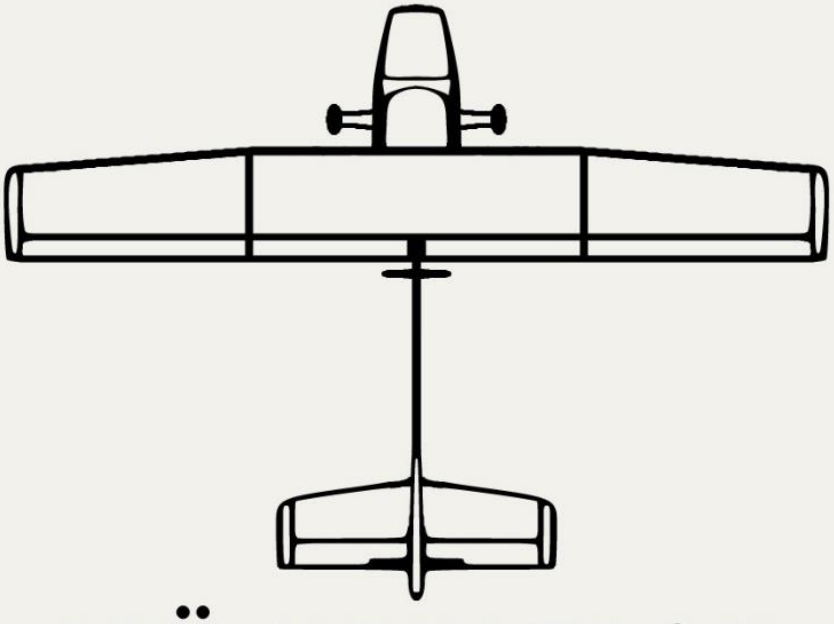


ERÜ MEKATRON

TEKNOFEST 2021 ULUSLARARASI İNSANSIZ HAVA ARACI YARIŞMASI

DETAYLI TASARIM RAPORU

2021

İÇİNDEKİLER TABLOSU

1.PROJE ÖZETİ..... 3
1.1.TASARIMDA İZLENEN YÖNTEM 3
1.2.TAKIM ORGANİZASYONU 4
1.3. İŞ AKIŞ ÇİZELGESİ 4
2. DETAYLI TASARIM..... 5
2.1. TASARIMIN BOYUTSAL PARAMETRELERİ 5
2.2. GÖVDE VE MEKANİK SİSTEMLER 7
2.3. AERODİNAMİK, STABİLİTE VE KONTROL ÖZELLİKLERİ.....10
2.4. GÖREV MEKANİZMASI SİSTEMİ.....14
2.5. ELEKTRİK, ELEKTRONİK KONTROL VE GÜÇ SİSTEMLERİ.....15
2.6. HEDEF TESPİT VE TANIMA SİSTEMİ.....17
2.7. UÇUŞ PERFORMANS PARAMETRELERİ 19
2.8. HAVA ARACI MALİYET DAĞILIMI 20

1.PROJE ÖZETİ

ERÜ MEKATRON takımı, Arş.Gör. Burak Ulu danışmanlığında 2018 yılında Erciyes Üniversitesi Mekatronik Mühendisliği Bölümü öğrencilerinden oluşan ekip ile kurulmuş olup 2021 yılında 3. kez uluslararası İnsansız Hava Aracı Yarışmasına katılmak için çalışmalarını sürdürmektedir. 2021 Teknofest İHA Yarışmasına hazırlanan takımın üye sayısı 7 olup takım kaptanı ve pilotu Sefa TEMÜR'dur. ERÜ MEKATRON takımı tasarım, mekanik, elektronik ve yazılım olmak üzere 4 alt birimden oluşmaktadır, takım içerisindeki tüm öğrencilerin bilgi ve becerileri doğrultusunda görev dağılımı yapılmış ve bununla beraber takım üyelerinin AR-GE çalışmaları başlamıştır. Tasarlanan insansız hava aracının her aşaması akademik danışman Burak Ulu tarafından takip edilmektedir. ERÜ MEKATRON takımının başka bir amacı ise Mekatronik Mühendisliği Bölümü öğrencilerinin uygulamalı olarak tasarım, yazılım ve elektronik alanlarında çalışabileceğini göstermek ve karşılaşabilecekleri sorunlara çözüm üretme kabiliyetlerini pekiştirmektir.

1.1.TASARIMDA İZLENEN YÖNTEM

Tasarlanan aracın yarışmadaki görevleri en iyi şekilde yerine getirebilmesi için takım üyeleri önceki yarışmalar için tasarlanan hava araçlarının yarışma performanslarını ayrıntılı bir şekilde incelemiştir. Bu incelemeler sonucunda tasarlanan insansız hava aracının düşük ağırlıklı, kanat yüklemesi düşük ve stabil olması üzerinde çalışmalar gerçekleştirilmiştir. İnsansız hava aracı tasarlanırken, görevleri eksiksiz yapmak ve stabil bir şekilde uçuş gerçekleştirmek en önemli kriterler olarak belirlenmiştir. Hava aracının aerodinamik yapısına, iç elemanların yerleşimine, ağırlık merkezinin yerine, kanat geometrisi ve alanına, kanat profiline tasarım aşamasında büyük önem verilmiştir.

Bu kriterler doğrultusunda aracın uçuş anındaki dengesi incelendiğinde üstten kanat modeli kullanımına karar verilmiştir. Böylelikle üstten kanat dihedral etki yaratacak, gövdenin altta kalması ve ağırlık merkezinin kanat altında olması ile uçak yuvarlanma (roll) hareketi yaptığında bu hareketin ters yönünde, denge konumuna getirici kuvvet oluşturacaktır. Seyir uçuşunda kanadın, aracın toplam ağırlığını kaldırabilecek Cl (kaldırma katsayısı) değerini veren 2 derecelik hücum açısıyla gövdeye yerleştirilmiştir. Kanatta ortası dikdörtgen ve uçlara doğru daralan bir yapı kullanılmıştır.

Kuyruk konfigürasyonu için ağırlık, denge, kontrol, üretim kolaylığı ve sürüklemeye etkisi dikkate alınarak 3 kuyruk tipi incelenmiştir. Bunlar T-Kuyruk, V-Kuyruk ve Geleneksel kuyruktur. Geleneksel kuyruk tipi, ağırlığı, gövde bağlantısının birçok yüzeyden sağlanması ve sağlamlık etkisinin fazla olması gibi etkenlerden dolayı tercih edilmiştir.

Tasarlanan araçta yük tutma ve bırakma sistemi gövde içine yerleştirilmiştir. Bu sayede mekanizmadan doğacak ek bir sürtünmenin önüne geçilmiştir.

1.2.TAKIM ORGANİZASYONU

Şekil 1. Takım Organizasyon Şeması

1.3. İŞ AKIŞ ÇİZELGESİ

1. Kavramsal ve Taslak Tasarımın Oluşturulması

1.1 Literatür Taraması ve Ar-Ge Çalışmaları

1.2 Kavramsal Tasarım Çalışmaları

1.3 Taslak Tasarımın Oluşturulması

2. Detaylı Tasarım ve Malzeme Seçimi

2.1 Detaylı Tasarım

2.2 Malzeme Seçimi

2.3 Tasarımın Güncellenmesi

3. Prototip İmalatı ve Sistem Entegrasyonu

3.1 Prototip Mekanik İmalatı ve Montajı

3.2 Elektrik Elektronik Sistem Entegrasyonu

3.3 Yük Tutma-Bırakma Sistem İmalatı ve Montajı

4. Prototip ve Sistem Testleri

4.1 Batarya Testi

4.2 Kanat Testleri

4.3 Otonom Uçuş Testleri

4.4 Yük Tutma-Bırakma Sistemi

4.5 Alt Sistem Testleri

4.6 Görev 1 Testi

4.7 Görev 2 Testi

Tablo 1. İş Akış Çizelgesi

İş Paketleri ve Faaliyetleri	Başlangıç Tarihi	Bitiş Tarihi	Süre (Gün)	Ocak		Şubat		Mart		Nisan		Mayıs		Haziran		Temmuz		Ağustos		Eylül	
1.	15.01.2021	15.03.2021	60																		
1.1.			45																		
1.2.			60																		
1.3.			60																		
2.	01.03.2021	01.05.2021	90																		
2.1.			40																		
2.2.			10																		
2.3.			10																		
3.	01.05.2021	10.07.2021	60																		
3.1.			30																		
3.2.			20																		
3.3.			15																		
4.	10.06.2021	10.09.2021	90																		
4.1.			5																		
4.2.			10																		
4.3.			90																		
4.4.			30																		
4.5.			30																		
4.6.			30																		
4.7.			30																		

İş akış çizelgesinde aylık olarak planlanan zaman dilimi gri renkte gösterilmiştir. Gerçekleşen zaman dilimleri mavi ile işaretlenmiştir.

