2021 ULUSLARARASI İNSANSIZ HAVA ARAÇLARI YARIŞMASI

DETAYLI TASARIM RAPORU

TAKIM ADI:	ARİNA
ARAÇ TÜRÜ:	DÖNER KANAT
ÜNİVERSİTE:	• EGE ÜNİVERSİTESİ • TÜRK-ALMAN ÜNİVERSİTESİ • DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ • İSTİNYE ÜNİVERSİTESİ • İZMİR KATİP ÇELEBİ ÜNİVERSİTESİ
TAKIM KAPTANI:	ÇAĞLAR ÖZÜÖLMEZ

1.PROJE ÖZETİ

Hazırlanan rapor çeşitli üniversitelerin farklı bölümlerinden bir araya gelen Arina Takımı'nın kolektif bir çalışma sergilemesi sonucu döner kanat kategorisinde yarışacak X tipi bir 4 rotorlu döner kanat olan insansız hava aracı X-Wing'in teknik bilgileri, tasarım süreci ve performansı hakkında bilgiler içermektedir. Ekip üyeleri:

Çağlar Özüölmez, çeşitli kulüplerde yönetim kurulu üyeliği yapmıştır. Savunma sanayi üzerine aktif olduğu proje faaliyetleri bulunmaktadır. Arina İHA Takımı'nın kaptanıdır.

Sena Karabulut, Mühendislik Malzemeleri dersi öğrenci asistanıdır. Konstrüksiyon ve imalat ile ilgilidir. Çeşitli okul toplulukları ve gönüllü çalışmalarda görev almıştır.

İsmail Alp Yürek, yapısal ve mekanik tasarım alanı üzerine çalışmaları olmuştur. Öğrenmeye meraklı ve istekli bir mühendis adayıdır.

Mustafa Kahveci, Dinamik dersi öğrenci asistanıdır. Makine teorisi ve dinamiği ile ilgilidir. Teknofest ve Tübitak'ın yarışmalarında çeşitli tecrübeleri vardır.

Sinan Arlı, güç ve mikroelektronik sistemler alanları ile ilgilidir. Savunma sanayi üzerine çalışmaları vardır. Tez çalışmasını AC-DC Bridgeless Flyback Doğrultucu üzerine yapmıştır.

Barış Arya Cantepe, gömülü sistemler ve mikro denetleyicilerle ilgilidir. Kendi hobi projelerini oluşturarak, bunların kontrol ve donanımsal sistemlerini yaratır.

Erdost Merter Kızılırmak, ilgi alanları kablosuz haberleşme ve yüksek frekans tekniğidir. Bu alanda çeşitli yurtiçi, yurtdışı staj ve projelerde görev almıştır.

Ege Yavuzcan, insansız hava araçlarına üzerine 3 farklı takımda İHA'lar üzerinde görüntü işleme, iskelet yazılım, ROS (Robot Operating System), otonom uçuş ve otopilot sistem kurulumu konularında çalışmaktadır.

Emir Yılmaz, İstinye Üniversitesi IEEE yönetim kurulunda yer almaktadır. Yazılım alanında çeşitli şirketlerle çalışmaktadır. İnsansız hava araçlarının hedef tespiti algoritmasında ve otopilot sistemleri olan Ardupilot ve PX4 üzerine çalışmaktadır.

Kahraman Berk Kahraman, yazılım ve elektronik ile ilgilidir. Mekatronik sistemler üzerine yaptığı çalışmalar doğrultusunda kendini geliştirmeye devam etmektedir.

1.1 Tasarımda İzlenen Yöntem

Tasarlanan İHA genel çerçevede, bulundurduğu elektro-mekanik sistemi ve bilgisayar kontrollü elektro-mekanik sistemi ile birlikte kavramsal tasarım, modelleme, simülasyon, analiz, kontrol mühendisliği uygulamaları, fonksiyon, performans ve maliyet optimizasyonları gibi ek

