olacak şekilde tercih edilen iki tanesi seçilir.
- Kanat açıklığı,
- Kökteki veter uzunluğu,
- Uçtaki veter uzunluğu,
- Sweep mesafesi,
- Kesme teli uzunluğu,
- Kanat burulma açısı,
- Köpük plaka genişliği,
- Köpük plaka kalınlığı,
- Kesme hızı.

Ayrıca programın veritabanı kolayca müdahaleye izin vermektedir. Halihazırda seçenekler arasında bulunmayan kanat profilleri, çalışmada daha önceki bölümlerde bahsi geçen kanat profili veritabanı sitelerinden kolaylıkla temin edilip veya manüel olarak geliştirilip sisteme dahil edilebilir.

Öncelikle bu kodlar tasarlanan tezgâhın özelliklerine göre düzenlendi. Veritabanındaki bazı eksikler giderildi.

Programına burulma açısı özelliği eklendi. Bu özellik sayesinde kanadın ucundaki hücum açısı ile kök kısmındaki hücum açısı farklı belirlenebilir. Bu özellik uçaklarda tutunma kaybı (stall) durumunu engellemek için özellikle ticari uçaklarda sıkça kullanılmaktadır. Bu çalışmada olduğu gibi gövde-kanat biçiminde tasarımlarda momentleri dengelemek açısından ayrıca bir kullanım maksadı vardır.

Veritabanındaki profil dosyaları standart dosyalar ve genelde 40 civarı noktadan oluşuyordu. Noktalar arasında lineer interpolasyon yapıldığında elde edilen kanat yüzeyinin kalitesi oldukça düşük olmaktaydı. Nokta sayılarıyla ilgili bir diğer problem ise her profil bilgisinin birbirine denk olmamasıydı. Bunun sonucu

olarak kök için ve uç için seçilen profiller farklı olduğunda kimi zaman program hata vermekte, eşleştirme yapamamakta ve kod üretememekteydi. Programın kodları yeniden düzenlenerek kübik *spline* interpolasyon ile noktalar artırıldı. Bu sayede profil şekli mümkün olduğu kadar korunarak nokta sayısı alt ve üst olmak üzere toplamda 2000 noktaya çıkartıldı. Bu interpolasyon programın kodları içerisinde olduğu ve her çalıştırmada yapıldığı için veritabanına eklenecek herhangi yeni bir profil yahut değişiklik için de bu özellik çalışmaktadır.

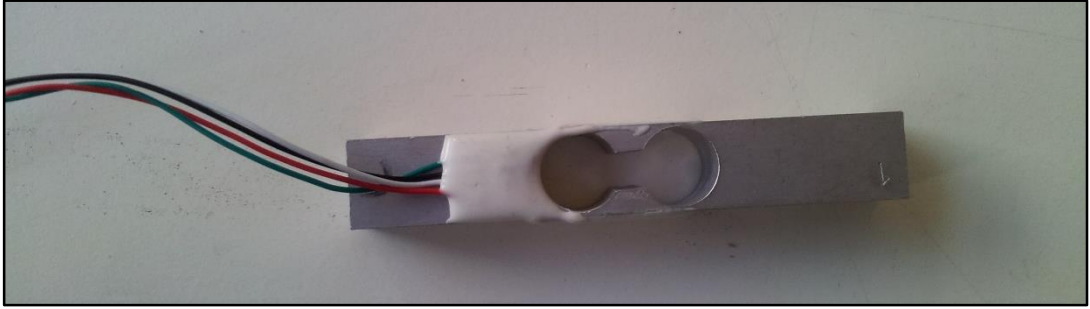
Bu programdan çıktı olarak elde edilen .nc formatındaki dosyanın içeriğini Tablo 5.1’de verilmiştir. Dosyanın içinde kesilecek köpükle ilgili bilgiler de bulunmaktadır. Devamındaki G-kodları ise hemen hemen tüm CNC tezgâhların kullanabileceği evrensel kodlardan oluşmaktadır.