Kavramsal tasarım süreci boyunca kullanılacak malzemeler, ekipteki sorumlu üyeler tarafından detaylı bir şekilde araştırılmıştır. Malzemeler belirlendikten sonra tasarım süreci başlamıştır. Çalışmalar sonucunda bir tasarım taslağı ortaya çıkarılmıştır. Tasarım taslağı üzerinde yapılan analizler sonucunda seçilen malzemeler güncellenmiştir. İlerleyen bölümlerde malzeme seçimi ile ilgili detaylı bilgiler verilmiştir.

2. DETAYLI TASARIM

Tasarlanan araç otonom uçuş kabiliyetine ve atış sistemine sahip olacak şekilde analizler sonucunda nihai halini almıştır. Araç nihai tasarımına ulaşana kadar parça boyutlandırılması ve malzeme seçimi yönünde kısmi değişiklikler yapılmıştır. Hava aracının tasarım süreci boyunca çizim, analiz ve test amacıyla çeşitli programlar kullanılmıştır. Genel olarak aracın tasarım sürecinde Solidworks katı modelleme programı kullanılması tercih edilmiş olup, analiz ve test aşamasında ise Ansys ile XFLR5 programları kullanılmıştır. İnsansız hava aracı, prototip üretimi sonunda elektronik sistemin kurularak konfigüre edilmesi ve analiz sonuçlarının uygulamalı olarak test edilip karşılaştırılması için hazır hale getirilmiştir. Ağırlık, dayanıklılık, boyutlandırma ve kütle merkezi konumlandırma bu süreç sonunda gerçekleştirilmiştir.

2.1. TASARIMIN BOYUTSAL PARAMETRELERİ

İnsansız hava aracı boyutlandırılırken aşağıdaki denklemler ve önceki yıllarda elde edilen tecrübeler kullanılmıştır ve tasarım SolidWorks programı ile görselleştirilerek incelenmiştir. Kanatların toplam alanı boyutlandırılarak aracın toplam ağırlığına karşı koyabilecek taşıma kuvveti elde edilmiştir.

$$L = W \rightarrow m.g = \frac{1}{2}.p.V^2.S.C_1 \qquad (1)$$

$$D = \frac{1}{2}p.V^2.S.C_D \qquad (2)$$

$$M = \frac{1}{2}.p.V^2.S_c.C_m \qquad (3)$$

Tasarlan insansız hava aracının kanat profili Naca 4412'dir. Aracın kütlesi(m), havanın yoğunluğu(ρ), hava hızı(V) ve yer çekimi kuvveti(g) bilinen/hesaplanan değerlerdir.

Tablo 2. İHA Boyutsal Parametreleri

KUYRUK	
Genişlik (mm)	500
Kök Veter (mm)	220
Uç Veter (mm)	150
Yükseklik (mm)	200
KANAT	
Kök Veter (mm)	290
Uç Veter (mm)	190
Kalınlık (mm)	35,26
Kanat Alanı (m^2)	0,452
Kanat Açıklığı (mm)	1760
GÖVDE	
Uzunluk (mm)	500
Genişlik (mm)	80
Yükseklik (mm)	175
GENEL	
Toplam Uzunluk (mm)	1230
Toplam Ağırlık (gr)	3150

Kanat profilinin taşıma katsayısı (Cl) XFLR5 analiz programı kullanılarak belirlenmiştir. Bu değerler (1)' de yerine koyularak kanat alanı(S) elde edilmiştir. Kanat tasarımında maksimum taşıma kuvvetine karşılık minimum sürtünme kuvveti dikkate alınmıştır. Aracın moment ve sürtünme kuvvet hesaplamaları (2) ve (3) kullanılarak hesaplanmıştır. Denklemde bilinmeyen taşıma ve moment katsayıları XFLR5 analiz programından elde edilmiştir. Yatay ve dikey stabilizasyonu sağlayan kuyruk yapısı boyutlandırılırken kararlılık ile ilgili bölümde yer alan (5) ve (6) kullanılmıştır. Ağırlık merkezi, tasarımın her aşamasında göz önüne alınarak boyutlandırmalar yapılmıştır. Boyutlandırmayı etkileyen unsurlar dikkate alınarak boyutlandırma değerleri Tablo 2'de gösterilmiştir.

İnsansız hava aracının ağırlığının %20'sini gövde oluşturmakla birlikte toplam uçak ağırlığı 2950 gramdır. Bahsettiğimiz boyutlandırma parametreleri doğrultusunda uçak ağırlığı da ortaya çıkmaktadır. Tablo 3' de Sabit Kanat İHA parça ve toplam ağırlık tablosu verilmiştir.

Tablo 3. Sabit Kanat İHA Parça ve Toplam Ağırlık Tablosu

No	Parça Adı	Ağırlık (gr)	Adet	Toplam Ağırlık
1	Gövde	665	1	674
2	Emax 1090 KV Fırçasız Motor	190	1	200
3	Pervane	30	1	30
4	60A ESC	70	1	70
5	Akım Kesici + Sigorta	105	1	105
6	Pixhawk CUBE Orange	75	1	75
7	RC Alıcı	15	1	15
8	Lipo Batarya	360	1	360
9	Raspberry Pi	45	1	45
10	MG 1171 Servo Motor	17	4	68
11	Pitot Tüpü	40	1	40
12	Kamera	15	1	15
13	Kanat	320	2	640
14	Kuyruk + Servo Yuvası	285	1	285
15	İniş Takımı	185	1	185
16	22mm Kuyruk Karbon Borusu	135	1	135
17	Xbee Telemetri	5	1	5
18	Yük	100	2	200
	Toplam Görev-1			**2950**
	Toplam Görev-2			**3150**

Yük ağırlığı ve yapısal ağırlık katı çizim programı SolidWorks yardımıyla birleşen minimum ağırlıkları baz alınarak ölçülmüştür. Aracın denge noktası kanat veterinin önden 11.5 cm uzaklığındadır. Gövde tasarımı ve malzeme yerleştirmesi bu noktaya göre yapılmıştır. Tablo 4'te malzemelerin ağırlık ve denge değerleri bulunmaktadır. Orijin noktası gövdenin alt arka kısmı olarak alınmıştır. Şekil 3 yan görünüşünde ağırlık merkezi ve orijin noktası gösterilmiştir. İnsansız hava aracında hedefe atılacak toplar da dahil olmak üzere toplam kütle yaklaşık

olarak 3150 gram olarak belirlenmiştir ve bu değer matematiksel denklemlerde kullanılmıştır. 3150 ağırlığındaki Bürküt İnsansız Hava Aracının 1,76 m uzunluğundaki kanadının alanı 0.452 m^2 ve kanat yükü yaklaşık olarak 6,96 kg/m^2 hesaplanmıştır. Detaylı tasarım aşamasının boyutlandırma işlemi tamamlandıktan sonra Şekil 2'te verilen taslak çizim ortaya koyulmuştur. Çizimin ortaya konulmasından sonra detaylı tasarım gereksinimleri göz önünde bulundurularak gerekli malzeme ve üretim teknikleri belirlenmiş ve tasarım detaylandırılmıştır.

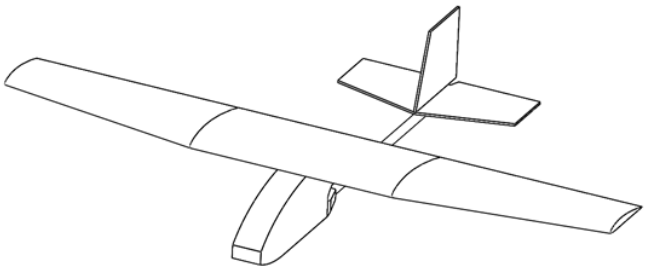
Tablo 4. Sabit Kanat İHA Malzeme Ağırlık ve Denge Tablosu

No	Parça Adı	Ağırlık (gr)	X uzaklığı (mm)	Y uzaklığı (mm)	Z uzaklığı (mm)
1	Gövde + Atış	753	226,08	83,54	0,00
2	Kuyruk Takımı	400	-505	61,5	0,00
3	Kanat	692	190,05	186,55	0,00
4	Pixhawk CUBE	75	266,22	118,62	0,00
5	Lipo Batarya	360	416,69	56,56	0,00
6	Emax 1090 KV	190	-21,52	183,25	-0,19
7	60A ESC	70	95,33	125,08	0,00
8	RC Alıcı	15	388,53	39,89	0,00
9	Pitot Tüpü	40	492,27	23,30	0,00
10	Kamera	15	399,96	9,28	0,00
11	XBee	5	395,53	134,28	0,00
12	Sigorta Kesici	105	441,91	107,40	0,00
13	Raspberry Pi	45	249,52	38,49	0,00
14	Ön İniş Takımı	185	324,17	-126,70	0,00
	Toplam	2,950			