özellikleriyle bir mekatronik sistem örneğidir. Bu sebeplerle mekatronik sistemlerin tasarım aşamaları yaklaşımı uygun bulunmuş olup tasarım tamamen özgün bir şekilde yarışma görev gereksinimlerini karşılamak adına düzenlenen bir çalışma planı takip edilerek nihai durumuna ulaştırılmıştır. Geliştirilen İHA X tipi 4 rotorlu bir multikopter olarak tasarlanmıştır. İlk olarak ihtiyaçlar belirlenmiş ve sistemin amacına yönelik çalışması sağlanmıştır. Bu aşamada Teknofest 2021 Uluslararası İHA Yarışması Kurallar Kitapçığı tüm ekip üyeleri tarafından özenle incelenmiş, Görev-1 ve Görev-2'nin puanlama kriterlerine göre ayrı ayrı optimize edilerek araçtan beklentiler tespit edilmiş ve bu beklentilere yönelik ihtiyaçlar belirlenmiştir. Ardından sistemin kavramsal tasarımı yapılarak sistemi oluşturan ana fonksiyonlar, alt fonksiyonlar ve bu fonksiyonların etkileşimleri kararlaştırılarak sistem detaylandırılmıştır. Sonrasında sistemin ön simülasyon modelleri oluşturulmuştur. Simülasyon sonuçları göz önünde bulundurularak çeşitli iyileştirme politikaları izlenmiş, daha sonrasında donanım entegrasyonu yapılmıştır. Donanım entegrasyonuyla yapılan testler sonucunda tasarım optimize edilmiştir. Kontrol sistemi Pixhawk uçuş kontrol kartıyla sağlanmıştır. Son olarak performans testleri de yapılan X-Wing' in tasarımı tamamlanmıştır.

Aşamalı tasarım sonucu elde edilen verilere bakılarak keskin hatlardan uzak, dairesel bir gövde tasarımı uygun bulunmuş olup aracın 3 farklı şaseden oluşan bir gövdeye sahip olmasının donanım entegrasyonu için daha optimal olduğu kararlaştırılmıştır. Aracın kolları için daire profilli boru tercih edilmiştir. X-Wing'in gövdesi, kolları, iniş takımları karbon fiber malzemeden oluşmakla birlikte optimizasyon çalışmaları sonucu farklı sarım çeşitlerine sahip kompozit materyaller tercih edilmiştir. Kol-şase bağlantıları, iniş takımı-şase bağlantıları ve iniş takımı küresel aparatları, kollara sabitlenen motor takozları gereken mekanik dayanımı karşılayacak şekilde tasarlanmış, 3B baskı yöntemi kullanarak imal edilmiştir. X-Wing'in motorları gerekli itkiye göre çektiği amper dikkate alınarak seçilmiş olup kendi fiyat segmentinin en iyi performanslı motorlarından biridir. Motorla uyumu, verimliliği, hafifliği ve görev süreleri dikkate alınarak seçilen Li-Po pil 4 hücreli ve 6200mAh kapasiteli oluşuyla X-Wing için optimize seçim olarak belirlenmiştir. Sistemin maksimum çekebileceği akım 67A olup pilin C değeri sistemin ihtiyaç duyduğu maksimum akım değeri göz önünde bulundurularak seçilmiştir. Motorların çektiği maksimum akım dikkate alınarak, minimum 20A ESC kullanılması yeterli bulunmuştur. X-Wing için 30A'lik 4'ü 1 arada tip ESC kullanılmıştır. 4'ü 1 arada ESC'ler standart 4 ESC ile aynı görevi görmekle birlikte standart ESC'lere göre çok daha hafiftir. Bu özelliğiyle araç ağırlığı kontrolü açısından önemli bir avantaj sağlar. Telemetri ise 1.2 km menziliyle, 2.4GHz frekansında çalışan ve uçtan uca 128-bit şifreleme (end-to-end encryption) imkanı sunan DIGI marka "Xbee-Pro S2C" modülüdür. Sigorta, sistemin maksimum akım gereklerine uygun olarak 80A olarak seçilmiş olup hafifliği ile ön plana çıkan bıçak sigortaların yanında sistem güvenliğini sağlamak adına akım kesici de kullanılmıştır.

Görev-1 başarı parametreleri manevra kabiliyeti, hafiflik, zaman kısıtları olarak belirlenmiş ve sistem tasarım kurgusu bu ilkeler üzerinden şekillendirilmiştir. Aracın toplam uçuş ağırlığı malzeme seçimleri ve tasarım süreçleri sayesinde 1875,1 g olmakla birlikte uygun elektronik ekipman entegrasyonu sonucu maksimum uçuş süresi yaklaşık 15 dakikadır. Görev-2 kapsamında başarı parametreleri görev tamamlama süresi, taşınabilecek su miktarı ve hedef isabet oranı olarak belirlenmiştir. Su taşıma verimini maksimum seviyede tutmak amacıyla su taşıma tankı kapalı şekilde tasarlanmış olup su alma ve bırakma işlemleri sırasında bozucu etkenleri minimum seviyede tutmak ve pompa mekanizması sayesinde elektronik aksamın su ile temas riski en aza indirilerek havuzdan uzak, güvenli ve hızlı bir transfer işlemi sağlamak hedeflenmiştir. Görev-2 gerekleri sonucu yapılan görüntü işleme ve pompa kontrolü için Raspberry Pi 4B uçuş bilgisayarı kullanılmıştır. Hedef isabet oranının Pixhawk uçuş kartında bulunan barometre, jiroskop sensörleri ve harici GPS ile arttırılması amaçlanmıştır. Görüntü işleme uygulamasının en önemli komponentlerinden biri olan kamera, Raspberry Pi Module V2 yüksek çözünürlüğüyle hedef isabet oranını arttırırken en hafif kamera seçeneklerinden biri olması sebebiyle tasarıma avantaj sağlamaktadır. Aracın öne çıkan özellikleri:

- Doğru kompozit kullanımıyla hafif ve dayanıklı, dairesel hatlı aerodinamik tasarım
- Faydalı yük ve görev mekanizmasının komponentleri için yeterli yük taşıma kapasitesi
- Güvenilir simülasyon ortamında test edilmiş yazılım ve otonom sürüş deneyimi
- 4 ESC yerine 1 kompakt ESC ile gereklerin eksiksiz yerine getirilmesi
- Piyasadaki emsallerine oranla hafifliğiyle ön plana çıkan yüksek çözünürlüklü kamera
- Yüksek manevra kabiliyetli, kararlı uçuş sağlayan, otopilot destekli güvenli uçuş

1.2 Takım Organizasyonu

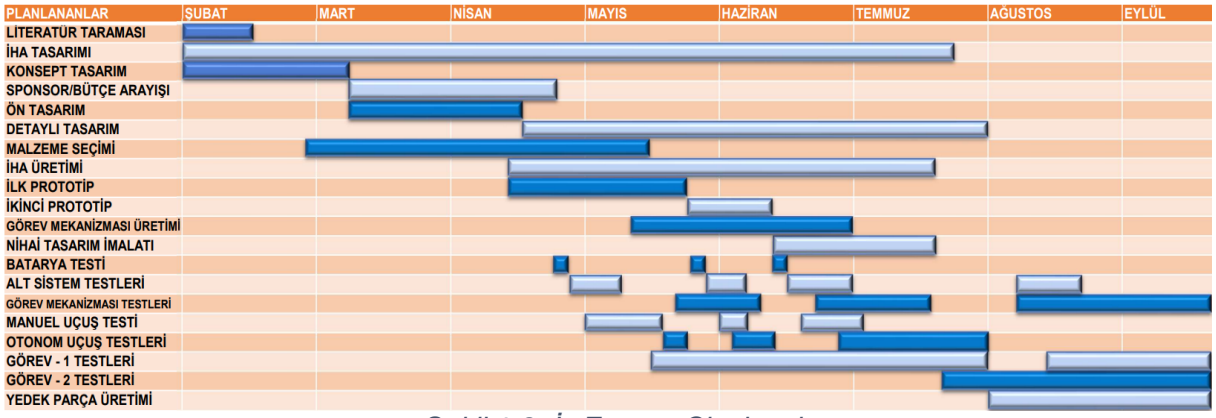
Şekil 1.1. Organizasyon Şeması

Mekanik Birimi: İHA'nın yapısal ve mekanik tasarımı, üç boyutlu modellenmesi, mekanik analizleri, malzeme seçimleri, konstrüksiyonu ve imalat yöntemlerinden sorumlu alt birimdir.

Elektronik Birimi: İHA'nın yapım amaçlarına uygun elektronik aksamın seçimi, devre şemaları ile doğru bağlantıların sağlanması ve donanımın uyumlu çalışmasından sorumlu alt birimdir.

Yazılım ve Haberleşme Birimi: İHA'nın iskelet yazılımı, elektronik haberleşmesi, otonom uçuşu ve otopilot sistem kurulumları, görüntü işleme yazılımlarından sorumlu alt birimdir.

1.3 İş Zaman Çizelgesi Planlanan ve Gerçekleşen



Şekil 1.2. İş Zaman Çizelgesi

İş zaman çizelgesinde planlanan sürecin ana ilerleme noktaları istenilen zamanlarda gerçekleşmekle birlikte nihai tasarımın imalatı gibi kritik öneme sahip durumlardan bazıları detaylı tasarım raporu ve detaylı tasarım videosu isterlerine göre ön tarihlere alınmıştır. Prototip ve nihai gövdede yapılan testler için kavramsal tasarımda planlanan zaman aralığının yetersiz olduğu görülmüştür. Herhangi bir komponentte oluşan hasar durumlarına bağlı olarak çeşitli gecikmeler yaşanmıştır. Kavramsal tasarıma ek olarak süreç anında fark edilen ve planlanan sponsor/bütçe arayışı, yedek parça üretimi gibi gereksinimler olmuştur.