Tablo 5.1: G-kod dosyası örneği.

```
%
(from ini file root 400 tip 300 offset -366)
(Swept Wing)
(minimum material chord is 524.5mm with wastage of 83mm at
trailing edge)
(root gantry thickness = 42.9mm)
(tip gantry thickness = 25.1mm)
(above sizes are for gantry travel, actual wing will be
thinner)
(foam block 500'wingspan' x 1100 x 45mm)
(XY gantry right)
(trailing edge will be AT LEAST 9.7mm above bottom of panel)
G21
G90 G49 G64 P0.25
G00 X-5.00 Y10.14 A-5.00 B10.14 F280
G01 X366.00 Y10.14 A0.00 B10.14
G01 X366.00 Y10.14 A0.00 B10.14
G01 X366.44 Y10.32 A0.26 B10.24
G01 X366.88 Y10.54 A0.52 B10.37
.
.
.
.
G01 X368.21 Y9.56 A1.29 B9.80
G01 X367.77 Y9.65 A1.03 B9.85
G01 X367.32 Y9.79 A0.78 B9.93
G01 X366.88 Y9.87 A0.52 B9.98
G01 X366.44 Y9.96 A0.26 B10.04
G01 X366.00 Y10.09 A0.00 B10.11
G01 X-10.00 Y10.14 A-10.00 B10.14
G00 X-10 Y0 A-10 B0
M30
%
```

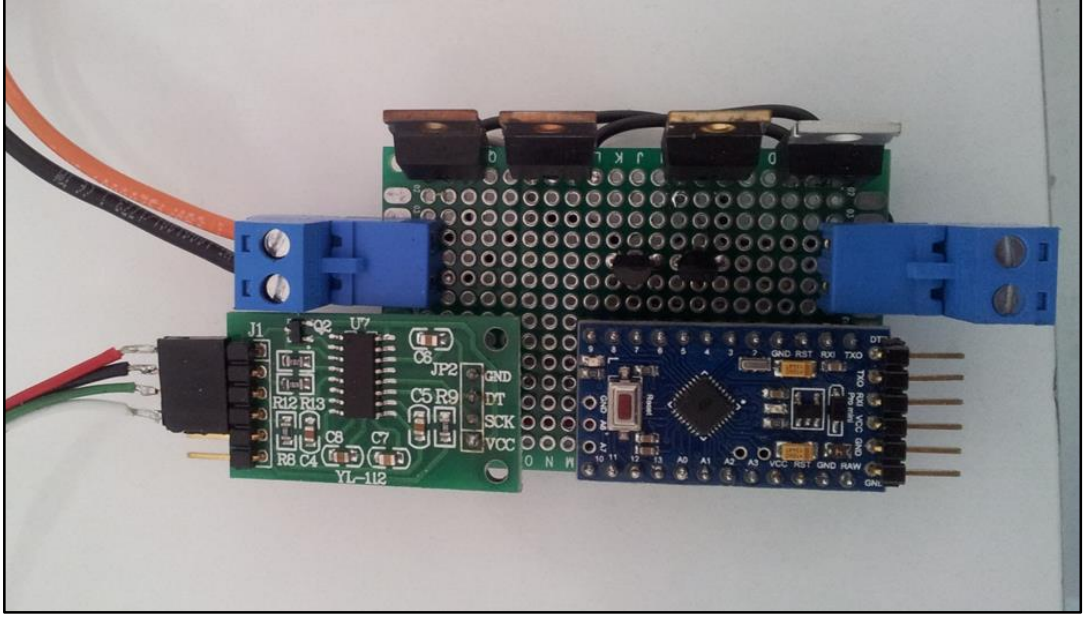
5.2.5. CNC Tezgâh Otomatik Tel Gergi Sistemi

Tezgâhta kesim için kullanılan telin gerginliğinin mümkün olduğunca sabit kalması önemlidir. Tel ısınıp soğudukça uzunluğu ve dolayısıyla gerginliği değişmektedir. Bu değişimi karşılamak amacıyla sisteme uzun bir yay dahil edilmiştir. Bu yay sıcaklık değişikliğinden kaynaklanan gerginlik değişimlerini karşılarsa da ok açılı kanat kesmek istendiğinde yetersiz kalmaktadır.