Kullanılacak bileşenlerin seçilmesinde toplam ağırlık, (4) kullanılarak hesaplanmıştır.

$$M_T = M_G + M_Y + M_B \qquad (4)$$

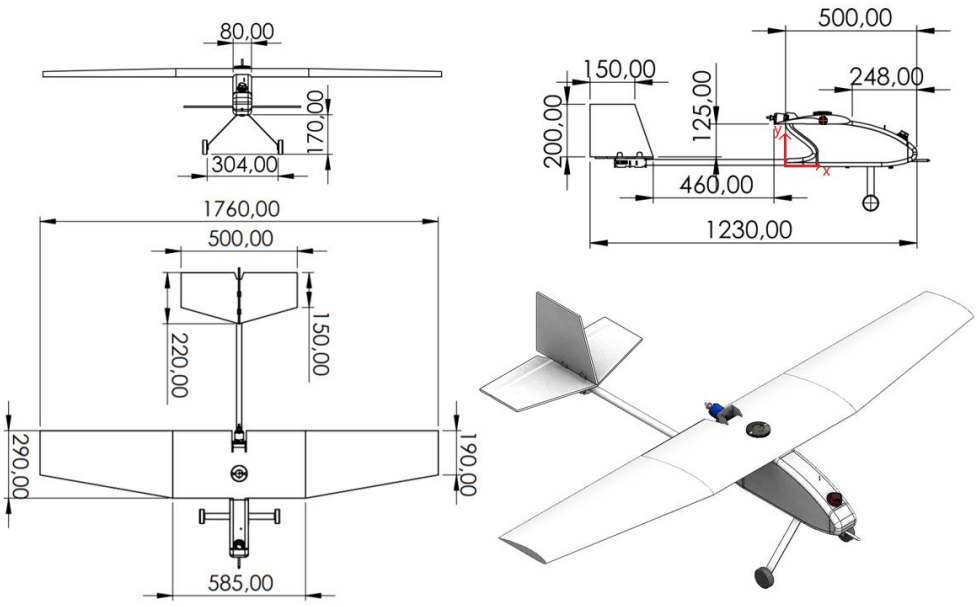
(M_T = Toplam Ağırlık, M_G = Yapısal Ağırlık, M_Y = Yük Ağırlığı, M_B = Batarya Ağırlığı)



Şekil 2. Taslak Çizim

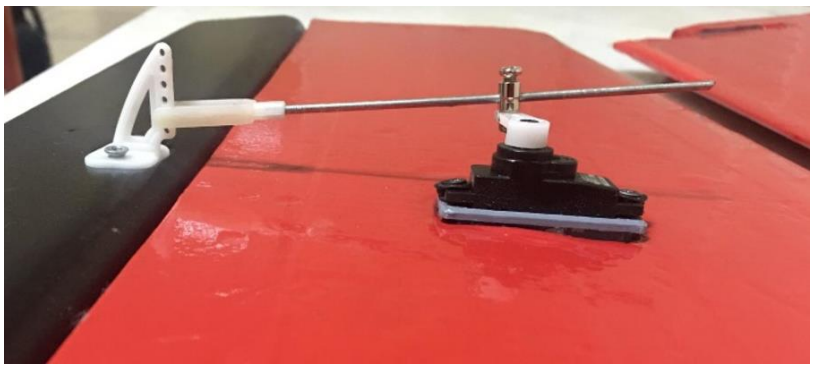
2.2. GÖVDE VE MEKANİK SİSTEMLER

Uçağın aerodinamik yönünü geliştirmek amacıyla gövde ve burun yapısı katı çizim programında ayrıca tasarlanıp hava akış testine tabii tuttuktan sonra 3D yazıcıdan yüksek hassasiyetli olacak şekilde üretilmiştir.



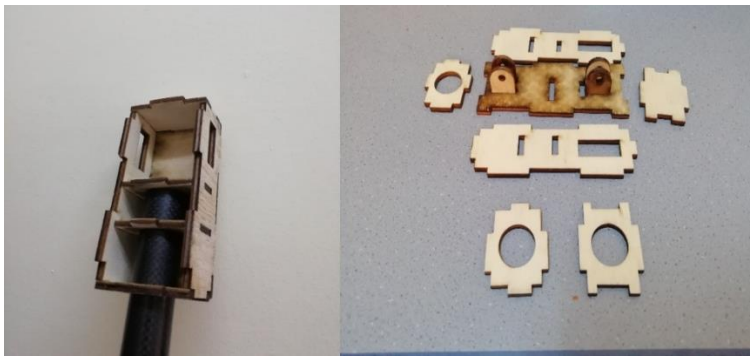
Şekil 3. - Üç görünüş ve perspektif görünüş

Sabit kanatlı İHA, 4mm kalınlığında kontrplak malzemeden lazer kesim ile üretilmiş bir gövdeden, 2 parça şeklinde karbon fiber destekli strafor kanattan, 6 mm balsadan imal edilmiş kuyruk takımından ve bir arka iki ön tekerlekli iniş takımından oluşmaktadır. Gövde kaplamaları balsa, folyo ve 3 boyutlu yazıcıdan basılan parçalar ile yapılmıştır. Gövde üretiminde her seferinde hafiflik ve mukavemet kontrolü yapılarak üretim yapılmıştır. Kanatlar, uçağın kütle merkezi üzerine sabitlenmiş olup uçağın daha stabil ve verimli uçmasını sağlamaktadır. Aileronlar, kanadın uç trapez kısımlarında bulunmaktadır. Kanatçıkların kanat ile bağlantısı bez menteşeler ile yapılmıştır. Kontrol yüzeylerinin bağlantısı Şekil 4'te gösterilmiştir.

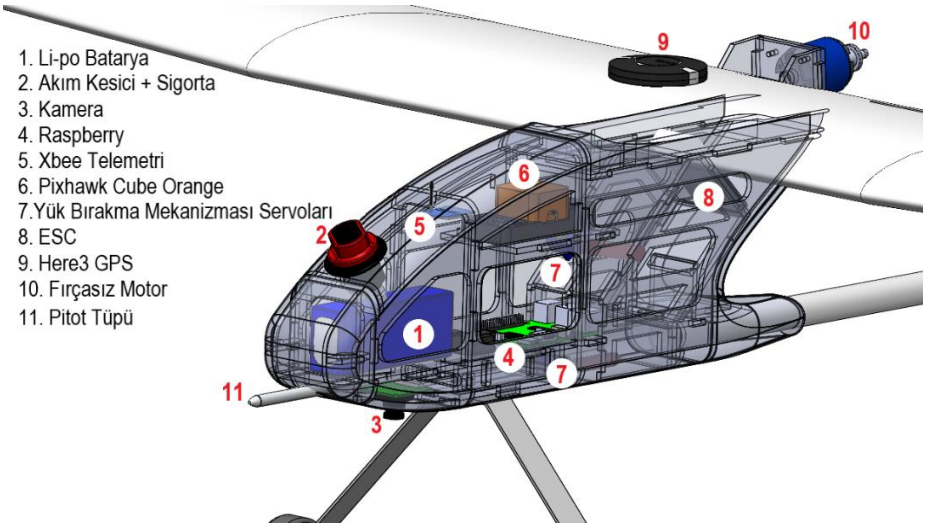


Şekil 4. Kontrol Yüzey Bağlantısı

Uçağın ana şasesini gövde ve karbon çubuk oluşturmaktadır. Karbon-fiber çubuk kullanılmasının sebebi hafif ve dayanımı yüksek olmasıdır. Görev mekanizması gövde içerisine birleşik olacak şekilde yerleştirilmiştir. Kuyruğu, arka iniş takımını ve servoları tutacak parça tasarlanmış ve 4mm kontrplaktan üretilmiştir. Ayrıca bu parça ile karbon çubuk – kuyruk bağlantısında kullanılmaktadır. Şekil 5'te servo yuva tasarımı ve konumu gösterilmiştir.