2. DETAYLI TASARIM

Döner Kanatlı İnsansız Hava Aracı kategorisinde yarışmak üzere tasarlanan X-Wing, 4 rotorlu X tipi bir döner kanatlı insansız hava aracıdır. Ana bileşenleri kompozit materyalden oluşmakla birlikte bağlantı elemanları STH ve TPU filamentleri kullanılarak 3B baskı teknolojisiyle üretilmiştir. Tamamen özgün bir tasarıma sahip olan gövdesi sayesinde maksimum dayanıklılık ve minimum ağırlık hedeflenirken donanım entegrasyon kolaylığı ve emniyeti de gözetilerek dairesel delikler ve 3 katmanlı geniş yerleşim alanı tasarımın tercih sebepleri arasındadır. İniş takımlarında emniyet göz önünde bulundurularak yerle temas noktaları küresel aparatlarla yumuşak inişe elverişli hale getirilmiştir. X-Wing'in kolları ve motorları arasında bağlantı görevi gören motor takozları hafiflik ve stabilizasyon göz önünde bulundurularak T profilli tasarlanmıştır. Gerekli dayanım en hafif şekilde, optimum bütçe ile araçta yakalanmıştır. Aracın diğer bir özgün yanıysa, 4 ESC yerine aynı işlevi gören çok daha hafif bir kompakt ESC tercih edilerek araç ağırlığından avantaj sağlanmasıdır.

Araçta kullanılan karbon fiber kompozit malzemeler, kullanım alanlarının farklı ihtiyaçlarına göre sarım açıları, dokuma şekilleri ve üretim yöntemleri incelenerek en uygun bileşenlerin bir arada bulunduğu kombinasyonlar seçilmiştir. Kollar ve iniş takımlarında kullanılan borular ile şase için seçilen karbon fiber plaka %100 karbon fiber epoksi prepreg kullanılarak üretilmiş olup boruların maksimum dayanımı için katmanları hem 0° hem de 90° yönünde optimum yönlenme ile 3000 karbon filamentli üretilmiştir. Plaka ise prepregden oluşan

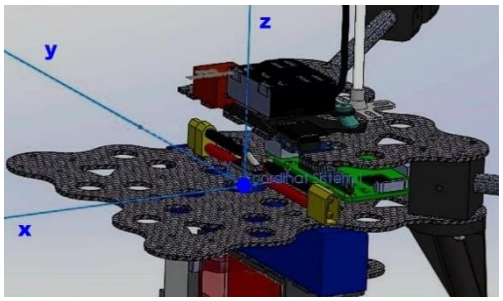
kat kat basınç altında preslenip yüksek sıcaklıklarda kontrollü olarak kürlenerek üretilmiştir. Bu şekilde prepreg sayesinde yüksek performanslı, yüksek mukavemetli, pürüzsüz yüzeyli, hafif kompozit malzeme tercihi tasarım kalitesini arttırmıştır.

2.1 Tasarımın Boyutsal Parametreleri

Koordinat eksenleri Şekil 2.1'de tanımlanan, 1875,1 g ağırlığında 600 mm çerçeve ölçüsüne sahip X-Wing ile ilgili toplam ağırlık tablosu, Tablo 2.1'de verilmiştir. Ağırlık ve denge ile ilgili veriler ise Tablo 2.2'de gösterilmiştir. Tablo verileri ortada bulunan plakanın ağırlık merkezi referans noktası alınarak hesaplanmıştır. X-Wing'te motor takozları ağırlık merkezinin düzleminden yukarıda olacak şekilde konumlandırılmış, Z ekseni yönünde bir moment kolu oluşturmak amaçlanmıştır. Bu şekilde motorların yukarıda konumlanmasıyla pilin aşağı çektiği ağırlık merkezi noktasını yukarı kaydırmak hedeflenmiştir. Tablodaki bileşenlerin sıralaması X-Wing'in motor adlandırılması dikkate alınarak yapılmıştır.

