



# 1. TÜBİTAK LİSELER ARASI İNSANSIZ HAVA ARAÇLARI YARIŞMASI TASARIM RAPORU



**TAKIM NUMARASI VE ADI:** 551862 / KÖKSUNGUR  
**ARAÇ TÜRÜ / ADI:** SABİT KANAT / TU-016  
**OKUL:** NEVŞEHİR H. AVNİ İNCEKARA FEN LİSESİ  
**DANIŞMAN:** MEHMET FATİH BİLGİN

## İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	Sayfa
1.GENEL ÖZET.....	3
1.1 Tasarım Süreci.....	3
1.2 Temel Görev Gereksinimleri.....	3
1.3 Sistem Performans Özellikleri.....	4
2.YÖNETİM ÖZETİ.....	5
2.1 Takım Organizasyonu.....	5
2.2 Zaman Akış Çizelgesi.....	6
3.DETAYLI TASARIM.....	7
3.1 Tasarımın Boyutsal Parametreleri.....	7
3.2 Tasarımın Yapısal Özellikleri.....	9
3.2.1 Gövde, Mekanik Sistemler ve Aerodinamik Özellikleri.....	9
3.2.2 Görev Mekanizması Sistemi.....	12
3.2.3 Elektrik Elektronik Kontrol ve Güç Sistemleri Entegrasyonu.....	17
3.3 Uçuş Performans Parametreleri.....	20
3.4 Hava Aracı Maliyet Dağılımı.....	24
3.5 Teknik Çizimler.....	25
3.6 Kaynakça.....	29

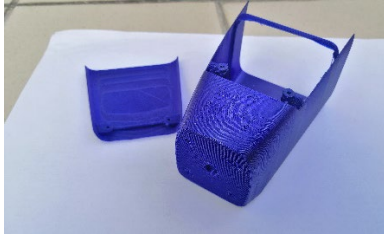
## 1.GENEL ÖZET

### 1.1 Tasarım Süreci

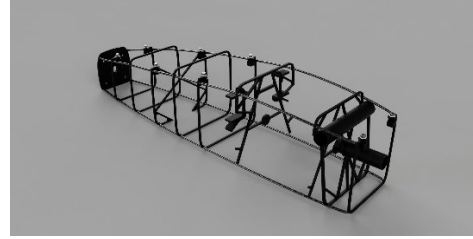
Sabit kanatlı insansız hava aracı (İHA) tasarlanırken otonom özelliklere sahip olması; üzerinde bulunan yük bırakma sistemi, GPS ve lazer mesafe algılayıcısı sayesinde anlık olarak elde ettiği verileri işleyerek kalkış öncesi veya kalkıştan sonra belirlenen alana yük bırakması; olabildiğince hafif ve hızlı hareket etmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla tasarım süreci 5 ayrı kola ayrıldı.

İHA'nın tasarımına, görev analizleri ve geçmiş yıllarda yapılan ulusal ve uluslararası yarışmalara katılan araçların incelenmesiyle başlandı ve bu çalışmalardan elde ettiğimiz verilere göre yapılması planlanan aracın genel tasarım parametreleri belirlendi. Sonraki aşamada bu parametrelere uygun olarak kanat tasarımı yapıldı. Proje amacına uygun elektronik bileşenler belirlendi ve bunları piyasa araştırması yapıldı. Proje gerekliliklerine ve kullanılacak elektronik bileşenlerin boyutlarına uygun teknik çizimler yapıldı. 3B tasarımlar dinamik olarak modellendi ve mekanizmaların hareketleri önceden gözlenerek uygulanabilirlik test edildi.

İHA tamamıyla özgün dış tasarıma sahiptir. Yük bırakma sistemi yük kapağına yük bindirmeyecek şekilde özgün olarak tasarlanmıştır (Şekil 1 ve Şekil 2).



Şekil 1: 3B Prototip



Şekil 2: İç Tasarım

Aracımızın üretimi raporda belirtilen teknik çizimlerle uygun olarak yapılacaktır. Bu amaçla bazı gövde üretim teknikleri incelenmiştir. Yapılan incelemeler sonucunda; maliyet ve yeniden üretebilirlik açısından en uygun üretim metodu olarak araç gövde iskeletinin 3B yazıcı ile basılıp kanat ve kuyruk bağlantılarının karbon borular aracılığı ile sağlanması, kanat ve kuyruk profillerinin 3B yazıcı ile basılması ve kanat kaplamasında kaplama filmi kullanılmasına karar verilmiştir.

### 1.2 Temel Görev Gereksinimleri

İHA'nın 1. görevde uçuş güzergahına (Şekil 29) uygun manevraları gerçekleştirmesi beklenmektedir. İsterlere uygun olarak yapılan tasarımda 1. görevde manevra yaparken en düşük dönüş yarıçapı 8,16 metre olarak hesaplandı. Bunun için uygun formülden yararlanıldı (Raymer, 1989). Buna göre yapılan uçuş planlaması iniş ve kalkışlar dahil olmak üzere otonom uçuş için düzenlendi.

İHA'nın 2. görevde uçuş güzergahına (Şekil 30) uygun uçuşu ve yükü belirli alana bırakması beklenmektedir. Bu görev için iki servo motor tarafından kontrol

edilen iki kapaklı bir sistem kullanıldı. Bu sistemde servo motorlar kapağa tel ile bağlanmakta ve kapaklar kapalı konumdayken tel ile servo motor eş doğrultudadır. Sistem bekleme konumundayken servo motor yük altında bırakılmayarak güçten tasarruf eden güvenli bir mekanizma tasarlanmıştır. Görevi gerçekleştirmek için araç görev öncesi yer kontrol sistemi tarafından araca bildirilen alana yükü bırakırken üzerinde bulunan hava hız algılayıcı, GPS ve lazer mesafe algılayıcıdan gelen verileri işleyerek yükü bırakmak için yerden 7 metreye kadar alçalarak belirlenen alana en uygun şekilde yükü bırakabilmektedir.

İHA 1. ve 2. görevler sırasında uçuş için kalkış yaparken 8 m/s hıza ulaşacak bu sırada yer ile yaptığı 10° açılı ile havalanacaktır.

İHA'nın her iki görev için seyir yüksekliği 10 metre olarak belirlendi. Bu tercih yapılırken güvenlik önlemleri ve güç sistemlerinin yeterlilikleri göz önünde bulunduruldu.

İHA'nın görevini güvenle gerçekleştirebilmesi için etkinlik kurallarında belirtilen güvenlik önlemleri alınmıştır. Anahtar ve sigorta bağlantıları bulunmaktadır. Araç radyo kontrol sistemleri uçtan uca şifrelemeye sahiptir. Araç radyo kontrol sistemlerinde yaşanan herhangi bir sorunda 5 saniye içinde fail-safe özelliğini aktif etmektedir. Araç uçuş kontrolcüsü uçuş sırasında meydana gelecek titreşimlere karşı titreşim engelleyiciler ile desteklenmektedir.

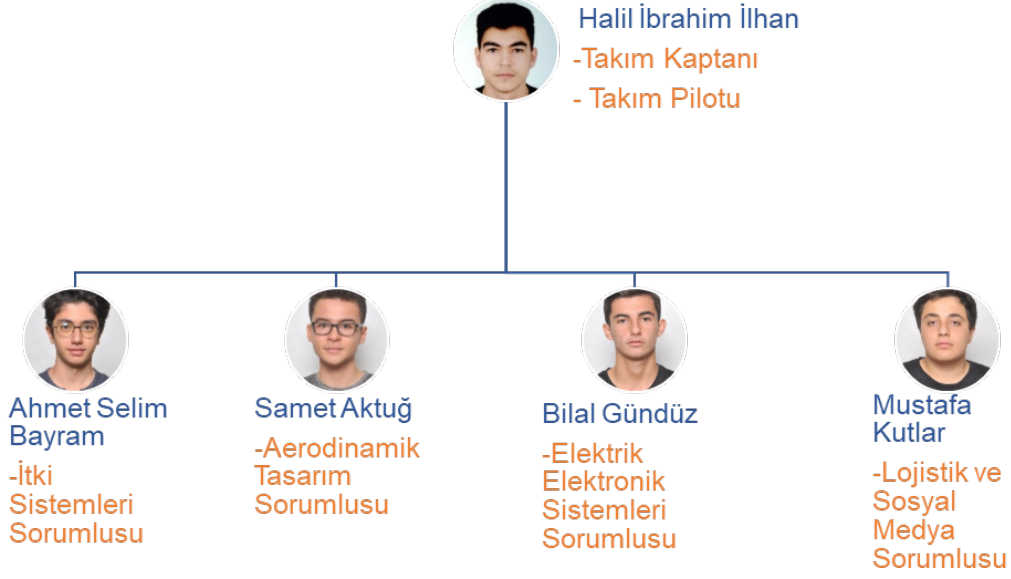
### 1.3 Sistem Performans Özellikleri

Genel Karakteristik		Performans		Ana Kanat	
Uzunluk	1.13 [m]	Stall Hızı	8.2 [m/s]	Profil	S4022
Toplam Kanat Açıklığı	1.6 [m]	Seyir Hızı	15 [m/s]	Kanat Açıklığı	1.6 [m]
Boş Ağırlık	1.1 [kg]	Üst Hız	25 [m/s]	Kanat Alanı	0,029 [m <sup>2</sup> ]
Üst Kalkış Ağırlığı	3.6 [kg]	Kanat Yükleme (Yüklü)	4.032 [kg/m <sup>2</sup> ]	Açıklık Oranı	8,6
Verimlilik (Cl/Cd)	13.40897	Dikey Kuyruk		Yatay Kuyruk	
Kalkış Mesafesi	12 [m]	Profil	NACA 0012	Profil	NACA 0012
En Düşük Yarıçap	8.16 [m]	Dikey Kuyruk Açıklığı	0.13 [m]	Yatay Kuyruk Açıklığı	0.448 [m]
Operasyonel Menzil	6.4 [km]	Dikey Kanat Alanı	0.01 [m <sup>2</sup> ]	Yatay Kanat Alanı	0.04 [m <sup>2</sup> ]
Uçuş Süresi	1. Görev	Açıklık Oranı	26	Açıklık Oranı	4.48
	60 [sn]				
	2. Görev				
	60 [sn]				

Tablo 1: Performans Özellikleri

## 2. YÖNETİM ÖZETİ

### 2.1 Takım Organizasyonu



**Halil İbrahim İlhan:** 2002 yılında Kayseri'de doğdu. İlk ve orta öğreniminin 2 yılını Elazığ' da gördü. Ortaokulu Nevşehir'de tamamladı ve Nevşehir H. Avni İncekara Fen Lisesinde 12. Sınıf öğrencisidir. Bilişim ve Havacılık ilgi alanıdır. Fusion 360 kullanmayı ve C, C++, Python, Java, Dart programlama dillerini bilmektedir. Biyolojik Formlu Casus İHA, Toda Delta Robot ve YKS Planlama Rehberim gibi projelere sahiptir. YKS Planlama Rehberim Flutter ile geliştirilmiş 80 bin indirmeye sahip bir mobil uygulamadır. Bu uygulama ile bu yılki Teknofest'te Eğitim Teknolojileri alanında yarışmaktadır. Nisan 2018 tarihinde Avrupa'nın ilk Liseler Arası Hackathon'una katılan İlhan ve takımı genel değerlendirmede Avrupa 7'ncisi olmuştur. Takımdaki görevi; Yük bırakma mekanizmasından, genel tasarım ve oto pilot sisteminin geliştirilmesinden sorumludur.

**Ahmet Selim Bayram:** 2002 yılında Ankara'da doğdu. İlköğretimden 2016 yılında Altınyıldız Kolejinden mezun oldu. Şuan Nevşehir Fen Lisesinde 12. sınıf öğrencisidir. Hobileri kitap okumak, müzik dinlemek, üniversite sınavına hazırlanmaktır. İleride uzay mühendisi olmak isteyen Bayram, geçmiş yıllarda farklı TÜBİTAK projelerinde yer aldı. Bu projede güç sistemlerinden ve elektronik sistemlerin belirlenmesinden sorumludur. Ayrıca oto pilot sisteminin geliştirilmesinden sorumludur.