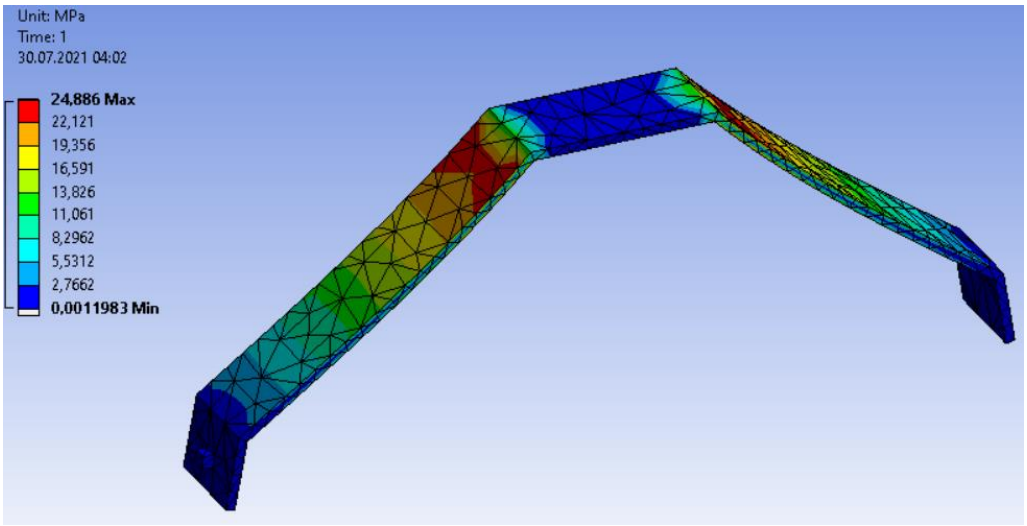


Şekil 5. Servo Yuva Tasarımı ve Konumu



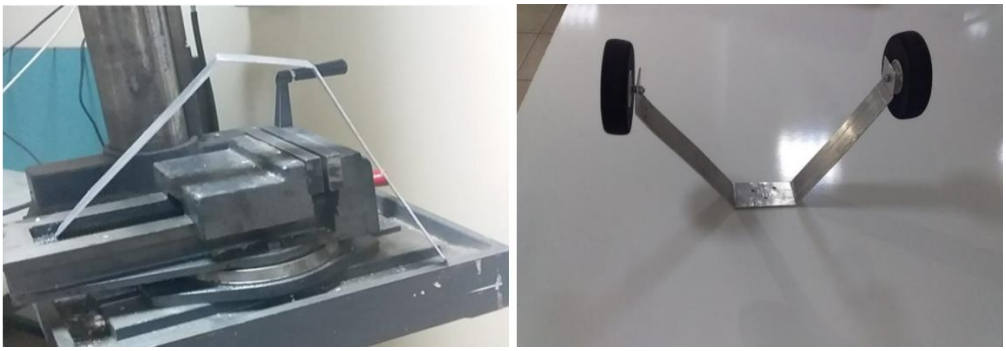
Şekil 6. İnsansız Hava Aracı İç Bileşenlerin Yerleşimi

İniş takımında 4mm kalınlığında alüminyum levha kullanılmıştır. İniş takımlarının taşıyacağı yük oranları toplam ağırlığın %85-90'ı ön iniş takımına, %10-15 i arka iniş takımına düşecektir.



Şekil 7. ANSYS İniş Takımı Yük Testi

ANSYS sonlu elemanlar analizi programında iniş takımına gelmesi muhtemel yüklerden iki teker üzerine düz bir şekilde iniş yaptığı andaki dikey yük incelenmiştir. Şekil 7'de elde edilen gerilmelerin alüminyum malzemenin çekme dayanımından yeterince düşük olduğu görülmüştür. Şekil 8'de iniş takımının imalatı ve son hali bulunmaktadır.



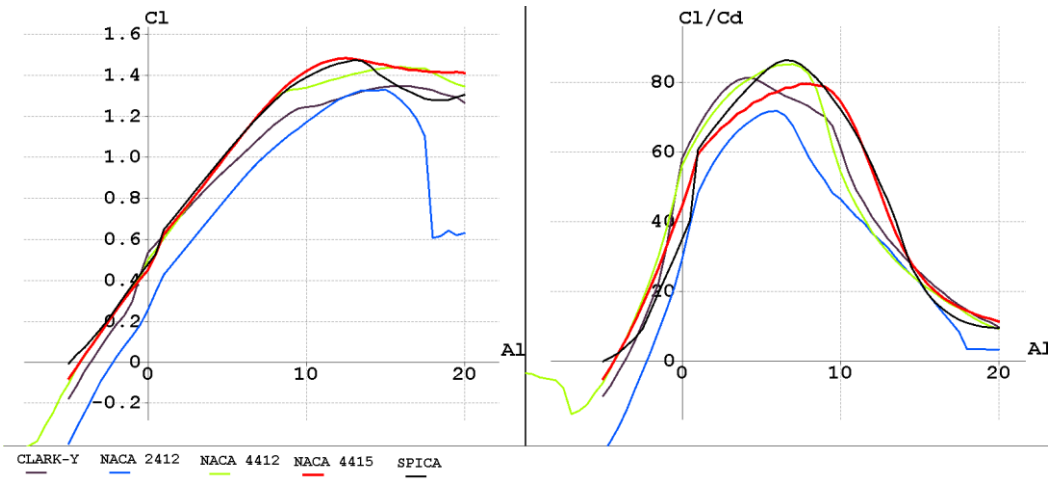
Şekil 8. İniş Takımı İmalatı ve Bitmiş Hali

2.3. AERODİNAMİK, STABİLİTE VE KONTROL ÖZELLİKLERİ

Hava aracında istenilen uçuş karakteristiği doğrultusunda çeşitli kanat profilleri belirlenmiştir. Hava aracında belirlenen hız doğrultusunda reynolds sayısı (5)'te kullanılarak 300000 hesaplanmıştır.

$$Re = \frac{p_\infty V_\infty c}{\mu_\infty} \qquad (5)$$

XFLR5 programı kullanılarak Naca 4412,Naca 4415,Naca 2412,Spica ve ClarkY kanat profillerinin belirlenen reynolds sayısında hücum açısına bağlı taşıma(CL), sürükleme(CD), moment(CM) ve verim(CL/CD) grafikleri incelenmiştir. İncelenen 2 boyutlu kanat profillerinin taşıma ve verim grafikleri XFLR5 programından alınarak Şekil 9'da gösterilmiş ve değerleri tablo 5'te verilmiştir.



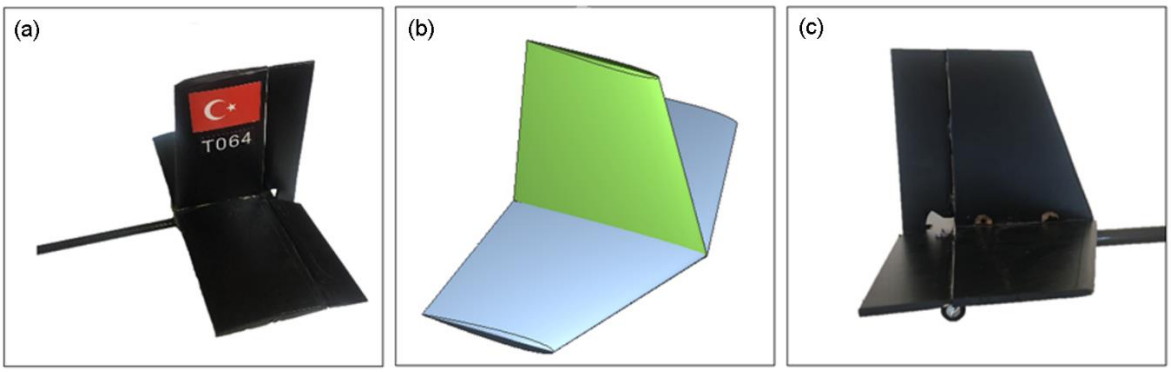
Şekil 9. Farklı Kanat Profillerinin Hücum Açısına Bağlı Taşıma ve Verim Katsayısı Grafiği

Tablo 5. Kanat Profillerinin Karşılaştırması

Kanat Profili	Cl/Cd max	Cl max	Cl (α=0)	Cd (α=0)	Cm (α=0)
Clark-Y	81,1	1,37	0,553	0,010	-0,097
Naca4412	84,9	1,43	0,497	0,009	-0,107
Naca2412	71.5	1,32	0,254	0,006	-0,054
Naca4415	79,3	1,48	0,448	0,010	-0,098
Spica	86,2	1,47	0,476	0,016	-0,085