No	Parça Adı	Ağırlık (g)	Adet	Toplam Ağırlık (g)
1	Pixhawk	38	1	38
2	Pixhawk Yatağı	14	1	14
3	ESC	28	1	28
4	GPS Modülü	23	1	23
5	Buzzer	0,1	1	0,1
6	Kumanda Alıcısı	14	1	14
7	Sigorta Yuvası	13	1	13
8	Sigorta	6	1	6
9	Akım Kesici	60	1	60
10	Batarya	575	1	575
11	Güç Modülü	23	1	23
12	Telemetri Adaptörü	5	1	5
13	Telemetri	5	1	5
14	3B İniş Takımı Parçaları	10	4	40
15	3B Ayak-Şase Bağlantısı	17	4	68
16	3B Motor Yatağı	31	4	124
17	3B Gövde Bağlantısı	11	4	44
18	Motorlar	102	4	408
19	Pervane Bağlantıları	12	4	48
20	Pervane	16	4	64
21	3B Kamera Yuvası	10	1	10
22	Kamera	3	1	3
23	Raspberry PI	66	1	66
24	Mekanik Bağlantı Elemanları	38	1	38
25	Karbon Fiber Plaka (Pil Yatağı)	32	1	32
26	Karbon Fiber Plaka (Gövde)	70	2	140
27	Görev-2 Su Tankı	87	1	87
28	Pompa	108	2	216
29	Karbon Fiber Motor Kolu	10	4	40
30	Karbon Fiber Ayaklar	3	4	12
31	Röle	3	2	6
32	UBEC Devresi	30	1	30
	GÖREV-1 AĞIRLIĞI			1875,1
	GÖREV-2 AĞIRLIĞI (BOŞ)			2280,1
	GÖREV-2 AĞIRLIĞI (DOLU)			2580,1