Şekil 5.11: Yük hücresi.

Bu problemi ortadan kaldırmak için telin gerginliğini ölçerek kontrol eden bir sistem geliştirilmiştir. Bu sistem, Şekil5.11’de görülen, bir yük hücresi kullanarak telin gerginliğini eşzamanlı olarak ölçmektedir. Tasarlanan elektronik devre üzerinde bulunan motor sürücü sayesinde ihtiyaca göre redüktörlü bir dc motoru aktive ederek telin gerginliğini artırmakta veya azaltmaktadır.



Şekil 5.12: Otomatik tel gergi sistemi elektronik devresi.

Yük hücresinin ölçtüğü değerin dijital ortama aktarılabilmesi amacıyla HX711 analog/dijital dönüştürücü entegresi kullanılmıştır. Sistemde kontrolcü olarak, Şekil 5.12’de görülen, Arduino tabanlı bir mikrodenetleyici kullanılmıştır.

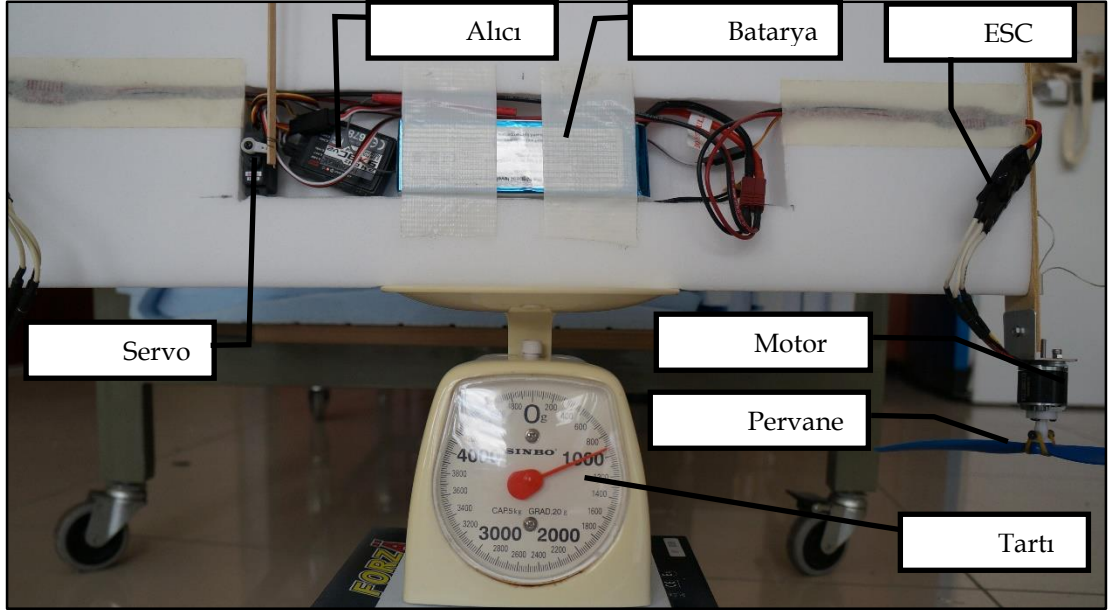
Mikrodenetleyici üzerinde çalışacak olan yazılım Ek A’da verilmiştir. Bu yazılında tel gerginliği kapalı bir çevrimde sürekli ölçülerek önceden belirlenmiş olan hedef gerginlik değeri ile karşılaştırılmaktadır. Motor kontrolü için aç/kapat tarzında bir kontrolcü kullanılmıştır. Bu kontrolcünün uygulamada yeterli olduğu görüldüğü için daha karmaşık kontrol algoritmaları kullanılmamıştır.