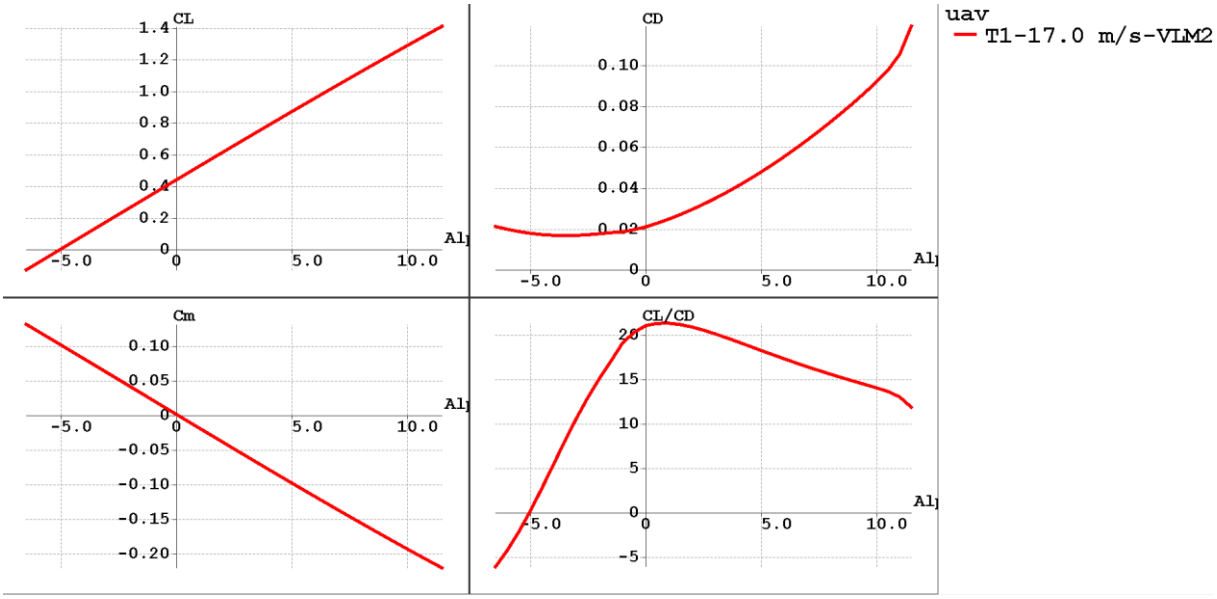
2018 ve 2019 yılındaki araçlarda kullanılan 2412 kanat profilinin diğer profiller ile karşılaştırıldığında kaldırma katsayısının düşük olduğu tespit edilmiştir. Kanat profili seçiminde kaldırma katsayısı ve verimi yüksek profiller tercih edilecektir. İncelen profiller arasında Naca 4415, Naca 4412 ve Spica profilleri arasında tekrar inceleme yapılmıştır. Spica kanat profili yüksek verimin olmasına rağmen yeterli veri kaynakları bulunmadığı için tercih edilmemiştir. Taşıma katsayısı yüksek olan Naca 4415 profilinin sürükleme katsayısı, kalınlığından dolayı yüksek olduğu görülmüştür. Bu durumda en uygun profil Naca 4412 profil belirlenmiştir. İki boyutlu analizde bu katsayılar sonsuz uzunlukta profil için alınmış değerlerdir. İki boyutlu analizden elde edilen teorik bilgiler yetersiz olduğundan üç boyutlu analize geçiş yapılmıştır. Üç boyutlu analizde profilin belirli bir boyuttaki ve geometrideki kanat üzerinde hesaplamalar yapılmış, grafikleri değerlendirilmiştir.

Kuyruk profil seçimi yapılırken geçmiş yıllarda kullanılan kuyruk profilleri incelenmiştir. 2018 ve 2019 yıllarında Naca 2412 kuyruk profili kullanılmıştır. Kavramsal tasarım aşamasında yapılan analizler sonucunda Naca 0010 kuyruk profilinin kullanılması kararı alınmıştır. Aracın hesaplanan ağırlık merkezinin, kanat arkasından motor kullanılmasından dolayı CG noktasından arkadan olduğu görülmüştür ve kuyruk hafifletilmesi üzerine çalışılmıştır. Naca 0010 profil kuyruğun üretimindeki zorluktan dolayı ve hafifletme amaçlı Naca 0010 kuyruk profili yerine düz profilden yapılması kararı alınmıştır. Hafifliğinden ve dayanıklı yapısından dolayı malzeme seçimi olarak 6mm kalınlığında balsa tercih edilmiştir. Kuyruğun hücum kenarlarına sürtünmeyi azaltma amaçlı ikizkenar üçgen şekli verilmiştir.

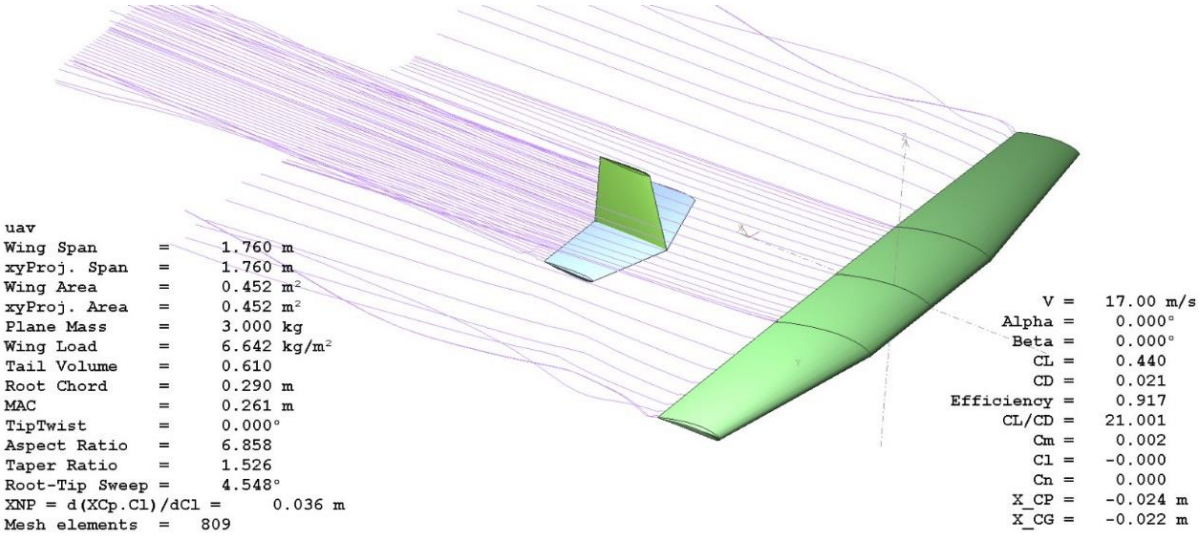


Şekil 10. 2019-2021 Kuyruk Tasarım Karşılaştırması, (a) 2019, (b) 2021 kavramsal, (c) 2021

Üç boyutlu analizde uçağın stabilite analizi yapılarak hücum açısına göre aerodinamik karakteristiklerindeki değişimleri Şekil 11'de gösterilmiştir. Bu değerler doğrultulusunda aracın maksimum hızı, seyir hızı, stoll hızı belirlenmiştir. Bürküt İnsansız Hava Aracının XFLR5 programındaki akış analizindeki değerleri Şekil 12'de gösterilmiştir.



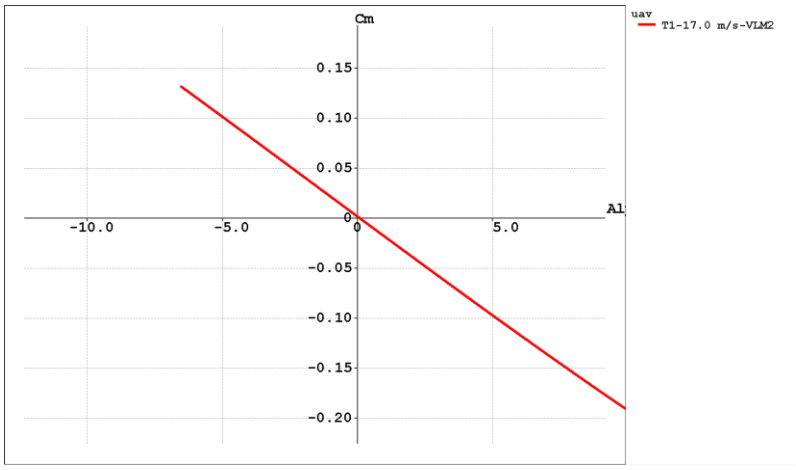
Şekil 11. 3D Analizdeki Hücum Açısına göre Aerodinamik Katsayıların Değişiklikleri



Şekil 12. XFLR5 Akış Analizi

İnsansız hava araçları yeterli performans karakteristiklerine ek olarak iyi derecede kontrol ve kararlılık özelliklerine sahip olması gerekir. Bu hususlar doğrultusunda aracın üretim aşamasında belirlenen ağırlık merkezinin korunması esas alınmıştır. Donanım yerleştirilmesi aşamasında aracın havadaki denge durumu göz önüne alınarak donanım ideal pozisyonlarda

konumlandırılmıştır. Bürküt aracının denge durumundayken araca etki eden çevresel faktörlerden dolayı oluşabilecek değişimler sonucunda denge durumuna dönme süreci yapılan analizlerden sonra uçuş testlerinde kontrol edilmiştir. XFLR5 programında yapılan stabilite analizinde yunuslama moment katsayısının hücum açısına göre değişimleri Şekil 13'de verilmiştir. Grafikte lineer bir değişim izlenmiştir.