**Samet Aktuğ:** 2003 doğumludur. H. Avni İncekara Fen Lisesi 10. Sınıf öğrencisidir ve iyi derece İngilizce bilmektedir. Programlama dillerinden; Python, Java ve Arduino dillerini orta seviye bilmektedir. Orta seviye Fusion 360 ve basit seviye Ansys bilgisi vardır. Basit seviyede ise aerodinamik ve elektronik bilgisi bulunmaktadır. Projede kanat ve gövde tasarımından sorumludur.

**Bilal Gündüz:** 2004 doğumludur. İlköğretim ve ortaöğretimi Nevşehir'de tamamladı. Ortaokulda solucan gübresi üretimi ile ilgili TÜBİTAK yarışmasında

bulundu. Nevşehir Fen Lisesinde 10. sınıfa devam etmektedir. Elektrik ve elektroniğe ilgi duymakta ve Arduino öğrenmeye ve geliştirmeye devam etmektedir. Fusion 360 programı ile ilgilenmektedir. Takımda elektrik ve elektronikten sorumlu ve aynı zamanda 3B parça baskısından sorumludur.

**Mustafa Kutlar:** 2004 tarihinde dünyaya gelen ilkokulu ve ortaokulu Altınyıldız Kolejinde tamamlamıştır. Hüseyin Avni İncekara Fen Lisesinde 10. Sınıfta eğitim görmektedir. Sosyal medya ve grafik tasarım üzerine ilgilenmekte ve Adobe Illustrator, Adobe Photoshop, Adobe Lightroom, Fusion 360 üzerinde çalışmaktadır. TÜBİTAK 4006 Bilim Fuarı kapsamında pas sökücü sıvı yapma çalışmasında bulunmuştur. Ekte sosyal medya hesapları, gerekli koordinasyonlar ve malzeme teminatı üzerine çalışmaktadır.

## 2.2 Zaman Akış Çizelgesi

İP No	İP Adı/Tanımı	Kimler Tarafından Yapılacağı	AYLAR											
			ŞUBAT			MART				NİSAN				
			2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	5
1	Görev Analizi ve Literatür Taraması	Tüm Takım Üyeleri												
2	Tasarım Boyutsal Parametrelerinin Belirlenmesi	H. İbrahim İLHAN Samet AKTUĞ												
3	Tasarımın Yapısal Özellikleri	H. İbrahim İLHAN Samet AKTUĞ												
4	Kontrol ve Güç Sistemleri Tasarımı	H. İbrahim İLHAN A. Selim BAYRAM												
5	Uçuş Performans Parametreleri	Samet AKTUĞ												
6	Bileşen Modellerinin Belirlenmesi	H. İbrahim İLHAN A. Selim BAYRAM												
7	Teknik Çizimler	H. İbrahim İLHAN Samet AKTUĞ Bilal GÜNDÜZ												
8	Yapısal Üretim ve Lojistik	Bilal GÜNDÜZ Mustafa KUTLAR												
9	Tasarım Raporu Hazırlanması	A. Selim BAYRAM												
10	Proje Yönetimi	H. İbrahim İLHAN												

Tablo 2: İş Paketi Zaman Çizelgesi

## İş Paketleri

**Görev Analizi ve Literatür Taraması:** Bu iş paketinde takım üyelerinin ileride yerine getirecekleri görevlere hazırlanması, bu alanda daha önceden yapılmış olan çalışmaların incelenmesi ve gerekli kaynakların taranması yer alır.

**Tasarım Boyutsal Parametrelerinin Belirlenmesi:** Bu iş paketinde İHA'nın gövde, kanat ve kuyruk tasarımının göreve uygun boyutlandırılması yer almaktadır.

**Tasarımın Yapısal Özellikleri:** Bu iş paketinde belirlenen boyutsal parametrelere ve görev gerekliliklerine uygun yapı malzemelerinin seçimi, ağırlık ve dengenin iyileştirilmesi yer almaktadır.

**Kontrol ve Güç Sistemleri Tasarımı:** Bu iş paketinde İHA'nın görevi gerçekleştirmesi için gereken itki sistemlerinin ve elektronik bileşenlerin belirlenmesi, bileşenler arası kablo bağlantılarının düzenlenmesi, gerekli güç ve batarya hesabının yapılması yer almaktadır.

**Uçuş Performans Parametreleri:** Bu iş paketinde tasarımın hız, ağırlık, denge gibi performans verilerinin belirlenmesi yer almaktadır

**Bileşenlerin Modellerinin Belirlenmesi:** Bu iş paketinde kontrol ve güç sistemleri iş paketinde belirlenen bileşenlerin araca uygun modellerinin seçimi yer almaktadır.

**Teknik Çizimler:** Bu iş paketinde gövde, kanat, kuyruk ve yük bırakma mekanizmasının üretime uygun bir şekilde bilgisayar ortamında modellenmesi, genel sistem şemasının çizimi yer almaktadır.

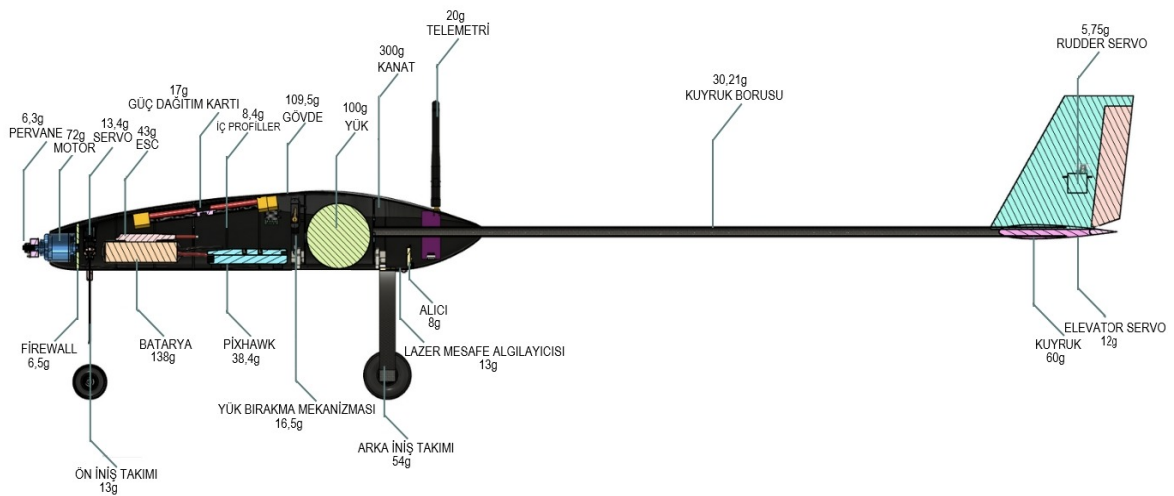
**Yapısal Üretim Denemeleri ve Lojistik:** Bu iş paketinde İHA'nın teknik çizimlerine uygun üretimi ve prototip oluşturulması, yapısal üretim tekniklerinin test edilmesi, İHA tasarım ve üretim sürecinde gerekli olan malzemelerin temini yer almaktadır.

**Tasarım Raporu Hazırlanması:** Bu iş paketinde İHA'nın tasarım raporunun hazırlanması yer almaktadır.

**Proje Yönetimi:** Bu iş paketinde takım üyelerin görevlendirilmesi, takım üyelerinin günlük görev takibi, haftalık toplantıların düzenlenmesi yer almaktadır.

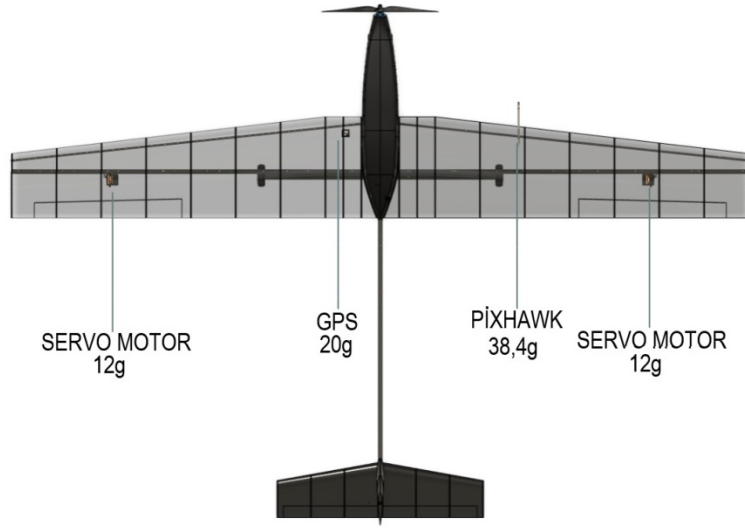
### 3.DETAYLI TASARIM

#### 3.1 Tasarımın Boyutsal Parametreleri



Şekil 3: Denge Gösterimi (Sağ Yönden Görünüş)

Aracımız tasarlanırken yüklü ve boş durumda ağırlık merkezinin aynı kalması için yük bırakma sisteminin merkezi, ağırlık merkezi olacak şekilde tasarlanmıştır (Şekil 3).



Şekil 4: Denge Gösterimi (Üstten Görünüş)

İHA'nın üretim sonucu kalkış ağırlığımız, yüklü durumda tahmini 1200 gr'dır. Etkinlik kurallarında belirtilen yükün ağırlığına göre, İHA'nın tasarımında; boyut, ağırlık ve denge tablosu boş ve yüklü durumlar dikkate alınarak yapılmıştır.

No	Parça Adı	Ağırlık (gram)	Adet	Toplam Ağırlık (gram)
1	Pixhawk 2.4.8 Uçuş Kontrolcüsü	38,4	1	38.4
2	Sunnysky X2216 V3 1250kv Motor	72	1	72
3	Hobbywing Skywalker 50A ESC	43	1	43
4	ZDP Power 40C 3S 1500Mah Batarya	138	1	138
5	APC1047 Pervane	6,3	1	6.3
6	3DR 100mw Telemetry(Hava Modülü)	20	1	20
7	Güç Modülü	17	1	17
8	Radiolink TS100 mini M8N GPS	20	1	20
9	Flysky FS-X14S Alıcı	2	1	2
10	Matek ASPD-7002 Hava Hız Algılayıcısı	3	1	3
11	Pitot Tüpü	9	1	9
12	Sigorta	2	1	2
13	VI53I0x Lazer Mesafe Algılayıcısı	13	18	2
14	Emax ES3352 Servo Motor	12.4	3	37.2
15	MG90 Servo Motor	13.4	1	13.4
16	Power HD-DSM44 Servo Motor	6	3	18
17	İniş Takımları	67	1	67
18	Gövde	109.5	1	109.5
19	Kanat	300	1	300
20	Kuyruk	60	1	60
21	Kuyruk Borusu	30.2	1	30.2
<b>TOPLAM</b>				<b>1008*</b>

Tablo 3: Ağırlık Tablosu

\*Bu ağırlığa vida, yapıştırıcı vs. ekleneceği için bu değer tahmini olarak 1200 gr kabul edilmiştir.



No	Parça Adı	Ağırlık (gram)	X uzaklığı (mm)	Y uzaklığı (mm)	Z uzaklığı (mm)
1	Pixhawk 2.4.8 Uçuş Kontrolcüsü	38,4	0	21	91
2	Sunnysky X2216 V3 1250kv Motor	72	0	11	283
3	Hobbywing Skywalker 50A ESC	43	0	2	202
4	ZDP Power 40C 3S 1500Mah Batarya	138	0	24	197
5	APC1047 Pervane	6,3	0	11	315
6	3DR 100mw Telemetri (hava modülü)	20	16	19	97
7	APM 2.5 Güç Modülü	17	0	23	138
8	Radiolink TS100 mini M8N GPS	20	75	38	42
9	Flysky FS-X14S Alıcı	2	6	21	73
10	Matek ASPD-7002 Hava Hız Algılayıcısı	3	21	14	67
11	Pitot Tüpü	9	300	29	50
12	Sigorta	2	0	22	80
13	VL5310xLazer Mesafe Algılayıcısı	0,5	0	37	66
14	Aileron Sağ Servo Motor (Emax ES3352)	12.4	580	20	60
15	Aileron Sol Servo (Emax ES3352)	12.4	580	20	59
16	Ön Teker Servo (MG90)	13	0	151	251
17	Elevator Servo (Emax ES3352)	12.4	30	10	747
18	Rudder Servo (Power HD-DSM44)	6	7.5	51	750
17	Sağ Teker	27	261	139	50
18	Sol Teker	27	261	139	50
19	Gövde*	109.5	0	0	75
20	Kanat*	300	0	26	30
21	Kuyruk*	60	0	21	723
22	Kuyruk Borusu	30.2	0	14	387

Tablo 4: Denge Tablosu

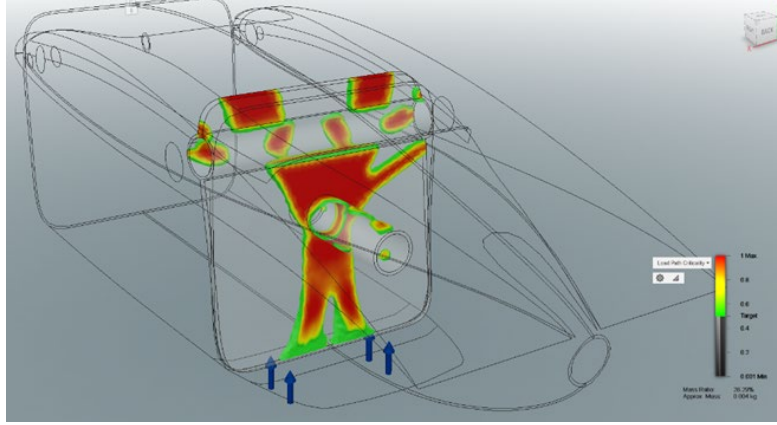
\*Yapı malzemelerinin uzaklıkları, ağırlık merkezlerine göre hesaplanmıştır.