Tablo 2.1. Parça ve Toplam Ağırlık Tablosu



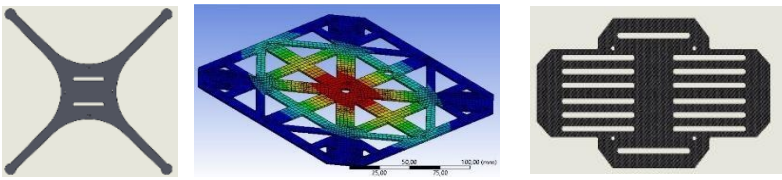
Şekil 2.1. Referans Eksenleri

No	Parça Adı	Ağırlık (g)	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	X.d (g.mm)	Y.d (g.mm)	Z.d (g.mm)
1	ESC	28	-38,2	0	3	-1069,6	0	84
2	Pixhawk	38	0	0	49	0	0	1862
3	Pixhawk Yatağı	14	0	0	36,75	0	0	514,5
4	GPS Modülü	23	60,3	0	118,3	1386,9	0	2720,9
5	Buzzer	0,1	0	45,32	36,6	0	4,532	3,66
6	Kumanda Alıcısı	14	0	-42,44	39,5	0	-594,16	553
7	Sigorta Yuvası	13	61	0	8	793	0	104
8	Akım Kesici	60	40,6	50	8	2436	3000	480
9	Sigorta	6	68,9	55	8	413,4	330	48
10	Batarya	575	0	0	-18	0	0	-10350
11	Güç Modülü	23	9	60	9,5	207	1380	218,5
12	Telemetri Adaptörü	5	0	42,93	34,77	0	214,65	173,85
13	Telemetri	5	0	42,93	37,64	0	214,65	188,2
14	3B Motor Yatağı 1	31	212,1	212,1	21,98	6576,03	6576,03	681,38
15	3B Motor Yatağı 2	31	-212,1	-212,1	21,98	-6576,03	-6576,03	681,38
16	3B Motor Yatağı 3	31	212,1	-212,1	21,98	6576,03	-6576,03	681,38
17	3B Motor Yatağı 4	31	-212,1	212,1	21,98	-6576,03	6576,03	681,38
18	3B Gövde Bağlantısı 1	11	79,2	79,2	15	871,2	871,2	165
19	3B Gövde Bağlantısı 2	11	-79,2	-79,2	15	-871,2	-871,2	165
20	3B Gövde Bağlantısı 3	11	79,2	-79,2	15	871,2	-871,2	165
21	3B Gövde Bağlantısı 4	11	-79,2	79,2	15	-871,2	871,2	165
22	Motor 1	102	212,1	212,1	45,33	21637,26	21637,26	4623,2
23	Motor 2	102	-212,1	-212,1	45,33	-21637,3	-21637,3	4623,2
24	Motor 3	102	212,1	-212,1	45,33	21637,26	-21637,3	4623,2
25	Motor 4	102	-212,1	212,1	45,33	-21637,3	21637,26	4623,2
26	Pervane Bağlantıları 1	12	212,1	212,1	45,33	2545,56	2545,56	543,9
27	Pervane Bağlantıları 2	12	-212,1	-212,1	45,33	-2545,56	-2545,56	543,9
28	Pervane Bağlantıları 3	12	212,1	-212,1	45,33	2545,56	-2545,56	543,9
29	Pervane Bağlantıları 4	12	-212,1	212,1	45,33	-2545,56	2545,56	543,9
30	Pervane 1	16	212,1	212,1	62	3394,08	3394,08	992
31	Pervane 2	16	-212,1	-212,1	62	-3394,08	-3394,08	992
32	Pervane 3	16	212,1	-212,1	62	3394,08	-3394,08	992
33	Pervane 4	16	-212,1	212,1	62	-3394,08	3394,08	992
34	Mekanik Bağlantı Elemanları	38	0	0	0	0	0	0
35	3B Kamera Yuvası	10	80,2	0	8	802	0	80
36	Kamera	3	80,2	0	8	240,6	0	24
37	Raspberry PI	66	57,6	-12,37	3	3801,6	-816,42	198
38	Karbon Fiber Plaka (Pil Yatağı)	32	0	0	-35	0	0	-1120
39	Karbon Fiber Plaka (Gövde) 1	70	0	0	31	0	0	2170
40	Karbon Fiber Plaka (Gövde) 2	70	0	0	0	0	0	0
41	Pompa 1	108	65,96	0	-83,78	7123,68	0	-9048,2
42	Pompa 2	108	-65,96	0	-83,78	-7123,68	0	-9048,2
43	3B Ayak-Şase Bağlantısı 1	17	62	62	-13	1054	1054	-221
44	3B Ayak-Şase Bağlantısı 2	17	-62	-62	-13	-1054	-1054	-221
45	3B Ayak-Şase Bağlantısı 3	17	62	-62	-13	1054	-1054	-221
46	3B Ayak-Şase Bağlantısı 4	17	-62	62	-13	-1054	1054	-221
47	3B İniş Takımı Parçası 1	10	144,5	144,5	-349	1444,7	1444,7	-3490
48	3B İniş Takımı Parçası 2	10	-144,5	-144,5	-349	-1444,7	-1444,7	-3490
49	3B İniş Takımı Parçası 3	10	144,5	-144,5	-349	1444,7	-1444,7	-3490
50	3B İniş Takımı Parçası 4	10	-144,5	144,5	-349	-1444,7	1444,7	-3490
51	Görev 2 Su Tankı	87	0	0	-71,4	0	0	-6211,8
52	Karbon Fiber Motor Kolu 1	10	145,4	145,4	15	1454,1	1454,1	150
53	Karbon Fiber Motor Kolu 2	10	-145,4	-145,4	15	-1454,1	-1454,1	150
54	Karbon Fiber Motor Kolu 3	10	145,4	-145,4	15	1454,1	-1454,1	150
55	Karbon Fiber Motor Kolu 4	10	-145,4	145,4	15	-1454,1	1454,1	150
56	Karbon Fiber Ayak 1	3	101,4	101,4	-115,5	304,116	304,116	-346,4
57	Karbon Fiber Ayak 2	3	-101,4	-101,4	-115,5	-304,116	-304,116	-346,4
58	Karbon Fiber Ayak 3	3	101,4	-101,4	-115,5	304,116	-304,116	-346,4
59	Karbon Fiber Ayak 4	3	-101,4	101,4	-115,5	-304,116	304,116	-346,4
60	Röle-1	3	-81	-54	8	-243	-162	24
61	Röle-2	3	-83	-54	8	-249	-162	24
62	UBEC Devresi	30	-52	-55	12	-1560	-1650	360
63	Alınan Su	300	0	0	-71,4	0	0	-21420
	Görev 1 Ağırlık Merkezi					4,805557	1,990962	5,5169
	Görev 2 Ağırlık Merkezi (BOŞ)					3,052015	0,771568	-5,9451
	Görev 2 Ağırlık Merkezi (DOLU)					2,697144	0,681854	-13,556

Tablo 2.2. Malzeme Ağırlık ve Denge Tablosu

2.2 Gövde ve Mekanik Sistemler

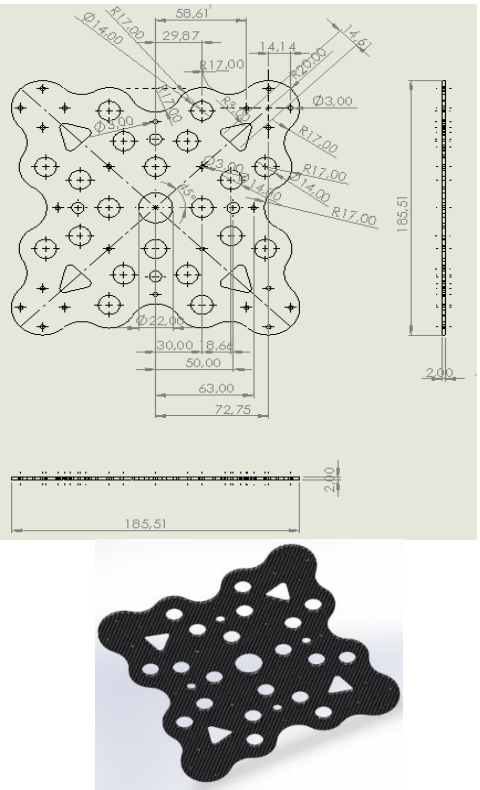
X-Wing, manevra kabiliyeti ve kontrol edilebilirliği göz önünde bulundurularak 4 rotorlu, İHA tipleri arasında imalat kolaylığı ve stabilite parametreleri açısından uygunluğu ile X kol tipinde tasarlanmıştır. Aracın tasarım aşamalarında 3 seçenek tartışıldı. İlk olarak Şekil.2.2'de görülen yekpare bir gövde tasarımı ile kol-şase bağlantıları ve motor takozlarının kullanımını ortadan kaldırılarak daha hafif bir tasarım seçeneği değerlendirildi. Yapılan araştırmalar üzerine kompozit plakaların, farklı yönlerde farklı esneme davranışları gösterdiği ve bu durumun sağlıklı bir uçuş açısından risk oluşturduğu görüldü.