Şekil 13. Yunuslama Moment Katsayısı Grafiği

Yunuslama moment katsayısının ağırlık merkezi ile değiştiği göz önünde bulundurularak (5) ve (6) de kararlılık hesapları kontrol edilmiştir.

$$c_{m_\alpha} = c_{L_{\alpha_w}} \left(\frac{x_{cg}}{c'} - \frac{x_{ac}}{c'}\right) - \eta V_H c_{L_{\alpha_t}} \left(1 - \frac{d\varepsilon}{d\alpha}\right) + c_{m\alpha_f} \qquad (5)$$

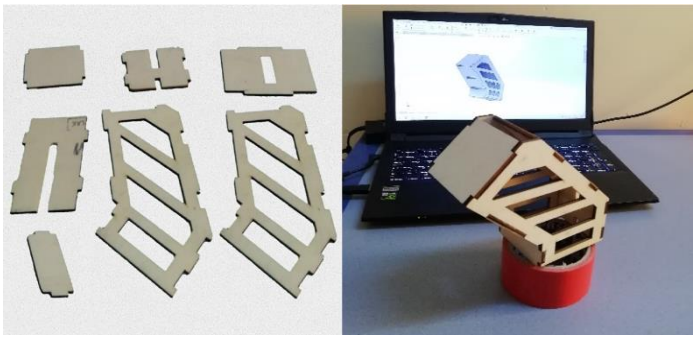
$$C_{n_\beta} = C_{n_{\beta_{wb}}} + V_v \eta_U c_{L_{\alpha_v}} \left(1 + \frac{d\sigma}{d\beta}\right) \qquad (6)$$

Otonom bir şekilde iniş, kalkış ve uçuş gerçekleştiren aracın, manuel olarak da pilot tarafından kontrolü sağlanmaktadır. Mission Planner programında bulunan "Takeoff" komutu ilk komut olarak eklendiğinde uçağın kalkış yapması sağlanmaktadır. Kalkış açısı, uçağın kalkış sırasında ne kadar dik tırmanacağını belirlemektedir. Optimum açı değeri yapılan araştırmalar neticesinde 10-15 º arasında ayarlanmaktadır. Kalkış anında motor fazla akım çektiğinden dolayı bataryanın kısa sürede bitebileceği göz önünde bulundurularak aracın tırmanma mesafesi kısa tutulmasına dikkat edilmiştir.

Uçağın inişinin güvenli ve kolay olması için Mission Planner ile konfigüre edilebilen mesafe sensörü kullanılmaktadır. Belirlenen bu sensör ile çok daha doğru irtifa değerleri elde edilmektedir. Bu da aracın hem otonom hem de manuel inişlerini daha güvenli gerçekleştirmesini sağlamaktadır. Belirlenen sensör ölçüm aralığı 20 cm - 40 m aralığındadır.

2.4. GÖREV MEKANİZMASI SİSTEMİ

Erü Mekatron takımı olarak, yarışmadaki görev kriterleri detaylı bir şekilde incelenip analiz edilmiştir. Bu kriterler doğrultusunda geliştirilen görev mekanizması sistemi gövde ile birleşik şekilde gövde içerisinde yer almaktadır. Görev mekanizması 4mm kalınlığında kontrplak malzemeden üretilmiştir. Sistem çalışmasında 2 adet servo motor kullanılmıştır. Topların altında kullanılan miller servo motor yardımıyla açılarak sırayla topların düşmesini sağlamaktadır. Görev mekanizmasında alt servo motor açılarak ilk top serbest düşüş gerçekleştirir. Birinci top bırakıldıktan sonra alt servo motor kapanır ve üst servo motor açılarak ikinci top atış için aşağı yerleşir. Alt servo motor tekrar açılarak ikinci top serbest düşüş gerçekleştirir. Görev mekanizmasının çalışma şekli detaylı tasarım videosunda yer almaktadır. Şekil 14 ve Şekil 15'te görev mekanizmasının parçaları, birleşimi ve sistemin gövde içindeki konumu gösterilmiştir. Görev mekanizmasının çalışmasında denemeler sonucunda herhangi bir sorun ile karşılaşılmadı.