### 3.2 Tasarımın Yapısal Özellikleri

#### 3.2.1 Gövde, Mekanik Sistemler ve Aerodinamik Özellikler

Köşeli gövdenin iç hacmi ve yuvarlak gövdenin aerodinamik yapısı harmanlandı ve gövdenin geometrisi oluşturuldu. Yük bırakma sisteminin ölçüleri belirlenirken top ölçüleri referans alındı. Faydalı yük kabinin minimum ölçüleri 7x7x7 cm olarak belirlendi. Kabinin ön ve arka duvarları gövdeye desteklik vermektedir. Kanat borusu gövde ağırlığını taşıyacak biçimde tasarlandı. İniş sırasında arka iniş takımlarına binecek yükün taşınması için arka iniş takımıyla kanat borusu arasına profil yerleştirildi.

Gövde kabuğunun tasarımından sonra yeterli dayanıklılığı elde etmek için gövdenin iç kısmına boydan boya uzanan 2 mm kalınlığında karbon çubuklar ve dikey profiller/çerçeveler eklendi. Gövde kabuğunun tasarımından sonra yeterli dayanıklılığı elde etmek için gövdenin iç kısmına yüzeyden boydan boya uzanan 2 mm kalınlığında karbon çubuklar ve dikey profiller/çerçeveler yerleştirildi (Şekil 5).

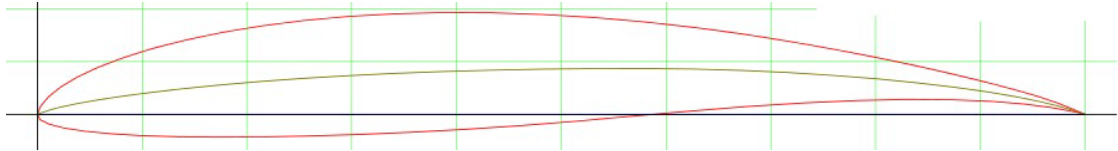


Şekil 5: Arka Gövde Profili Analizi

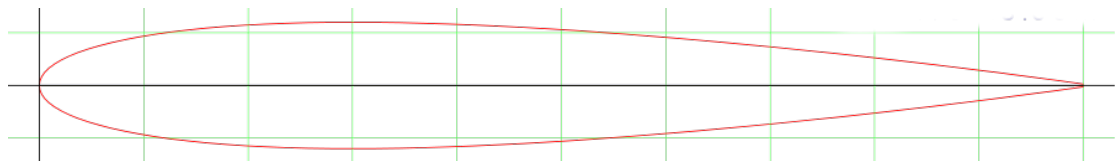
Gövde içine erişmek için kullanılan kapak gövdeye bağlanırken kapağın vida yerleri profillere yapılarak profillerin kapağın iç yüzeyinde de devam etmesi sağlandı. Yük bırakıldığında ağırlık merkezinin yeri değişmemesi için yük bırakma sisteminin merkezi ağırlık merkeziyle aynı belirlendi. Tüm malzemeler, kuyruk ağırlığından kaynaklı momenti karşılamak için ön bölüme yerleştirildi. Ansys'de yapılan analizler sonucunda aileronların yapabileceği en yüksek sürüklenme bulundu. Elde edilen analizler sonucunda servo motor seçimi yapıldı.

Anteni bulunan bileşenler (alıcı ve telemetri), karbon fiber gövde tarafından sinyal emilimine uğramaması için antenlerinin dışarda bulunması gerekiyordu. Yapılan analizler sonucunda antenlerin en az sürüklenmeyi gövdenin arka tarafında verdiği görüldü bu sebeple alıcı ve telemetri gövdenin arka bölümüne yerleştirildi. Pitot tüpü pervane hava akımından etkilenmemesi için gövdeden 30 cm uzakta kanada yerleştirildi. Pitot tüpünün momentini dengelemek için ve GPS sinyallerinin karbon gövdeden etkilenmemesi için GPS modülü diğer kanada yerleştirildi.

İHA'nın gövde kanat ve kuyruğu özgün olarak tasarlanmıştır. Seçilen profillerde düşük hızlarda flap kullanmadan yeterli kaldırma kuvvetini elde edebilmek için gövdeye oranla büyük bir kanat tasarlandı. Kuyruk alanı ve merkeze uzaklık arasında çeşitli kombinasyonlar denendi. Bu kombinasyonlar arasında en verimli ve hafif sonuç kullanıldı. Ön ve arka iniş takımı, ana kanatlar ve kuyruk sökülebilir şekilde tasarlanarak taşınabilir bir İHA ortaya kondu. Kanat profili olarak Selig S4022 kullanıldı (Şekil 6). Kuyruk profili olarak NACA 0012 kullanıldı (Şekil 7).



Şekil 6: Kanat Profili; Selig S4022 (<http://airfoiltools.com>, 21.03.2020)



Şekil 7: Kuyruk Profili; NACA 0012 (<http://airfoiltools.com>, 22.03.2020)

Düşük hızda gerekli taşıma kuvvetinin elde edilmesi için orta kamburlukta bir profil seçildi. Bu sayede daha düşük hızlarda uçabilme imkanı sağlandı. Yüksek kamburlukta bir profile seçilmesi durumunda daha düşük hızlara inilebilirdi ama üst hızı yüksek tutmak ve üretim kolaylığı sağlamak için orta kamburluktaki bu kanat profili seçildi.

### Aerodinamik Özellikler

- Koniklik Oranı (Taper Ratio): 1,57

İndüklenmiş sürüklenmeyi en aza indirmek ve bu sayede kanadı en verimli şekilde kullanabilmek için yapılan analizler ve araştırmalar (Güzelbey, Eraslan ve Doğru, 2019) sonucunda en uygun koniklik oranı olarak 1,57 belirlendi.

- Açıklık Oranı (Aspect Ratio): 8,6

Düşük hızlarda yüksek kaldırma kuvveti üretmek (yükü isabetli bırakabilmek için) olduğundan manevra kabiliyetinden fedakârlık ederek yüksek bir en boy oranı seçmeye karar verdik. Stall riskini azaltmak için ve üretim sınırları dahilinde çok yüksek bir en boy oranı seçilmedi. Yaptığımız analizler sonucunda en uygun kanat en boy oranının 8,6 olduğunu gördük (Lennon, 2005).

- Ok Açısı (Sweep Açısı): 4,29°

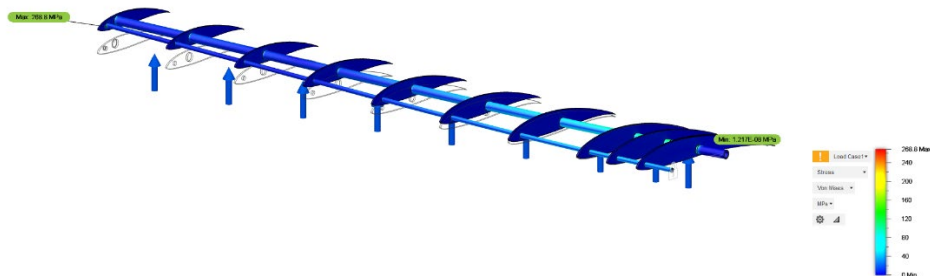
- Geliş Açısı (Angle Of Incidence): 5,5°

- Kanat Açıklığı: 160cm

- Kök Veteri: 22 cm

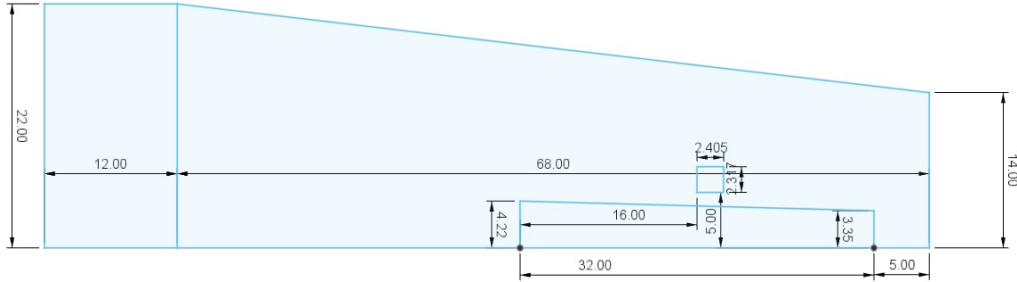
- Kanat alanı: 2976 cm<sup>2</sup>

12 m/s hızda, 45° eğilme açısıyla; İHA'nın dönüş yarıçapı minimum 8.16 m'dir. Bu manevra sırasında kanatlar 1.4G kuvvete maruz kalmaktadır. Dayanıklılık testinde kanatların 4G kuvvete kadar dayanabildiği gözlemlenmiştir (Şekil 8).



Şekil 8: Kanadın 2.6G'deki dayanıklılık grafiği

Servo motorların ailerona tel ve balıkgözü eklemle bağlanması planlandı. Aşağıdaki Şekilde servo motorların kanat üzerindeki konumu belirtilmiş ve ölçüler aktarılmıştır (Şekil 9).



Şekil 9: Aileron ve Servo Motorun Boyutlandırması

Baskı materyali olarak karbon fiber katkılı naylon filaman kullanıldı. Kullanılacak filamanın yoğunluğu  $1.2 \text{ gr/cm}^3$  tür. Kanat ve kuyruk kaplama malzemesi olarak Oracover kaplama filmi kullandı (www.oracover.de, 06.04.2020). Toplam kullanılacak kanat kaplama filmi  $0.66 \text{ cm}^2$ 'dir. Toplam kaplama filmi ağırlığı 42.5 gr'dır. Kanatta ve kuyrukta kullanılan profil ve boruların ağırlığı gösterilmiştir (Tablo 5, Tablo 6).

Kanatta Kullanılan Profil ve Borular	Ağırlık(gr)
Kanat Profilleri	67*
<b>Boruların Uzunluk ve Çapları</b>	
80cm 10x8mm Karbon Fiber Boru	73
83cm 5x3mm Karbon Fiber Boru	29

Tablo 5: Kanatta Kullanılan Profil ve Borular

\*Toplam ağırlık olarak alınmıştır.

Kuyrukta Kullanılan Profil ve Borular	Ağırlık(gr)
Yatay Kuyruk Profilleri	6.5*
45cm 6x4mm Karbon Fiber Boru	10.8
<b>Boruların Uzunluk ve Çapları</b>	
45cm 5x3mm Karbon Fiber Boru	4.8
Dikey Kuyruk Profilleri	3*
15cm 6x4mm Karbon Fiber Boru	3.6

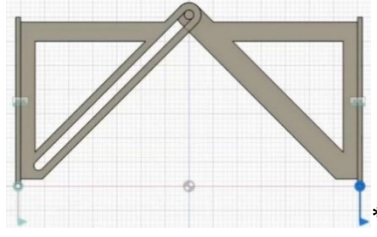
Tablo 6: Kuyrukta Kullanılan Profil ve Borular

\*Toplam ağırlık olarak alınmıştır.