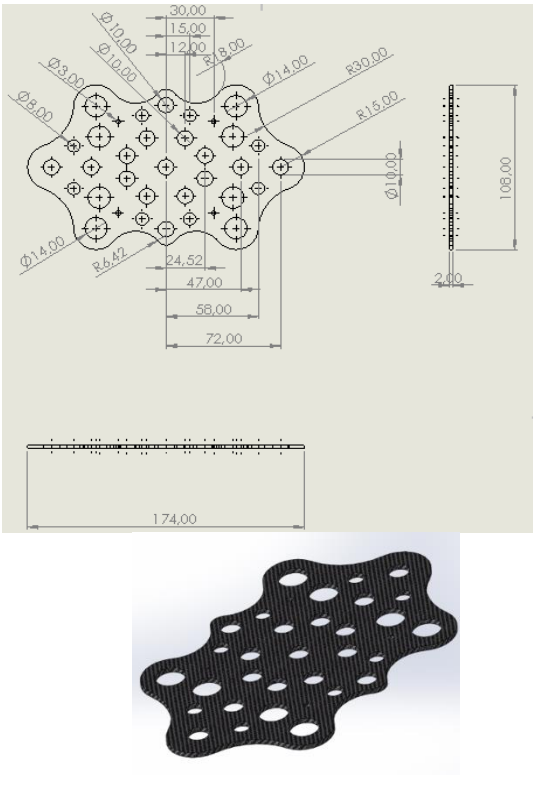
Şekil 2.2.(Soldan sağa) Yekpare Tasarım, Prototip Şase Tasarım, Prototip Pil Yatağı Tasarım

İkinci olarak dikdörtgen profilli kollar kullanılarak, kol-şase bağlantı elemanları kullanılmayan tasarımın uygun olabileceği düşünüldü. Araştırmalar sonucu dikdörtgen profilli boruların eksenel yüklere karşı yüksek dayanım gösterdiği ve iyi bir rijitliğe sahip olmasının yanı sıra burkulma ve kesme yönlerinde dayanımının yuvarlak profilli borulara göre daha az olduğu görüldü. X-Wing'in kolları, aracın en kritik dayanım gerektiren noktaları olması sebebiyle ve dairesel profillerin hava direncini azaltacağı öngörülerek daha emniyetli üçüncü seçenek olan dairesel profilli borularda karar kılındı. Dairesel profilli boru seçimine gelindiğinde karbon fiberden boru üretmek için kullanılan imal yöntemleri araştırıldı. Filament sarım yönteminin genellikle daha büyük çaplı boruların üretiminde kullanıldığı piyasa araştırmaları sonucu gözlendi. Pultrüzyon yöntemi, daha ucuz olmasının yanı sıra elyafların tümü boru ekseni boyunca yönlendirilmiş olduğundan dikdörtgen profilli borularda olduğu gibi eksenel gerilmelere karşı dayanıklı iken burulma veya kesme gerilmeleri oluştuğu halde kolayca ayrılabildiği sonucuna varıldı. Çekme örgülü karbon fiber boru imalat yöntemi ise pultrüzyon yöntemine benzer olmakla birlikte bu yöntemde farklı açılarda katman eklentileri yapılabildiği fakat her ne kadar bu yöntemle üretilen ±45 derece ve ±37 dereceli katman sarımlarına sahip olan dikdörtgen profilli karbon fiber borularla karşılaşılmış olsa da çoğunluk sarım açıları boru eksenine paralel (0º) olduğundan montajlarda bağlantıların sabitleme noktalarının yükü dağıtacak şekilde dizayn edilmesi gerektiği anlaşıldı. Son olarak X-Wing'in karbon fiber borularında tercih edilen rulo sarma imalat yöntemindeyse önceden reçine emdirilmiş (prepreg) kumaş farklı elyaf yönelimli katmanlar halinde serilerek üretim gerçekleşmektedir. Bu imalat yöntemiyle prepreg kullanılarak kumaşın kuru kalma veya fazla reçine emme riskleri bertaraf edilmiş, mukavemet kaybı olmaksızın standart kalitede ürün çıktısı göz önünde bulundurularak tercih bu yönde kullanılmıştır. Kullanılan karbon fiber daire profilli boru kollar mukavemet gereksinimleri ve ağırlık optimizasyonları yapılarak dış çap 10 mm, iç çap 8 mm boyutlarında