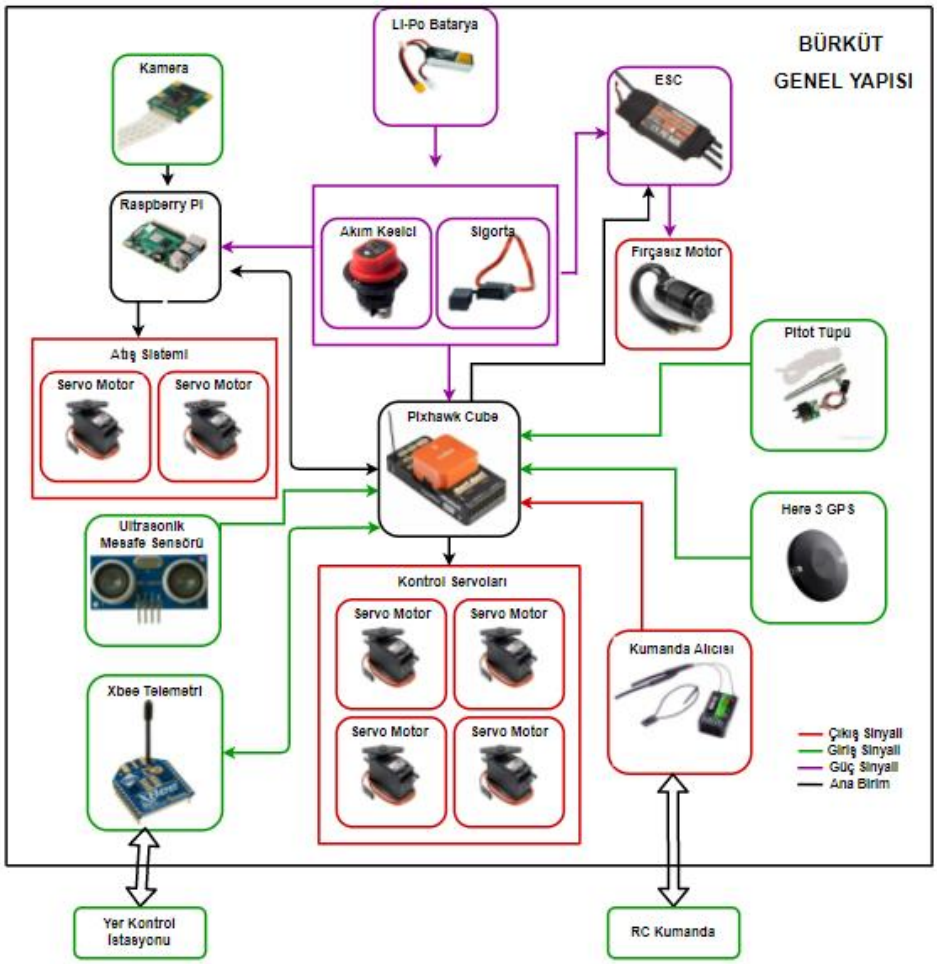


Şekil 14. Görev Mekanizmasının Parçaları ve Birleşimi

Şekil 15. Görev Mekanizmasının Gövde Konumu

2.5. ELEKTRİK, ELEKTRONİK KONTROL VE GÜÇ SİSTEMLERİ

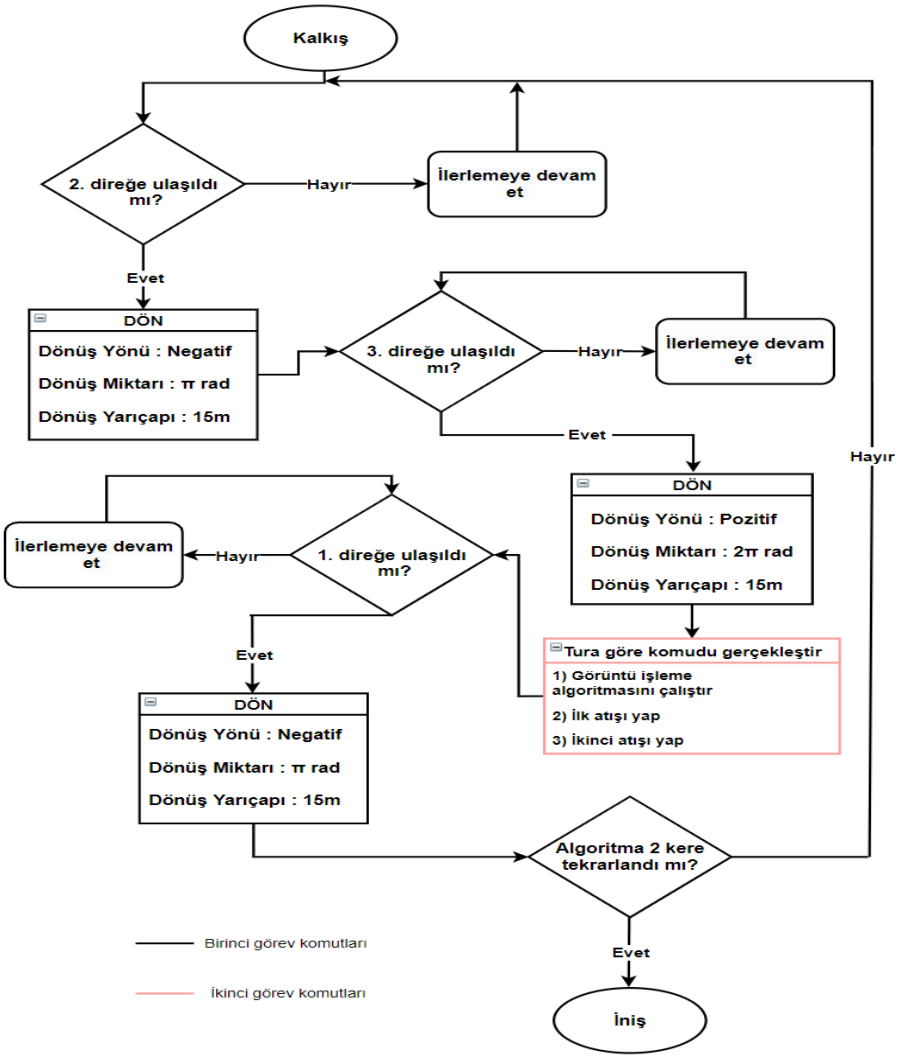
Tasarlanan aracın elektronik ve uçuş kontrol sisteminin tasarlanmasında iki önemli etken dikkate alınarak, hangi ekipmanların kullanılacağına karar verilmiştir. Birinci etken; insansız hava aracının yapacağı görevler olup, ikinci etken ise 2018 ve 2019 yılında yapılan yarışmada elde edilen bilgi birikimi ve tecrübelerdir. Geçmiş yıllarda yapılan yarışmada karşılaşılan problemlerin ve eksikliklerin önüne geçebilmek için hava aracının iniş, kalkış ve uçuş performansını arttıracak daha kaliteli ve verimli ekipmanlar tercih edilmiştir. İnsansız hava aracının, otonom bir şekilde uçuş ve belirli bir yükseklikten top atma görevlerini yerine getirebilmesini sağlamak için uçuş kontrol kartı olarak Pixhawk Cube, hedefi belirlemek için ise Raspberry Pi mikrodenetleyici kullanılmıştır. Pixhawk diğer uçuş kontrol kartları ile kıyaslandığında; hızlı veri transferi, kullanım kolaylığı ve çalışma performansı gibi kriterler göz önünde bulundurarak ön plana çıkmaktadır. Raspberry Pi mikrodenetleyicisi, benzerlerinden yüksek işlem kapasitesi ve hızı ile görüntü işleme teknolojisinden yararlanarak hedefi belirlemede kullanılmıştır. Geçmiş yıllardaki tasarlanan FENİKS ve FENİKS-II araçlarının yarışma performansları incelendiğinde; problemlerin kalitesiz ekipman ve test eksikliğinden kaynaklandığı tespit edilmiştir. Bu ekipmanlardan elde edilen verilerde büyük hatalar gözlemlenmiştir. Özellikle GPS verilerindeki büyük hatalar buna örnek olarak gösterilebilir. Tasarlanan insansız hava aracında bu sebepten dolayı HERE 3 GPS kullanılmıştır. HERE 3 GPS modülünün seçilmesinde en önemli etken ise yüksek oranda doğru ölçme kabiliyeti ve Pixhawk ile uyumlu olmasıdır. Bu sene yapılacak olan yarışmada GPS ile yapılan ölçümlerin iyileştirilmesi üzerine yapılan çalışmalar devam etmektedir. Özellikle gerçek zamanlı kinematik çözüm üzerine yoğunlaşılmıştır. Uçuş sırasında veriler alınıp, 3 ana bölümden oluşan yer istasyonuna taşınarak görüntülenmektedir. İnsansız hava aracının anlık konumu ve alınan yön bilgisinin yer istasyonuna iletilmesinde, uçtan uca şifrelenmiş telemetri sistemi kullanılmaktadır. Geçmiş yıllarda yapılan insansız hava aracının incelenmesinden sonra; 2021 yılında yapılacak olan insansız hava aracında kullanılan servo motor sayısı 6 olup atış sisteminde 2 adet SG 90 Servo, kanat ve kuyruk kontrolünde 4 adet MG 1171 Servo motor kullanılmıştır. Servo motorların Pixhawk'a bağlanması PWM Encoder çıkışları üzerinde yapılmaktadır. Yarışma şartları doğrultusunda, insansız hava aracında Fail-Safe modu ve herhangi bir acil durumda veya istenmeyen durumlarda tüm sistemin kapatılmasını sağlayacak bir sigorta ve akım kesici ünitesi kullanılmıştır. Aracın devre şeması Şekil 16'da görülmektedir.



Şekil 16. Devre Şeması

Raspberry Pi, üzerinde kayıtlı olan scriptleri çalıştırıp MAVLink haberleşme protokolü sayesinde Pixhawk uçuş kontrol kartını offboard olarak kontrol edebilmektedir. Otonom uçuş algoritmamız, bu hususlar dikkate alınarak oluşturulmuştur. Otonom uçuş scriptinin oluşturulması için Python DroneKit kütüphanesi kullanılmıştır.

Görev 1: Görevlere başlamadan önce takım üyeleri piste çıkıp direklerin konumlarını tespit edecektir. İlk görev için araç, Şekil 17'de gösterildiği gibi kalkış yapıp 2. direğe ulaşana kadar 1. ve 2. direkleri kesen doğruya (bundan sonra A doğrusu) paralel olarak uçacaktır. Araç 2. direğe ulaşınca 15 metrelik çapa göre dönüş yapmaya başlayıp π radyan kadar uçacaktır. Daha sonra A doğrusuna paralel olarak 3. direğe kadar uçup 3. direk etrafında yaklaşık 15 metre çapla tam tur atıp A doğrusuna göre paralel uçmaya devam edecektir. Hava Aracı 1. direğe ualştığında yine 15 metre çapla yarım tur atıp başlangıç noktasına kadar düz uçacaktır. Araç bu şekilde bir tur daha tamamlayıp iniş yapmaya başlayacaktır. İniş yapıldığında 1. görev tamamlanmış olacaktır.



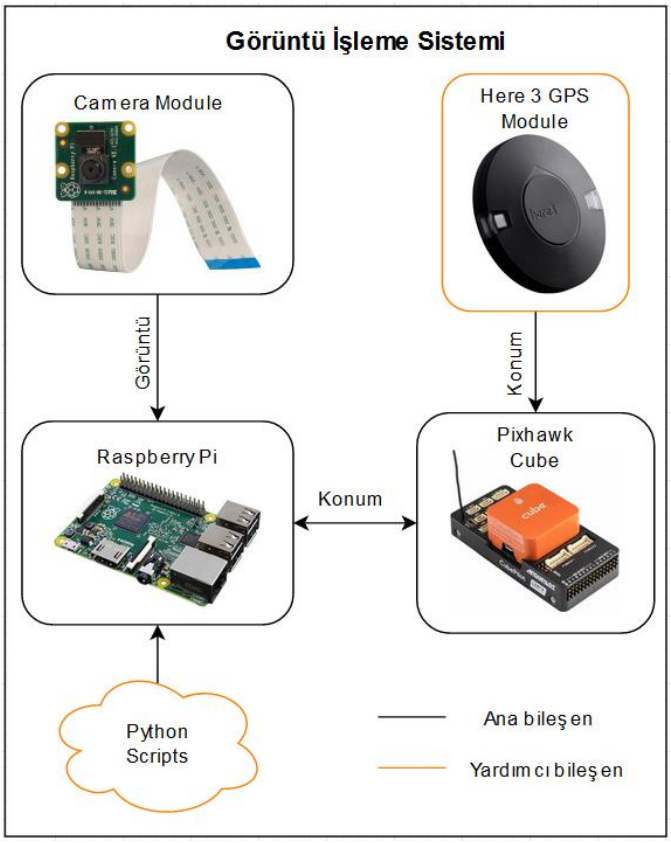
Şekil 17. 1. ve 2. Görev İçin Otonom Uçuş Algoritması

Görev 2: Hava aracının 2. görevinde, 1. görevden farklı olarak görüntü işleme ve top bırakma algoritmaları da kullanılmaktadır (Şekil 17, kırmızı blok). Atış havuzunun konumu, Python-OpenCV kütüphanesi kullanılarak yazılan görüntü işleme algoritması kullanılarak uçuş sırasında tespit edilmektedir. Ardından uçuşun 2. turuna başlanıp top bırakma algoritması kullanılarak 1. atış yapılmaktadır. Daha sonra 3. tura başlanıp 2. atış yapılmaktadır ve araç iniş yapınca görev tamamlanmış sayılmaktadır.