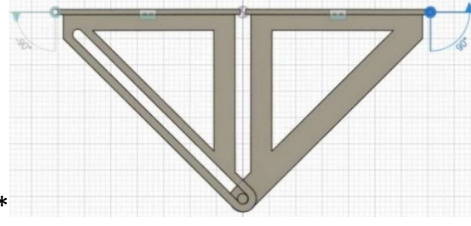
### 3.2.2 Görev Mekanizması Sistemi

Göreve uygun bir tasarım yapılırken yük bırakma mekanizması verilen topun ölçülerine göre 7cm'lik bir küp olarak tasarlandı. Kapak mekanizmasının daha güvenli çalışması için silindir bir tasarım yerine bu şekil seçildi. Küp tasarımın ön ve arka yüzeyi aynı zamanda iniş takımı ve kanat arasında giriş görevi görmektedir.

Yük bırakma mekanizması tasarım sürecinde tek ve büyük servo motor kullanımı ile birlikte kapak bağlantısında lineer dişli, ortak kapak ray mekanizması ve telle bağlama yöntemleri denendi (Şekil 10, Şekil 11, Şekil 12).



Şekil 10: Kapaklar Açık

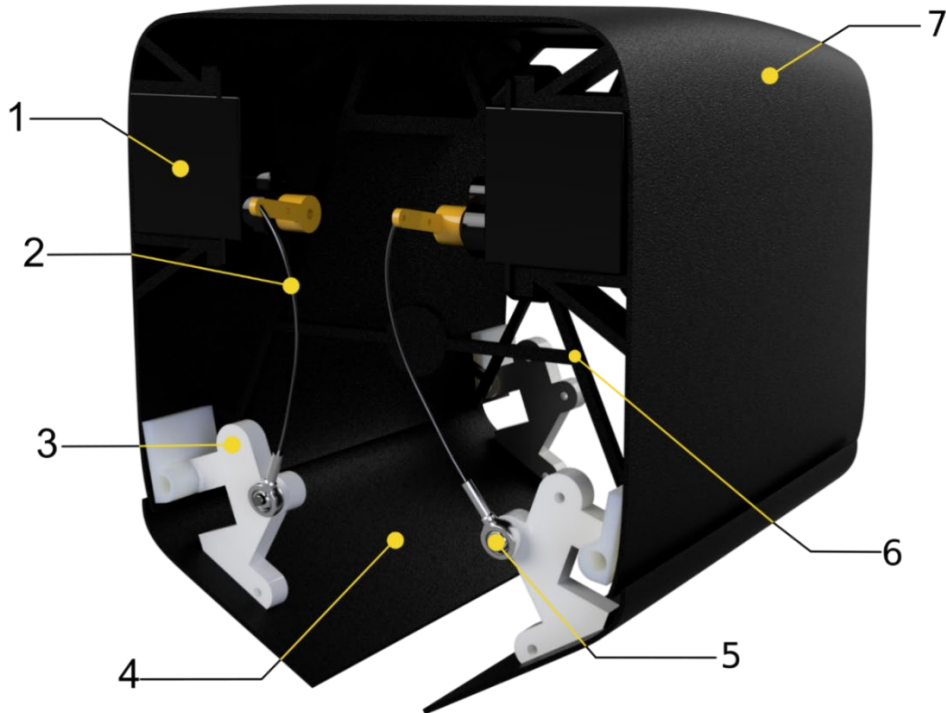


Şekil 11: Kapaklar Kapalı



Şekil 12: Perspektif çizim

Daha basit, güvenilir ve hafif olması açısından mekanizmada değişikliğe gidildi. Mekanizmanın güvenilirliği açısından iki adet küçük motor ile tel yönteminde karar kılındı. Bu şekilde daha sağlam ve hafif bir mekanizma elde edildi. Kapaklar kapalı iken tel servo motor başlığına dik konumda durarak, motorların sürekli yük altında beklemesi önlenip yanma ihtimali ortadan kalktı ve enerji tasarrufu sağlandı.



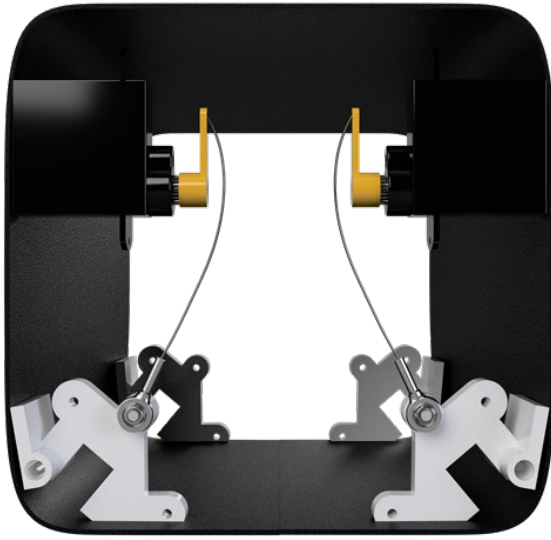
Şekil 13: Yük Bırakma Mekanizması Bileşenleri

**[1] Servo Motor:** 2 adet Power HD-DSM44 servo motor kullanıldı. Motorlar için gerekli sinyal ve güç uçuş kontrolcüsü üzerinden alınıyor. Bu servo motorlar sistemde eksen değiştirerek kapağı açıyor. Bu sayede yükün bırakılması sağlanıyor (Şekil 13).

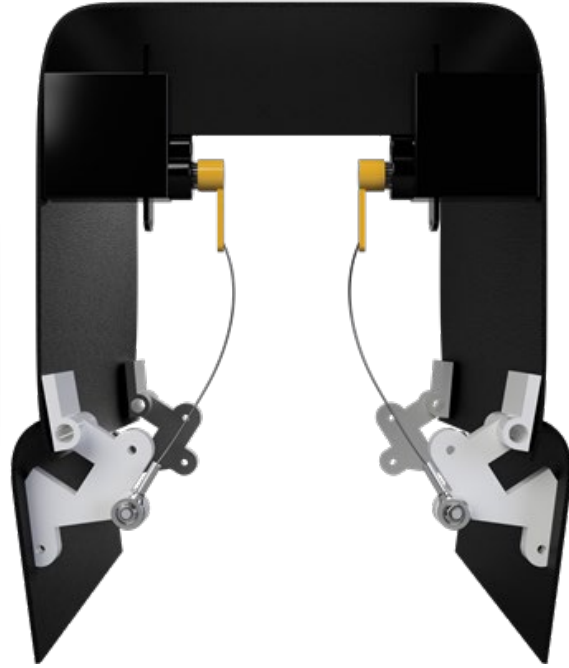
**[2] Kontrol Teli:** Motorlar kapak menteşelerine tel ile bağlandı (Şekil 13).

**[3] Balıkgözü Eklem:** Teller menteşelere bağlanırken balıkgözü eklem kullanıldı (Şekil 13).

**[4] Kapak:** Kapaklar türbülans oluşturmamak ve topu kabin içinde tutmak için kullanılmaktadır (Şekil 13, Şekil 14, Şekil 15).



Şekil 14: Kapak Kapalı Model

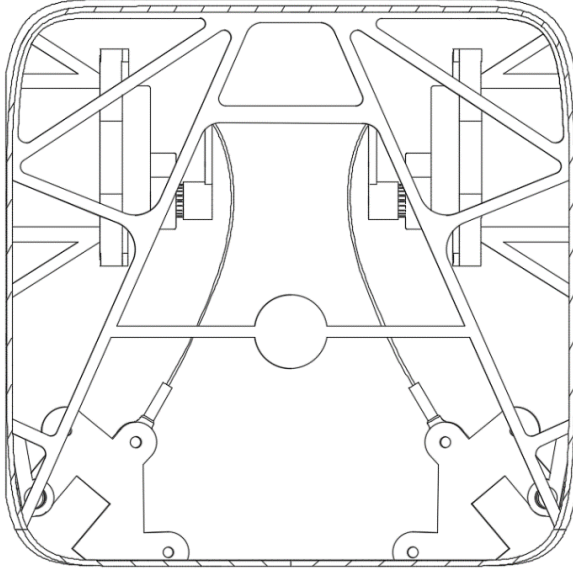


Şekil 15: Kapak Açık Model

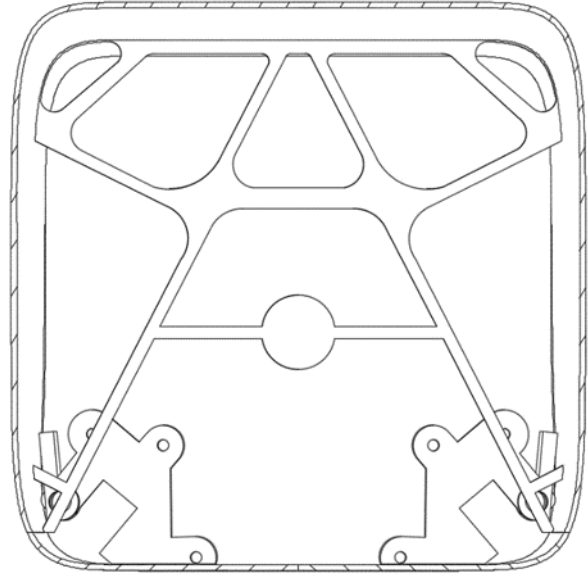
**[5] Kapak Menteşesi:** Kapaklara bu menteşe 4 tane eklendi. Servo motorlara bağlı menteşeler kapakları açıp kapatma görevi görmektedir. Menteşeler yük bırakma sırasında yükü engellemek için uygun konumlandırıldı. Menteşeler gövde doğrultusu ile 2° derece açı yapacak şekilde konumlandırıldı. Kapak menteşeleri hazır alınacak olup yük mekanizmasında uygun konumlandırılabilmesi için üzerlerinde gerekli düzenlemeler yapılacaktır (Şekil 13).

**[6] Ön ve Arka Duvar:** Yük taşıma sisteminin ön ve arka duvarı topu merkezde tutmaktadır. Tasarımda ortada bulunan daire bu amaçla tasarlanmıştır (Şekil 16, Şekil 17). Aynı zamanda bu duvarlar gövdeye desteklik sağlaması için topoloji optimizasyonu tekniğiyle tasarlanmıştır. Aşağıda analizleri yer almaktadır (Şekil 18, Şekil 19). Analizler yapılırken gövde kapak kesim noktalarından sabitlenerek kanat bağlantı bölümüne basınç uygulandı.

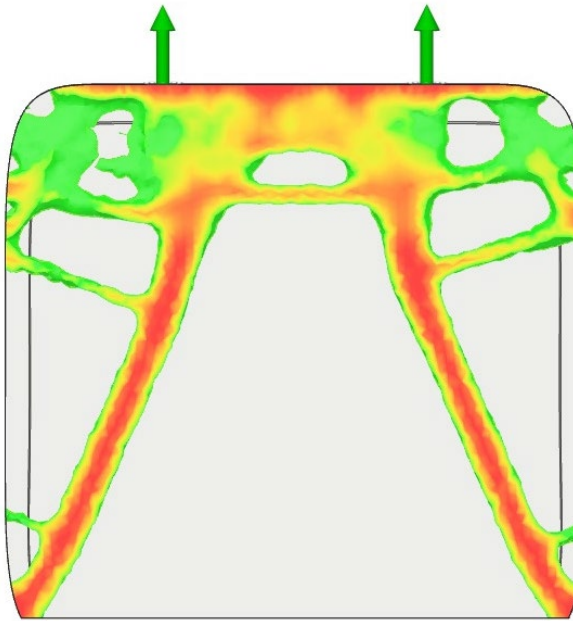




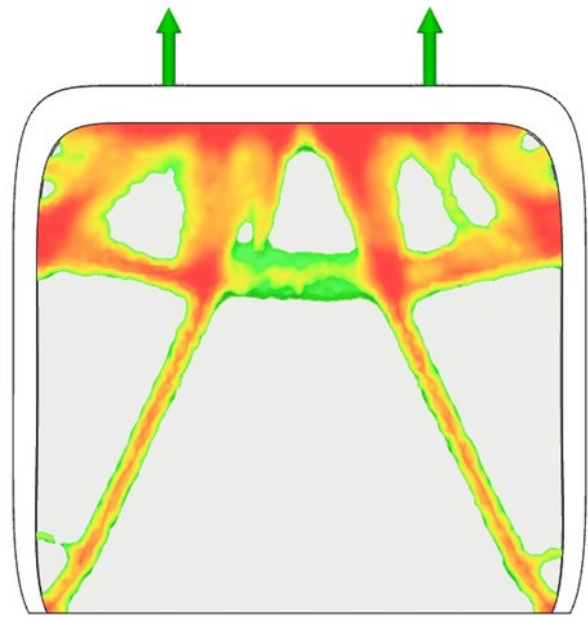
Şekil 16: Ön Duvar Çizimi



Şekil 17: Arka Duvar Çizimi



Şekil 18: Ön Duvar Topoloji Analizi



Şekil 19: Arka Duvar Topoloji Analizi

**[7] Kabin:** Yük bırakma sistemini içinde bulunduran kabin tasarlanırken yük ölçüleri referans alındı (Şekil 13).

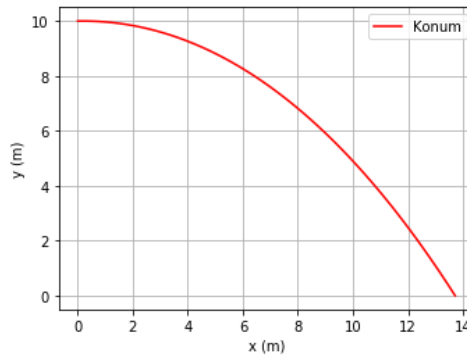
Yük Bırakma mekanizmasının, otonom olarak yükü istenen konuma bırakabilmesi için hava sürtünmesinin de dahil olduğu bir algoritma geliştirilmesi planlanmıştır. Bu algorithmada yük düşme süresinin hesaplanması şekildeki formül kullanılarak yapılacaktır (Şekil 20). Yükün isabet edeceği nokta hesaplanırken bu

formülden yararlanılmıştır. Hesaplama adımları ve algoritma oluşturulurken şu kaynaktaki kod parçacığı kullanılmıştır.