5.3. İHA'nın Montajı

İHA'nın iki kanat arasındaki kanat-gövde kısmının içine gerekli olan ekipmanlar, Şekil 5.13 ve Şekil 5.14'te görüldüğü üzere, yerleştirilmiştir. Ağırlık ve itki testi, ekipmanların gövde içerisindeki yerleşimi Şekil 5.14'te gösterilmiştir.



Şekil 5.13: İHA kanatları montaj aşaması.



Şekil 5.14: İHA gövde ve ekipmanları, ağırlık ve itki testi.



Şekil 5.15: İHA üst kanadı, test uçuşu öncesi.

Şekil 5.15, Şekil 5.16 ve Şekil 5.17'de uçuş testleri öncesi monte edilmiş kanat görülmektedir.



Şekil 5.16: İHA üst kanat ölçüleri.



Şekil 5.17: İHA üst kanat uçuş testleri.

6. SONUÇ

Bu çalışmada gözetleme amaçlı özgün bir insansız hava aracı (İHA) tasarlanıp imal edilmiştir. Geliştirilen İHA 4 pervaneli çift kanat biçimindedir, kuyruğu yoktur. Tek hareketli kontrol yüzeyi olarak 1 tane elevatörü vardır. Kontrol 4 tane motor ve mevcut elevatör ile yapılmaktadır. Dikey kalkış yapıp yeterli irtifaya yükseldikten sonra eğer varsa rüzgâr etkisi ile havada kalması düşünülen İHA'ya bu amaçla uçurtma ipi eklenmiştir. Böylece iple yere bağlı olan İHA yeterli rüzgâr varsa motor itkisi harcamadan uzun süre havada yaklaşık sabit pozisyonda kalarak gözetleme yapabilmektedir.

Tasarlanan İHA'nın toplamda 3 kg'ın altında olması hedeflenmiştir. 500 gr'lık bir paralı yük (teçhizat) taşınması öngörülmüştür. Bu doğrultuda köpük malzemedan kanat ve gövdelerin imalatı yapılmıştır.

Köpük malzemedan imalatın yapılması için 4-eksenli bir CNC tezgâhı tasarlanmış ve inşa edilmiştir. Kontrolü olabildiğince açık kaynak kodlar kullanılarak gerçekleştirilmiş, yetersiz kalınan durumlarda yeni kod yazılmıştır. Köpük, üzerinden akım geçirilerek ısıtılan tel ile kesilmekte, telin gerginliği de beşinci bir motorun sürülmesiyle sabit tutulmaktadır. Burada tel gerginliği bir kuvvet sensörü ile algılanmakta, kapalı çevrim bir kontrol ile bu bilgi üzerinden ısınmaya veya 4-eksen hareketlere bağlı olarak gerçekleşen gerginlik değişimlerini bertaraf etmektedir.

Biçim verilmek istenen köpük, 4 tane motorun iki tarafından gergince tutulmuş bir ısıtılmış teli köpük malzeme içerisinde hareket ettirerek kesmesi suretiyle şekillendirilmektedir. Bunun için kanat ve gövde geometrilerinin 3 boyutta üretilmesi gerekmektedir. Her bir tasarım için 3 boyutlu çizim yapmak yerine genel parametreleri belirli bir parçanın doğrudan makine G-kodlarının üretilmesini sağlayan bir yazılım geliştirme yoluna gidilmiştir. Platform bağımsızlığı ve kolay erişim amacıyla bu yazılım web tabanlı olarak düşünülmüştür. Geliştirilen yazılım, geniş bir veritabanından kök ve uç kanat profillerini seçmeye imkân vermekte, burulmayı tasarlayabilmekte, ok açısı ve hücum ve firar kenarları arasındaki açı farkını destekleyebilmektedir. Ayrıca gerek profiller arasındaki uyum ve gerekse nihai ürün kalitesi bakımından uluslararası profil veritabanlarındaki profillerden

alınan noktalar kübik spline ile 2000'e kadar çoğaltılarak gerçek zamanlı olarak kod üretilebilmiştir. Söz konusu yazılım tezgâh ve kesilecek köpük blok özelliklerine ve geometrisine göre imalatın mümkün olup olmayacağını da inceleyip rapor verebilmektedir.