2.6. HEDEF TESPİT VE TANIMA SİSTEMİ

İnsansız hava aracında kullanılan bir diğer sistem, görüntü işleme sistemidir (Şekil 18). Söz konusu olan sistem üç bileşenden oluşmaktadır. Bu bileşenlerden ilki Raspberry Pi 2 mini bilgisayarıdır, bir diğeri ise Pixhawk Cube Orange uçuş kontrol kartıdır. Raspberry Pi Camera Module V2, görüntü işleme sistemini oluşturan son bileşendir. Raspberry Pi, görüntü işleme ünitesi olarak; Pixhawk Cube, kamera tetikleyicisi ve Here 3 modülü sayesinde aracın GPS verisinin kaynağı olarak; kamera modülü ise görüntü yakalama ünitesi olarak kullanılmaktadır.

Görüntü işleme yazılımı, Python programlama dilinde OpenCV kütüphanesi kullanılarak oluşturulmuştur. İnsansız hava aracı hedefin olduğu alana girince görüntü işleme sistemi devreye girmekte, Raspberry Pi kartı kullanılarak Pixhawk uçuş kontrol kartı üzerinden okunan konum bilgisiyle Pi Camera V2 ile alınan canlı görüntü işlenmekte ve yük bırakma alanının merkezinin konumu hesaplanmaktadır. Kırmızı renk ve tonlarını ayırt etme mantığına dayanarak oluşturulan kod (Şekil 19), kameradan gelen görüntüyü anlık olarak işleyerek (Şekil 18) atış havuzunu tespit etmektedir. Atış havuzunun konumu, görüntü üzerinde bulunan kırmızı alanın merkezi ile görüntü merkezinin kaçıklığı, aracın yerden yüksekliği ve anlık konumu, kameranın açısı gibi parametreler dikkate alınarak hesaplanmaktadır. Neticede script, yük bırakma alanının merkezinin konumunu ifade eden üç değeri (enlem, boylam ve deniz seviyesinden yükseklik) üretmektedir.



Şekil 18. Görüntü İşleme Sistemi Şeması

```
cap = cv2.VideoCapture(0)   # Video yakalama
hsv_min = np.array((150, 200, 50), np.uint8)    # Renk aralığının alt sınırı
hsv_max = np.array((190, 255, 115), np.uint8)   # Renk aralığının üst sınırı

text_color = (255, 0, 205)    # Açılan xxx penceresindeki yazıların rengi

while True:
    flag, img = cap.read()
    img = cv2.flip(img, 1)  # Y eksenine göre aynalama
    hsv = cv2.cvtColor(img, cv2.COLOR_BGR2HSV)
    thresh = cv2.inRange(hsv, hsv_min, hsv_max)

    moments = cv2.moments(thresh, 1)
    dM01 = moments['m01']
    dM10 = moments['m10']
    dArea = moments['m00']

    if dArea > 100:
        x = int(dM10 / dArea)
        y = int(dM01 / dArea)
        cv2.circle(img, (x, y), 5, text_color, 2)
        cv2.putText(img, "%d-%d" % (x, y), (x + 10, y - 10),
                    cv2.FONT_HERSHEY_SIMPLEX, 1, text_color, 2)

    cv2.imshow('Islenmis goruntu', img)
```

Şekil 19. Görüntü İşleme Kodunun Kırmızı Renk Ayırtıcı Kısmı

Şekil 20. Görüntü İşleme Kodu Çalışırken Alınan Görüntü

2.7. UÇUŞ PERFORMANS PARAMETRELERİ

İnsansız hava aracının yükler dahil toplam ağırlığı 3150 gramdır. Hedeflenen uçuş performansı neticesinde ağırlığı da hesaba katarak yeterli taşıma kuvvetini sağlayacak kanat profili belirlenmiştir. Kanat profilinin kanat alanı 0.452 ve kanat açıklığı 1.76 mm olarak bulunmuştur. Araştırmalar neticesinde uçağımıza uygun kanat profili NACA 4412 olarak seçilmiştir. Kanadın veter uzunluğu ve genişliği ise Tablo 7'de verilen iki etken doğrultusunda belirlenmiştir.

Tablo 6. Sabit Kanat İHA'nın Hız Parametreleri

	Değer	**Hücum Açısı**
Seyir Hızı	17 m/s	0°
Maksimum Hız	24 m/s	1°
Stall Hız	8,35	11°

Tablo 7. Sabit Kanat İHA'nın Kanat Aerodinamik Verileri

Alan		**Dizayn Parametreleri**	
S(wet)	2,630 m^2	**Açıklık oranı**	6,85
S(ref)	0,452 m^2	**L/D max**	21

İnsansız hava aracında fırçasız elektrik motoru kullanılmaktadır. Seçilen motorun gücü, uçağın toplam ağırlığı neticesinde belirlenmiştir. Tablo 8'de motorun bilgileri yer almaktadır.

Tablo 8. Sabit Kanat İHA'nın Motor Verileri

EMAX GT2826 / 04			
Hücre Sayısı	4	**Max. Akım**	47 A
RPM/V	1090	**İtme**	3100gr
Prop.	10x5	**RPM**	13200

İnsansız hava aracının uçuş süresini hesaplamada aşağıdaki denklemden yararlanılmıştır. Aracın güvenli uçuş süresi 5 dakika olarak hesaplanmıştır.

Uçuş süresi=(Batarya kapasitesi/motordan çekilen maksimum akım)×60

Tablo 9. Sabit Kanat İHA'nın İtki Gücü Bilgileri

İtme Gücü	
Motor Gücü	1090 Kw – 47A
ESC	60 A
Batarya	3200 mAh - 4S 20C
Pervane	10x5

2.8. HAVA ARACI MALİYET DAĞILIMI

Tablo 10. Maliyet Tablosu

NO	MALZEME ADI	BİRİM FİYATI₺	MİKTAR	FİYAT ₺
1	Pixhawk Cube Orange	3768	1	3768
2	Here3 GNSS	1480,06	1	1480,06
3	Xbee S2C	371,66	2	743,32
4	Xbee Explorer	50,02	2	100,04
5	Akım Kesici Şalter	56,91	1	56,91
6	İMAX Lİ-PO Şarj Cihazı	295	1	295
7	MG 1171 Servo Motor	85	5	425
8	Servo uzatma ve güç kabloları	150	1	150
9	Karbon fiber Boru 22 mm 1 m	189	2	189
10	Karbon fiber Boru 5 mm 1 m	60	1	60
11	1mm Balsa	15	6	90
12	6mm Balsa	20	2	40
13	İniş Takımı	62	1	62
14	Kapak Mıknatısı	3	10	30
15	Epoksi ve Hızlı Yapıştırıcı	250,5	1	250,5
16	Elyaf Bant	25	3	75
17	Kanatçık Montaj Malzemeleri	186	1	186
18	Montaj Parçaları(cıvata-somun)	70	1	70
19	Pervane 10x5	30	6	180
20	Kanat Kesim Ücreti	365	2	730
21	4mm Kontrplak malzeme+ kesim	173,6	1	173,6
22	3B Baskı Hizmeti	103,84	1	103,84
23*	4s 3200Mah Li-Po Batarya	400	2	800
24*	Emax 2826 Fırçasız Motor	250	1	250
25*	Futaba T10J RC Kumanda	2250	1	2250
26*	60A ESC	250	1	250
27*	Pitot Tüpü	200	1	200
28*	Filament	100	1	100
29*	10mm Karbon fiber Boru	120	2	240
	Toplam Maliyet			9258,27

Listede işaretli olan(*) malzemeler takımın geçmiş yıllardaki İHA yarışmalarda kullanılmış malzemeleridir. Toplam fiyata dahil edilmemiştir.