$$t = \frac{m}{k} + \frac{v_{yo}}{g} + \frac{m}{k} W \left( - \left( 1 + \frac{kv_{yo}}{mg} \right) e^{-\left( 1 + \frac{kv_{yo}}{mg} \right)} \right).$$

Şekil 20: Yüğü Bırakmak İçin Kullanılan Zaman Hesaplama Formülü (<https://en.wikipedia.org>, 15.03.2020)

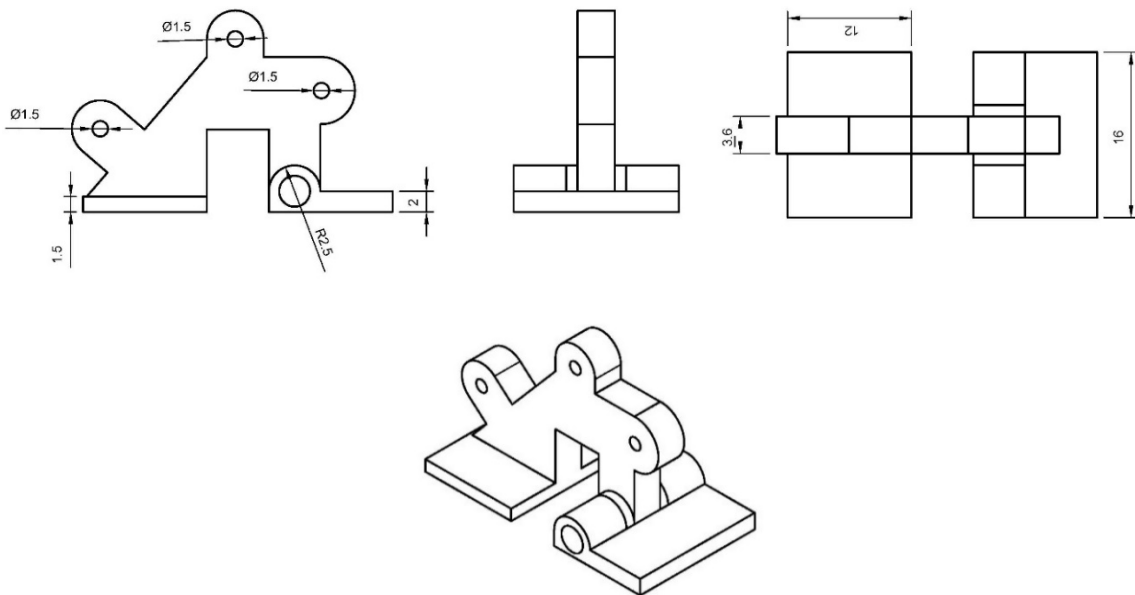
Kodlar 10 m/s yatay hızla 10 metre irtifadan serbest düşüş şartlarında çalıştırılarak denenmiştir. Bu şartlar altında oluşan örnek düşüş yörüngesi elde edilmiştir (Şekil 21).



Şekil 21: Yüğü Yörüngesi Simülasyonu

## Boyutsal Resimler

### - Kapak Menteşesi

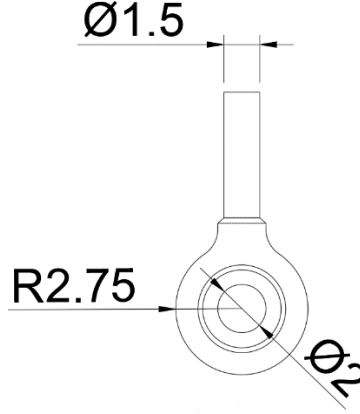


Şekil 22: Kapak Menteşesi



### -Balıkgözü Eklem

M2 tipi balık gözü eklem kullanılmıştır.



Şekil 23: Balıkgözü Eklem

### 3.2.3 Elektrik Elektronik Kontrol ve Güç Sistemleri Entegrasyonu

İHA'nın görevlerini gerçekleştirebilmesi ve otonom uçuşu kontrol edebilmesi için uçuş kontrol kartı olarak hızlı olduğu ve yaygın kullanıldığı için Pixhawk 2.4.8 uygun görüldü. İHA'ya gereken gücü sağlayabilmek için 1500 mah lityum polimer pil tercih edildi. Uçuş kontrol kartını paralel olarak beslemek ve bataryanın anlık gerilim ve akım bilgisini ölçmek için güç modülü kullanıldı.

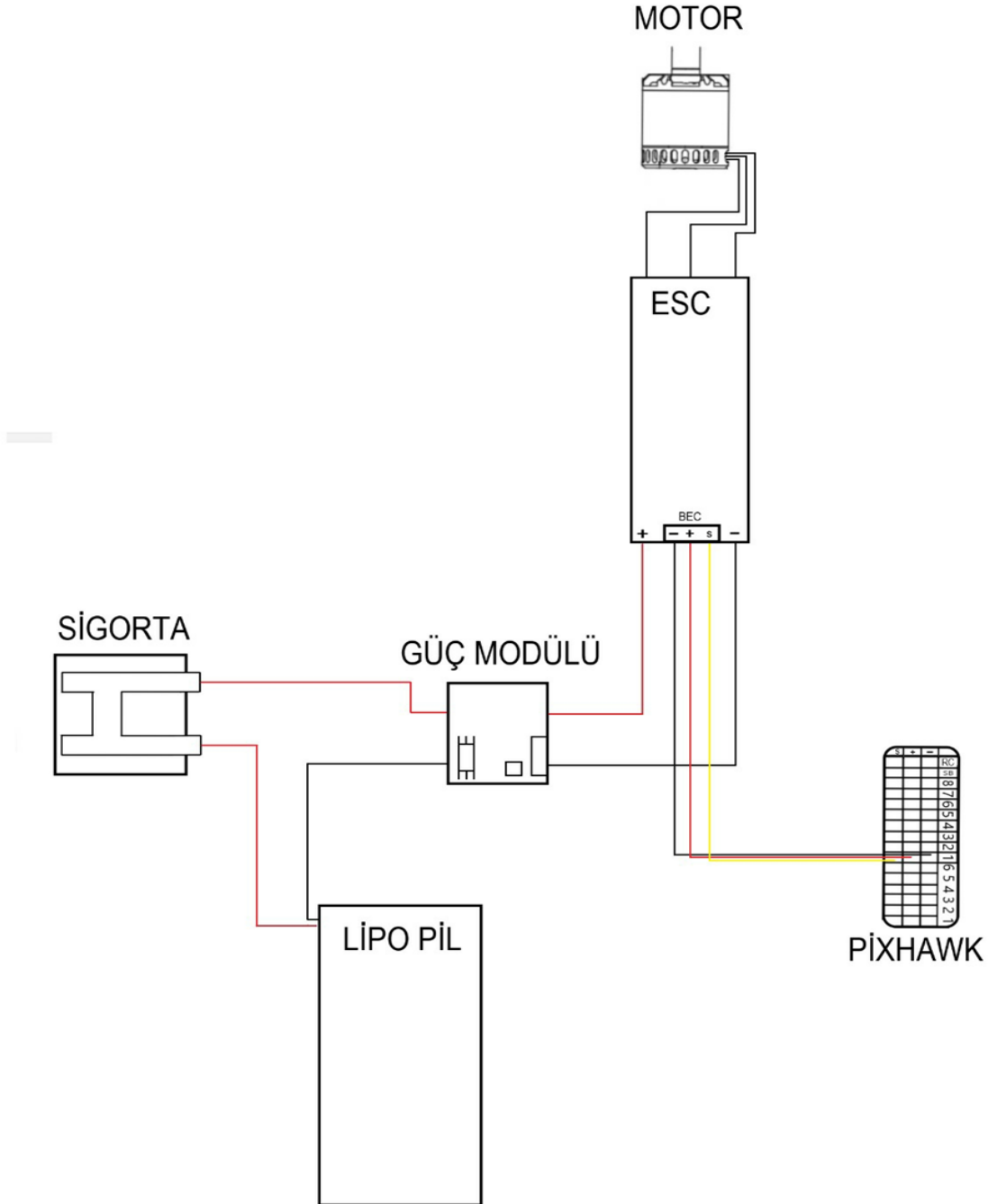
Pixhawk üzerindeki I2C girişine birden fazla bileşen bağlantısını yapabilmek için I2C çoklayıcı kullanıldı. Düzenli olarak kodlanmış bilgi yollayarak dünya üzerindeki kesin yeri tespit etmeyi mümkün kılan GPS olarak iç kartı M8N olan Radiolink marka TS100 GPS kullanıldı. 50-55 mA arasında çalışabilen TS100'ün 5 kilometre menzili bulunmaktadır (radiolink.com, 04.05.2020). GPS araç üzerinde konum verisi, yere göre hız verisi ve yükseklik verisi elde edebilmek için bulunmaktadır. İniş ve kalkış esnasında daha hassas bir yükseklik verisine sahip olabilmek için VL53L0X model lazer mesafe algılayıcısı kullanıldı. 10 mA'den 40 mA' e kadar çalışabilen VL53L0X lazer mesafe algılayıcı 3 cm ile 2 metre arasında ölçüm yapabilmektedir (www.st.com, 05.05.2020).

Hava hızını elde etmek için MATEK marka ASDP 7002 model hava hız algılayıcısı kullanıldı. 20mA'de çalışan hava hız algılayıcısı 200km/s (-200km/s) hıza kadar ölçüm yapabiliyor (www.mateksys.com, 06.05.2020).