Motorların itkisi geliştirilen sabit bit yer deney platformunda ölçülmüştür. Elde edilen değerler seçilen pervane çapı ve hatvenin mevcut tasarım için dikey uçuş modunda yeterli olduğunu göstermiştir.

Ticari bir yazılım kullanılarak geometri, uçuş manevra sertlikleri, batarya konfigürasyonu, motor ve pervane seçimleri gerçekleştirilmiş ve bu doğrultuna uçuş özellikleri önceden kestirilebilmiştir. Bununla uyumlu olarak bir profil seçilmiş (wasp) kök ve uçta burulma açısı kullanmaya gerek olmaksızın aynı profil kullanılmıştır. İki kanadın ortasında gövde niteliğinde kalan kanat parçasına bütün elektronik mekanik ve hareket aktarımı sistemleri yerleştirilmiştir. Bu tasarım kanatlar zarar görse dahi basitçe zarar gören kanadın değiştirilmesiyle sistemde fazla müdahaleye gerek olmaksızın İHA'yı yeniden göreve hazırlayabilme olanağı sağlamak içindir.

Yapılan analitik hesaplarda uçurtma modunda iken İHA'yı sabit tutan ipin yer ile yaptığı açının rüzgâr şiddeti arttıkça sabit bir değere yakınsama eğiliminde olduğunu göstermiştir. Bu değer; sürüklenme ve taşıma katsayılarının, öngörülen hücum açısı için, oranına yakın olduğu belirlenmiştir.

Gerçekleştirilen bu tasarım imalat çalışmasının sonucunda, bu alanda yapılmak istenen çalışmalarda daha önce oldukça ihmal edilen uçurtmaların, dikine kalkış-yatay uçuş yapabilen İHA'larla birleşiminden oluşan melez İHA'ların da değerlendirilmeye değer olduğu sonucuna varılmıştır.

KAYNAKLAR

Wang C., (2015), "Extended π Conjugated System for Fast-Charge and –Discharge Sodium-Ion Batteries", Journal of the American Chemical Society, 137 (8), 3125-3130.

Web 1, (2015), https://tr.wikipedia.org/wiki/%C4%B0nsans%C4%B1z_hava_arac%C4%B1, (Erişim Tarihi: 20/04/2015).

Web 2, (2005), <http://www.designation-systems.net/dusrm/app4/sperry-fb.html>, (Erişim Tarihi: 11/05/2015).

Web 3, (2015), http://www.daviddarling.info/encyclopedia/K/Kettering_Bug.html, (Erişim Tarihi: 21/05/2015).

Web 4, (2002), http://www.ctie.monash.edu.au/hargrave/rpav_britain.html, (Erişim Tarihi: 21/05/2015).

Web 5, (2015), http://bilgi-bilgi.com/insansiz_hava_araci, (Erişim Tarihi: 21/05/2015).

Web 6, (2015), <http://www.textronsystems.com/products/unmanned/shadow>, (Erişim Tarihi: 25/05/2015).

Web 7, (2015), [https://en.wikipedia.org/wiki/Dihedral_\(aeronautics\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Dihedral_(aeronautics)), (Erişim Tarihi: 25/05/2015).

Web 8, (2015), http://m-selig.ae.illinois.edu/ads/coord_database.html, Erişim Tarihi: 05/06/2015).