Yer istasyonu ile İHA arasında iletişimi sağlamak için 915 Mhz frekansta çalışan, 100 Mw, açık kaynak destekli 3DR marka telemetri modeli seçildi. Aracın pilot tarafından yönlendirilebilmesi için kumanda-alıcı uyumlu olarak Flysky marka x14s model alıcı ve Flysky marka i6S model kumanda seçildi. Alıcının 1km menzili ve 10 farklı kanalı bulunmaktadır (www.flysky-cn.com, 07.05.2020)

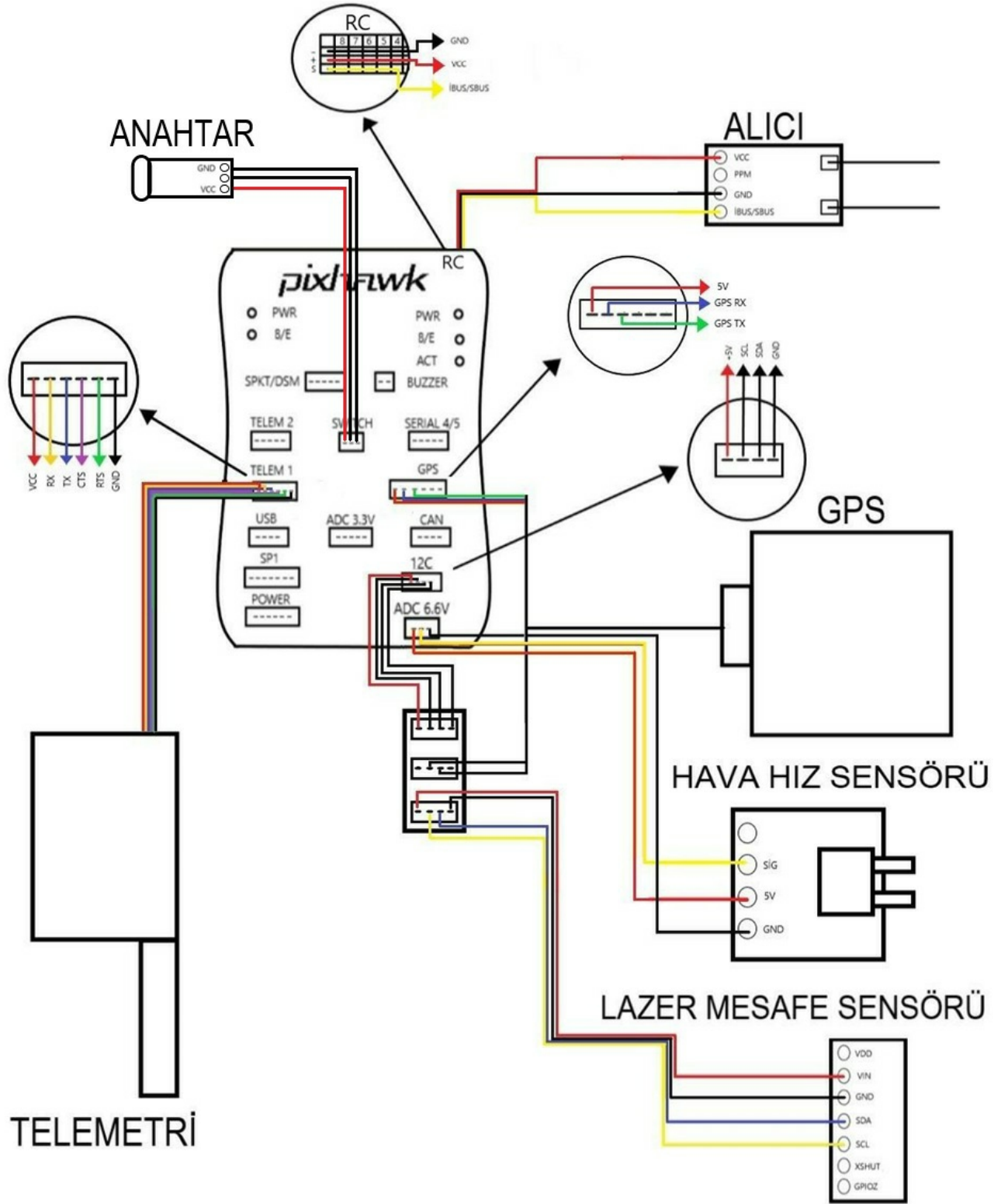
Yük kapakları ve rudder için 6 gr ağırlığındaki 1.60 kg/cm torklu Power HD-DSM44; aileronlar ve elevator için 12.4 gr ağırlığındaki 2.3 kg/cm torklu Emax ES3352; ön teker için de 13.4 gr ağırlığındaki 1.8 kg/cm torklu MG90 servo motor tercih edildi.

### Güç Şeması



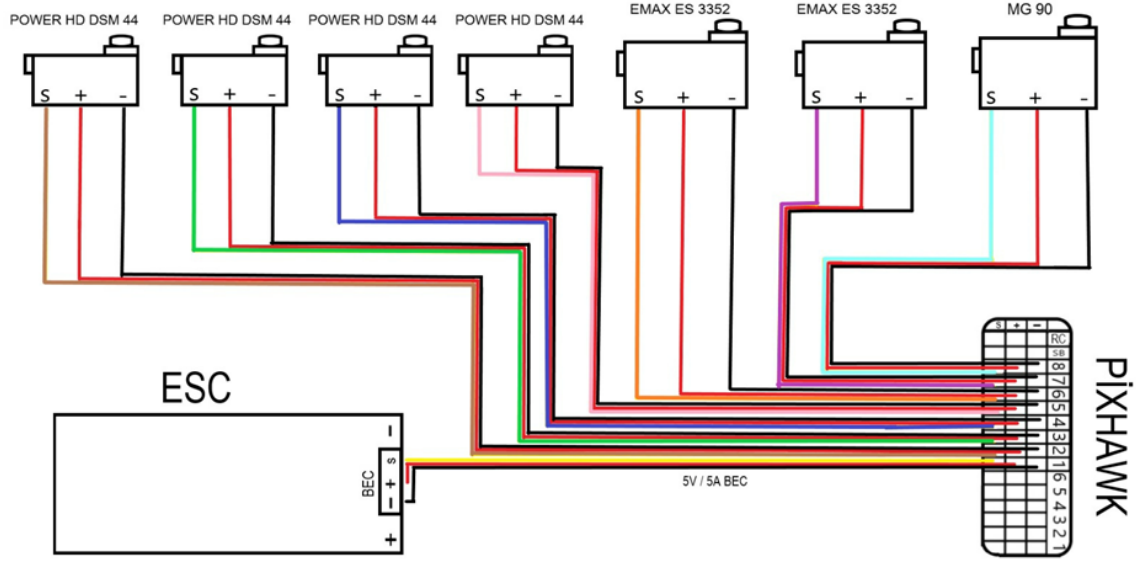
Şekil 24: Güç Şeması

## Kontrol Şeması



Şekil 25: Kontrol Şeması

## Servo Motor Bağlantı Şeması



Şekil 26: Servo Motor Bağlantı Şeması

### 3.3 Uçuş Performans Parametreler

Ansys ve Xflr5 programı kullanarak hava yoğunluğu  $1.225 \text{ kg/m}^3$ , sıcaklık  $288.16 \text{ K}$ , havanın viskozitesinin  $1.7894 \times 10^{-5} \text{ kg/(m}\cdot\text{s)}$  olduğu koşullarda sürüklenme/hız grafiği hücum açısı  $0$  ile  $10$  derece olduğu durumlardaki kaldırma kuvveti/hız grafikleri aşağıda yer almaktadır. Yük gövde içinde bulunduğu için görevler için ayrı ayrı sürtünme grafikleri oluşmamıştır. Yapılan analizler İHA'nın pervanesi takılmadığı duruma göre yapılmıştır. 1. görev sırasında kanat yüklemesi  $3,696 \text{ kg/m}^2$ 'dir. 2. görev sırasında kant yüklemesi  $4,032 \text{ kg/m}^2$ 'dir.

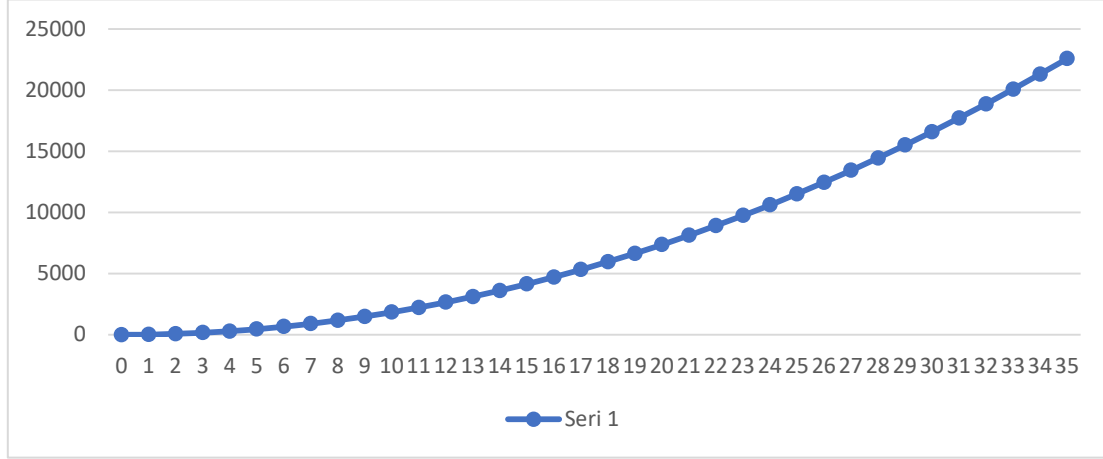
#### 0° Hücum Açısında Sürüklenme/Hız Grafiği

İHA'nın sürüklenme katsayısı Ansys analizinde  $0.022$  bulunmuştur. Bu değere göre yapılan sürüklenme/hız grafiği aşağıdaki gibidir (Şekil 27). Üst hız tabloda görüldüğü gibi  $35 \text{ m/s}$  ye denk gelmektedir. Seyir hızımız olan  $15 \text{ m/s}$  de motor kapasitesinin %11 kullanılarak verimlilik sağlanmıştır.

Şekil 27: 0° Hücum Açısında Sürüklenme/Hız Grafiği

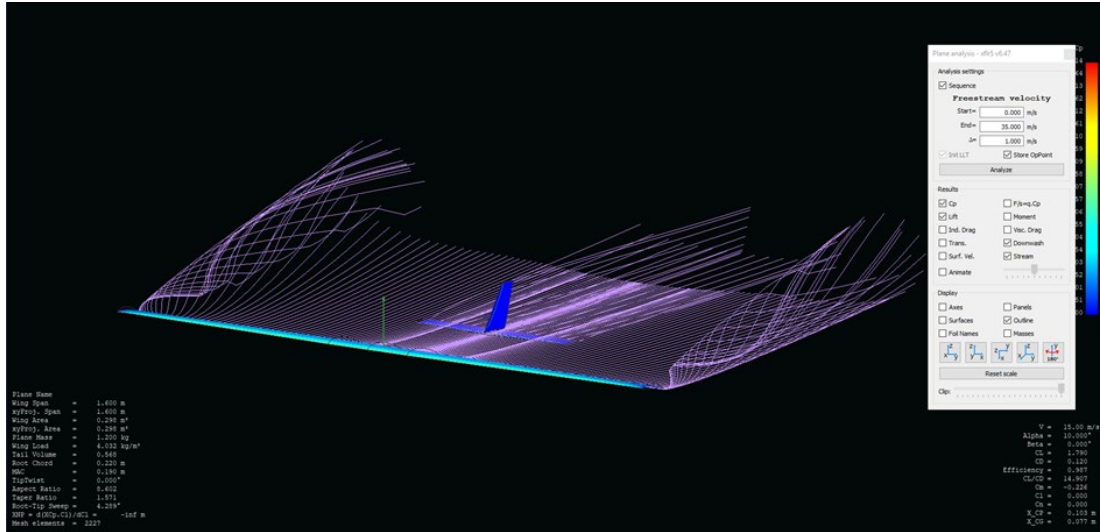
### 0° hücum açısında Kaldırma Kuvveti/Hız grafiği

İHA'nın taşıma katsayısı Ansys analizinde 0.295 bulunmuştur. 8,3 m/s aracımızın havada tutunabileceği en düşük hızdır (Stall) (Şekil 28).



Şekil 28: 0° hücum açısında Kaldırma Kuvveti/Hız grafiği

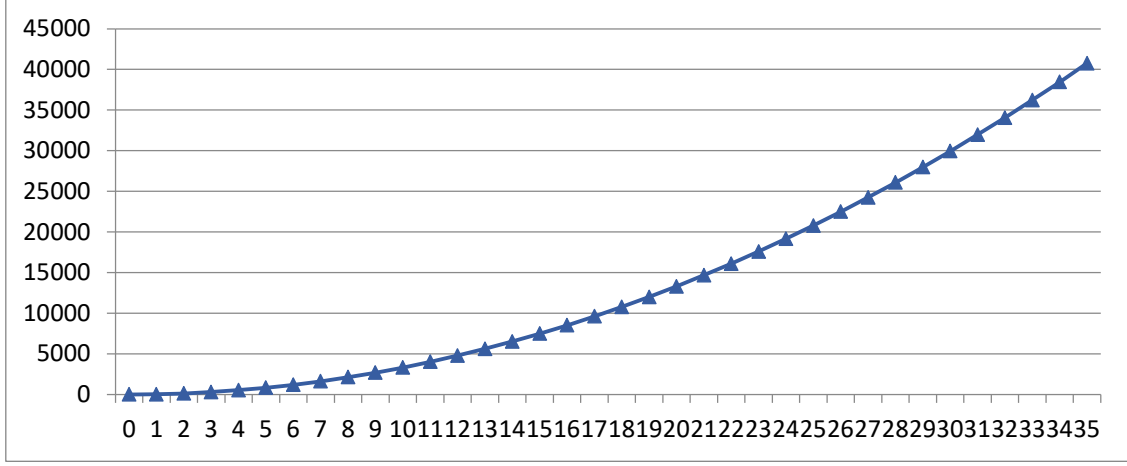
Aerodinamik denge analizi yapılmıştır (Şekil 29).



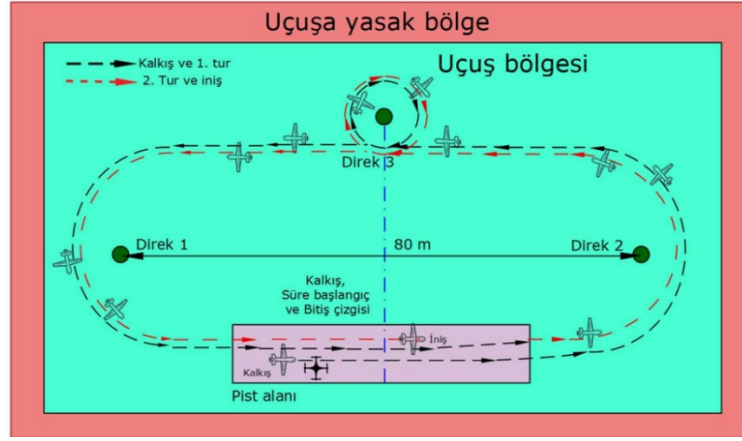
Şekil 29: Xflr5 VLM Analizi

### 10° Hücum Açısında Kaldırma Kuvveti/Hız Grafiği

İHA'nın iniş ve kalkışlarda 10° hücum açısını kullanacağı için Xflr5 programı kullanarak hava yoğunluğu 1.225 kg/m<sup>3</sup> sıcaklık 288.16K viskozite 1.5e-05 kg/(m·s) olduğu koşullarda oluşan grafik aşağıdaki gibidir. Kalkış hızımız 7 m/s'dir (Şekil 30). %57 motor gücünde elde edilen 1 kg itki ile kalkış süremiz 3 saniye olarak hesaplanmıştır. Buna göre kalkarken 12 m yol alınmaktadır (Anderson, 2016).

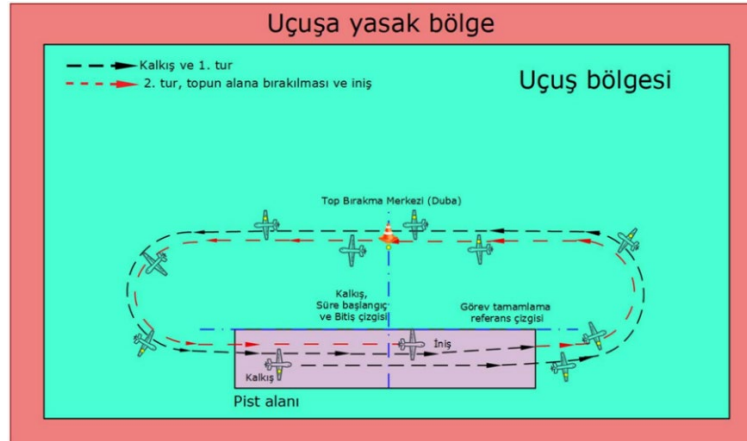


Şekil 30: 10° Hücüm Açısında Kaldırma Kuvveti/Hız Grafiği



Şekil 31: 1. Görev Sırasında İzlenecek Yol (TÜBİTAK, 2020)

Şekildeki (Şekil 31) ve etkinlik kurallarında belirtilen ölçülere göre yapılması planlanan 1. görevde İHA'nın havada kalması süresi 60 saniye olarak belirlenmiştir.



Şekil 32: 2. Görev Sırasında İzlenecek Yol (TÜBİTAK, 2020)

Şekildeki (Şekil 32) ve etkinlik kurallarında belirtilen ölçülere göre yapılması planlanan 2. görevde, İHA'nın topu bırakabilmesi için 60 saniye havada kalması planlanmıştır.

Prop(inch)	Voltage(V)	Amps(A)	Thrust(gf)	Watts(W)	Efficiency(g/W)	RPM	Load temperature in 100% throttle
APC10*4.7	11.1	0.8	100	8.88	11.26	2570	87°C 1min40s
		1.8	200	19.98	10.01	3568	
		3.1	300	34.41	8.72	4230	
		4.8	400	53.28	7.51	4842	
		6.5	500	72.15	6.93	5364	
		8.5	600	94.35	6.36	5781	
		10.9	700	120.99	5.79	6251	
		13	800	144.3	5.54	6616	
		15.8	900	175.38	5.13	6962	
		18.5	1000	205.35	4.87	7227	
		21.8	1100	241.98	4.55	7629	
		24.8	1200	275.28	4.36	7924	
		27.6	1300	306.36	4.24	8244	
		32.3	1400	358.53	3.90	8542	
		36.3	1500	402.93	3.72	8789	
		42.7	1750	473.97	3.69	9332	

Tablo 7: Motor İtici Tablosu (www.sunnyskyusa.com, 12.04.2020)

İHA'nın genel seyir hızı 15 m/s'dir. Buna göre anlık 400 itki kuvvetini verebilmesi gerekir(Şekil 29). Tabloya göre bu itkiyi vermesi için motor 4.8 amperde 53.28 watt güç harcamaktadır (Tablo 7). Buna göre pilin görevler sırasında havada kalabilmesi için yaklaşık 2 dakika boyunca 4.8 amper verebilmesi gerekmektedir. Seçilen motorun (Sunnysky x2216 v3 1250kv) üreticisi tarafından yapılan testlerde 3S batarya kullanılması ve genellikle 3 hücreli bataryanın önerilmesinden dolayı 3 hücreli bir batarya kullanımı tercih edilmiştir. Bu yüzden pil seçimi yapılırken bu durum göz önünde bulundurulmuştur.

**“Pil Kapasitesi[mah] x 1000 = Uçuş Süresi[dk] x çekilen akım(A) /60”** formülüyle görevler için gerekli pil kapasitesinin, güvenlik önlemleri ve diğer elektronik bileşenler için gerekli enerji dahil edildiğinde en az 300mah olması gerektiği bulunmuştur.






























Araç ön motorunun anlık en fazla 42 amper akım çekebildiği bilinmektedir (Tablo 7). Bu değere servo motorlar ve diğer elektronik bileşenler için gereken akım eklendiğinde Li-Po pilin anlık vermesi gereken akım değeri 45A olarak belirlenmiştir. Bu şartları sağlayan piyasada bulunan Li-Po piller listelenmiştir (Tablo 8).

Pil	Ağırlık[gr]	Fiyat
Turnigy nano-tech 1500 mah 3S 35C Li-Po Batarya	129	18.03\$(125₺)
ZDP Power 1500mah 3S 40C Li-Po Batarya	138	179₺

Tablo 8: Piyasadaki Uygun Li-Po Piller

Bu listeye göre maliyet ve ulaşılabilirlik imkanları göz önünde bulundurulduğunda ZDP Power 1500mah 3S 40C Li-Po Batarya seçilmiştir.

### 3.4 Hava Aracı Maliyet Dağılımı

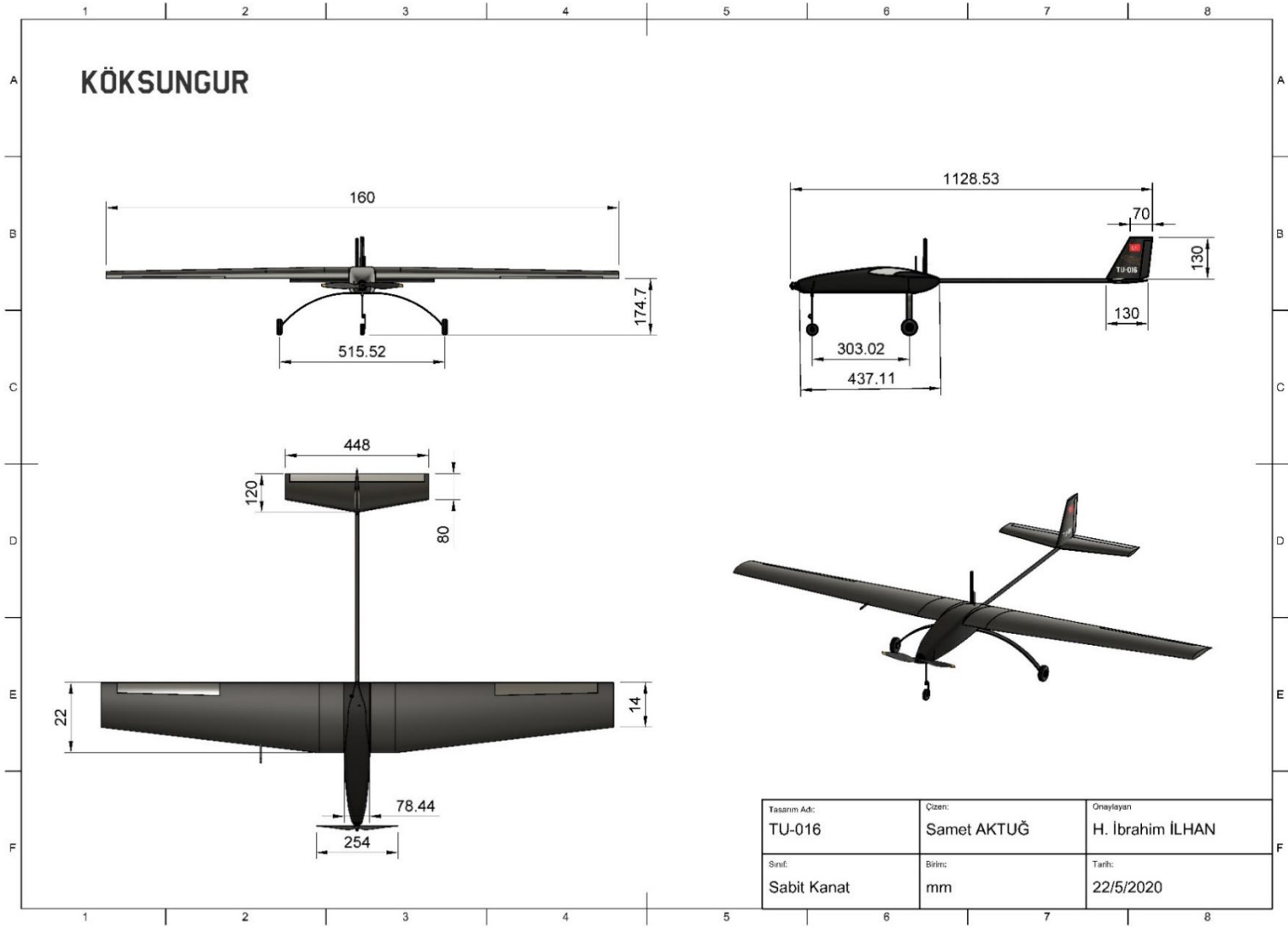
NO	Malzeme Resmi	Parça Adı	Birim Fiyatı [₺]	Miktar	Toplam Fiyatı [₺]*
1		Pixhawk 2.4.8 Uçuş Kontrolcüsü	276	1	276
2		Sunnysky X2216 V3 1250kv Motor	172	1	172
3		Flysky FS-i6S Kumanda	465	1	465
4		Flysky FS-X14S	151	1	151
5		ZDP Power 1500mah 3s Li-Po Batarya	179	1	179
6		Emax 3352 Servo Motor	94	3	282
7		MG90 Servo Motor	14	1	14
8		Power DSM44 Servo Motor	108	3	224
9		Hobbywing Skywalker 50A ESC	201	1	201
10		Güç Dağıtım Kartı	25	1	25
11		3DR telemetry Modülü	126	1	126
12		Radiolink TS100 mini M8N	163	1	163
13		I2C Çoklayıcı	20	1	20
14		Matek ASPD-7002 Hava Hız Algılayıcı	163	1	163
15		Lazer Mesafe Algılayıcısı	65	1	65
16		APC1047 Pervane	15	1	15
17		Pixhawk İçin Anahtar	11	1	11
18		32 mm Tekerlek	5	1	5
19		50 mm Tekerlek	8	2	16
20		M2 Single Cub B Vida Seti (10'lu)	31	1	31
21		İniş takımı Stoper (10'lu)	25	1	25
22		Şaft Kaplini 3.17mm	11	1	11
23		Ön Tekerlek Dirseği 4mm	30	1	30
24		Arka İniş Takımı	75	2	150
25		Esun Epa-CF Filaman 1.75mm (1kg)	300	1	300
26		Oracover Kaplama Filmi	80	1	80
27		Karbon Fiber 6x4mm Boru (1m)	55	2	110
28		Karbon Fiber 3mm Çubuk (1m)	25	2	50
29		Karbon Fiber 10x8mm Boru (1m)	55	3	165
30		Karbon Fiber 5x4mm Boru (1m)	55	2	110
<b>Toplam</b>					<b>3635</b>

Tablo 9: Maliyet Tablosu

\*06.06.2020 tarihindeki kur fiyatlarına göre hesaplanmıştır.