Web 9, (2015), <http://airfoiltools.com>, (Erişim Tarihi: 11/05/2015).

Web 10, (2015), <http://airfoiltools.com/airfoil/details?airfoil=waspsm-il>, (Erişim Tarihi: 14/06/2015).

Web 11, (2015), <http://www.motocalc.com/>, (Erişim Tarihi: 17/06/2015).

Web 12, (2015), <http://www.uavturbines.com/>, (Erişim Tarihi: 08/06/2015).

Web 13, (2015), <http://www.hysasystems.com/>, (Erişim Tarihi: 09/06/2015).

Web 14, (2015), <http://electronicdesign.com/energy/measure-laser-power-modified-mems-pressure-sensor>, (Erişim Tarihi: 03/06/2015).

Web 15, (2015), <http://ardupilot.com/>, (Erişim Tarihi: 03/06/2015).

Web 16, (2015), <http://www.xpsturkiye.org/sayfa.asp?!D=136>, (Erişim Tarihi: 03/06/2015).

Web 17, (2015), http://www.electronics-tutorials.ws/io/io_7.html, (Erişim Tarihi: 03/06/2015).

Web 18, (2015), <http://www.machsupport.com/software/mach3/>, (Erişim Tarihi: 03/06/2015).

ÖZGEÇMİŞ

Fahreddin Fatih ÖNGÜL 1985 yılında Ankara’da doğdu. 2003 yılında başladığı Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü’nü 2011 yılında tamamlamıştır. 2012 yılında yüksek lisans eğitimine Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalında başladı. 2013 yılında yine Gebze Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaya başlamıştır.

EKLER

Ek A: Otomatik Tel Gergi Sistemi Yazılımı

Tablo A1.1: Otomatik tel gergi sistemi yazılımı.

```
#include "HX711.h"
// HX711.DOUT - pin #A1
// HX711.PD_SCK - pin #A0
HX711 scale(A1, A0);
void setup() {
  Serial.begin(38400);
  Serial.println("HX711 Demo");
  Serial.println("Before setting up the scale:");
  Serial.print("read: \t\t");
  Serial.println(scale.read()); // print a raw reading from the ADC
  Serial.print("read average: \t\t");
  Serial.println(scale.read_average(20)); // print the average of 20 readings
from the ADC
  Serial.print("get value: \t\t");
  Serial.println(scale.get_value(5)); // print the average of 5 readings from the
ADC minus the tare weight (not set yet)
  Serial.print("get units: \t\t");
  Serial.println(scale.get_units(5), 1); // print the average of 5 readings from
the ADC minus tare weight (not set) divided
// by the SCALE parameter (not set yet)
scale.set_scale(2280.f);
//scale.tare(); // reset the scale to 0
Serial.println("After setting up the scale:");
Serial.print("read: \t\t");
Serial.println(scale.read()); // print a raw reading from the ADC
Serial.print("read average: \t\t");
Serial.println(scale.read_average(20));
```


Tablo A1.1: Devam.

```

Serial.print("get value: \t\t");
Serial.println(scale.get_value(5)); // print the average of 5 readings from the
ADC minus the tare weight, set with tare()
Serial.print("get units: \t\t");
Serial.println(scale.get_units(5), 1);
// by the SCALE parameter set with set_scale
Serial.println("Readings:");
pinMode(5, OUTPUT); // sets the pin as
pinMode(6, OUTPUT); // sets the pin as
}
void loop() {
Serial.print("one reading:\t");
Serial.print(scale.get_units(), 1);
Serial.print("\t| average:\t");
Serial.println(scale.get_units(10), 1);
int a=scale.get_units();
int 60eğer = 70;
if (a > 3405) {
analogWrite(5, 0);
analogWrite(6, 60eğer);
}
else if (a < 3400) {
analogWrite(6, 0);
analogWrite(5, 60eğer);
}
else {
analogWrite(5, 0);
analogWrite(6, 0);
}
}

```