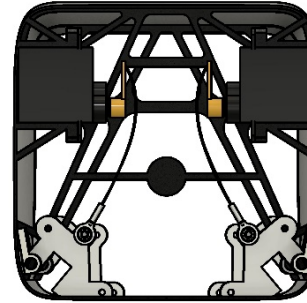
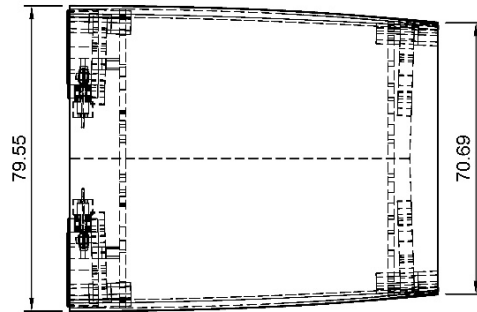
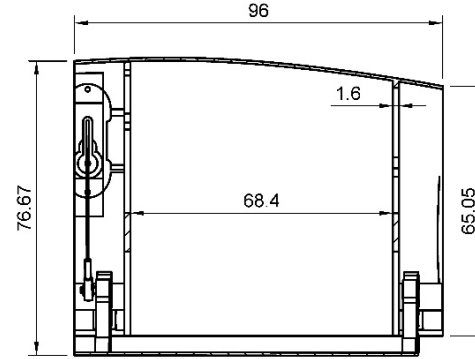
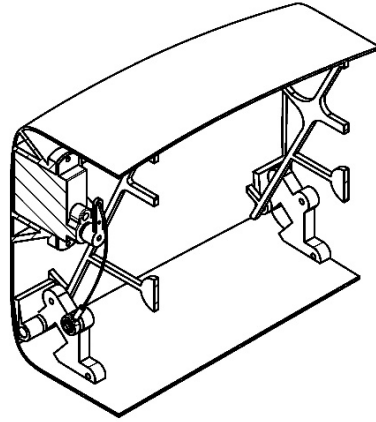


### 3.5 Teknik Çizimler



Şekil 33: Genel Tasarım Çizimleri

KÖKSUNGUR



Tasarımın Adı:	Çizen:
Yük Bırakma Mekanizması	Halil İbrahim İLHAN
Birim:	Tarih:
mm	13/05/2020

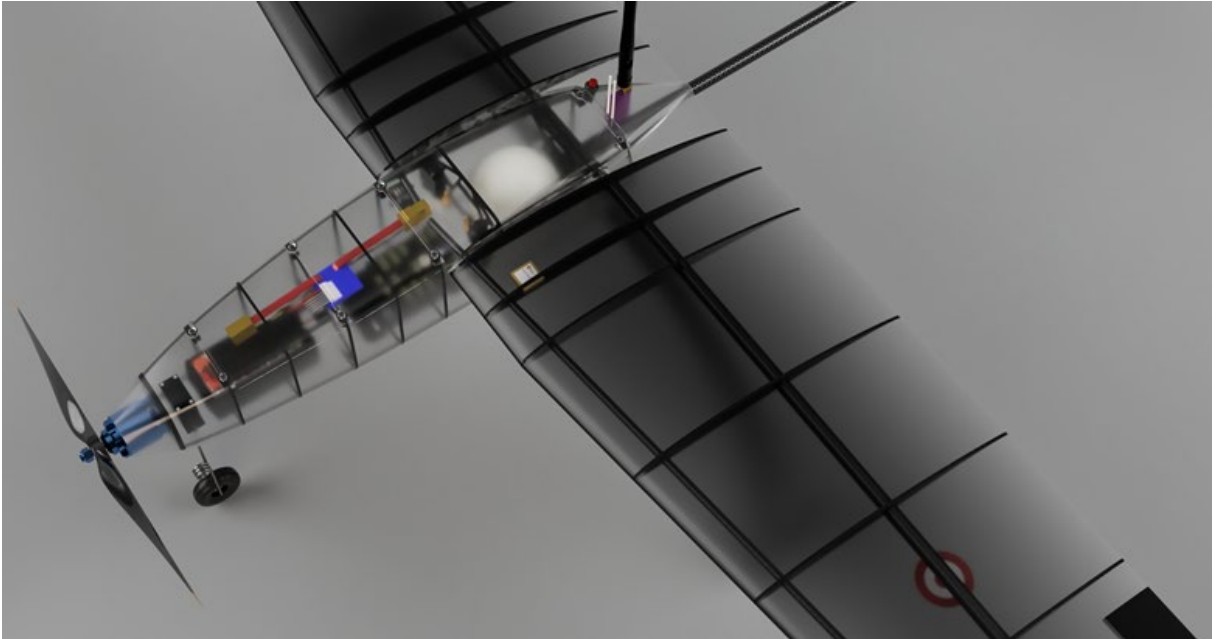
Şekil 34: Yük Bırakma Mekanizması Çizimleri



Şekil 35: Yük Bırakma Mekanizmasının Perspektif Görünümü

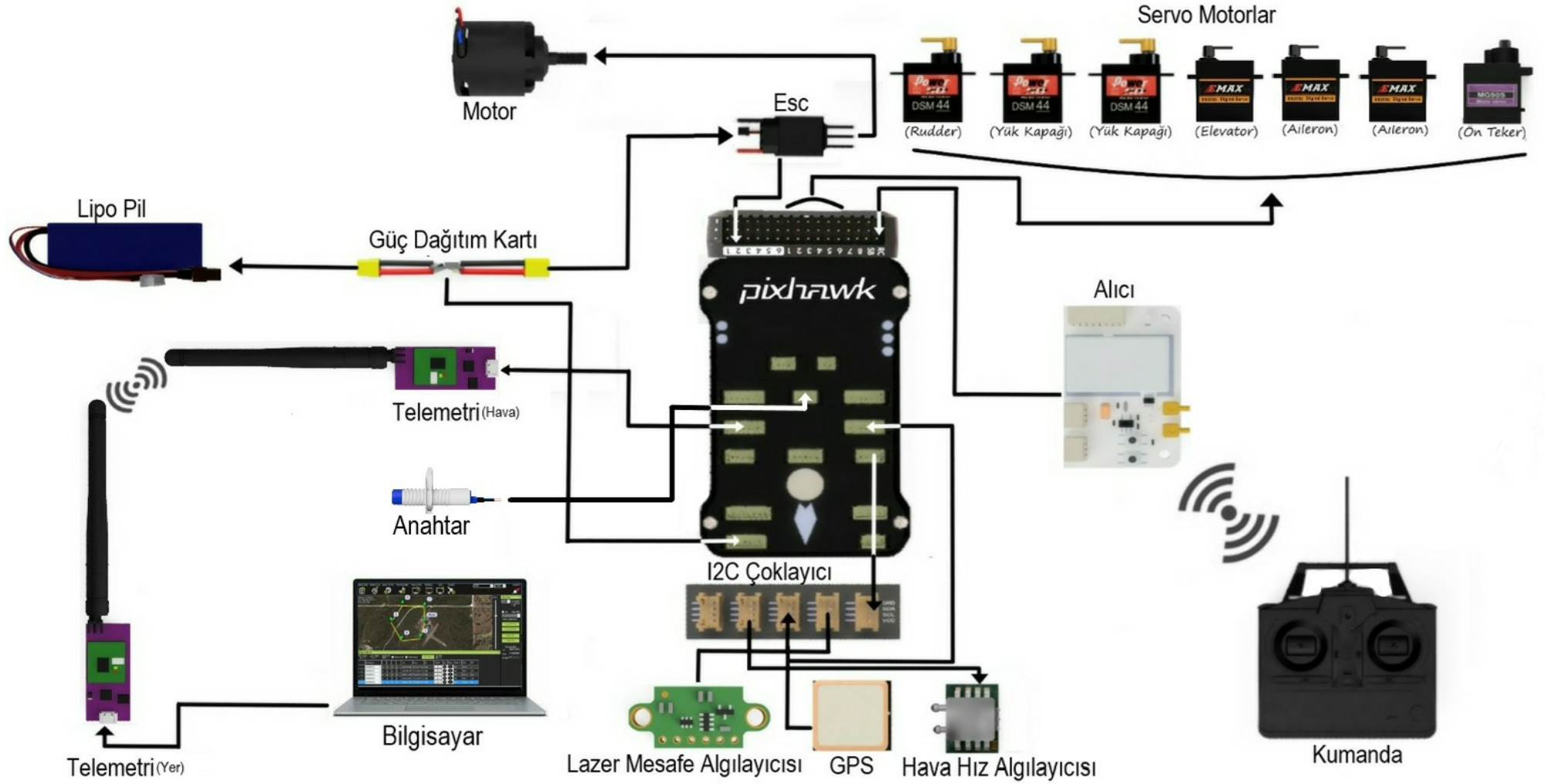


Şekil 36: İHA Genel Görünüm



Şekil 37: İHA İç Tasarım Görünüm

## Genel Sistem Şeması



Şekil 38: Genel Sistem Şeması

### 3.6 Kaynakça

Analog Airspeed Sensor Aspd-7002 <http://www.mateksys.com/?portfolio=aspd-7002> erişim tarihi: 06.05.2020

Anderson, J.D. (2016). Introduction to Flight (Çev. Yükselen A.). Ankara: Nobel Yayınları

FS-X14S <https://www.flysky-cn.com/x14s-canshu> erişim tarihi:07.05.2020

Güzelbey, H.İ., Eraslan, Y. ve Doğru, M.H. (2019). Effects of Taper Ratio on Aircraft Wing Aerodynamic Parameters: A Comparative Study, European Mechanical Science, 3 (1), 18-23  
Erişim Adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/ems/issue/40622/487516>

Lennon, A. (2005). The Basics of R/C Model Aircraft Design, Ridgefield, USA: Air Age Media.

NACA 0012 Airfoils (n0012-il) <http://airfoiltools.com/airfoil/details?airfoil=n0012-il> erişim tarihi:22.03.2020

Oracover Product Information <https://www.oracover.de/downloads/get/359/weight-table> erişim tarihi: 06.04.2020

Projectile motion  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Projectile\\_motion#Trajectory\\_of\\_a\\_projectile\\_with\\_air\\_resistance](https://en.wikipedia.org/wiki/Projectile_motion#Trajectory_of_a_projectile_with_air_resistance) erişim tarihi: 15.03.2020

Radiolink (TS100 Mini M8N GPS)  
<http://radiolink.com.cn/doce/UploadFile/ProductFile/TS100Manual.pdf> erişim tarihi:04.05.2020

Raymer, D.P (1989). Aircraft Design: A Conceptual Approach. California, USA: American Institute of Aeronautics and Astronautics.

S4022 (s4022-il) <http://airfoiltools.com/airfoil/details?airfoil=s4022-il> erişim tarihi:21.03.2020

SunnySky X2216 V3 Brushless Motors <https://sunnyskyusa.com/products/sunnysky-x2216> erişim tarihi:12.04.2020

TÜBİTAK (2020). 1. TÜBİTAK Liselerarası İnsansız Hava Araçları Yarışması Etkinlik Kuralları 2020, erişim tarihi:02.04.2020,  
<http://ihaliseler.tubitak.gov.tr/assets/ihaliseler-kurallar-kitapcigi.pdf>

VL53L0X <https://www.st.com/resource/en/datasheet/vl53l0x.pdf> erişim tarihi:05.05.2020