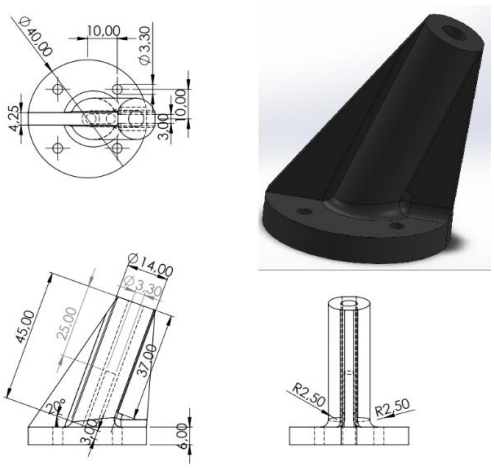
1m olarak satın alınmış kıl testere yardımıyla çerçeve ölçüsünü 600 mm'ye tamamlayacak şekilde dört parça halinde kesilmiştir. İniş takımları dayanım şartlarını minimum ağırlık ile karşılamak amacıyla dış çap 5 mm, iç çap 4 mm boyutlarında yine 1 m olarak satın alınmış ve kıl testere yardımıyla 25 cm'lik dört parçaya bölünmüştür. Karbon fiber gövde ise karbon fiber epoksi prepregin yüksek sıcaklık ve basınç altında preslenmesiyle üretilen 2 mm kalınlığında 500 mm boy ve 500 mm genişliğinde plakadan üst şase, alt şase ve pil yatağı olmak üzere üç parça halinde CNC tezgâhta freze ile işlenmiştir. Kullanılan karbon elyaf prepreg sayesinde yüksek performanslı, pürüzsüz yüzeyli, mükemmel düzlükte ve hafiflikte şase parçaları elde edilmiştir. Şase tasarımında önce plaka üzerinden dayanımı minimum oranda olumsuz etkileyerek ağırlık azaltmak amacıyla üçgen parçalar çıkarılarak Şekil 2.2'deki gibi kafes yapısı oluşturulmuş, 3B yazıcı ile prototipi imal edilmiştir. Testler sonucunda elektronik aksam bağlantılarının geçeceği deliklerin dairesel olmasına karar verilmiştir. Sonrasında Ansys analiz programı üzerinden topoloji analizi yapılmış ve analiz sonucundan ilham alınarak tasarımda yeniliklere gidilmiştir. Şekil 2.3'de gösterilen yeni ortaya koyulan tasarım 3B yazıcı ile imal edilerek test edilmiştir. Tasarım yuvarlak hatlarıyla, daha dayanıklı ve daha hafif yapısıyla diğer tasarımdan mekanik olarak daha üstün performans sergilemiş ve nihai durumuna ulaşmıştır. Üst ve alt plakada aynı tasarım kullanılmakla birlikte, pil yatağında benzer tasarım aşamaları izlenerek ilk olarak Şekil 2.2'de görüldüğü gibi tasarlanan pil yatağı Şekil 2.4'deki nihai görüntüsüne ulaşmıştır. Pil yatağı tasarımında pilin yerleşim yeri dışında kalan dairesel delikler Görev-2 sırasında kullanılacak olan su tankının montajı için konumlandırılmıştır.



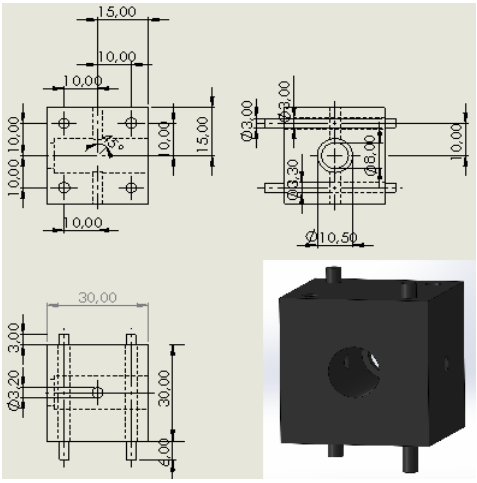
Şekil 2.3. (Yukarıdan aşağıya) Şase teknik çizimi ve perspektif görüntüsü (mm)



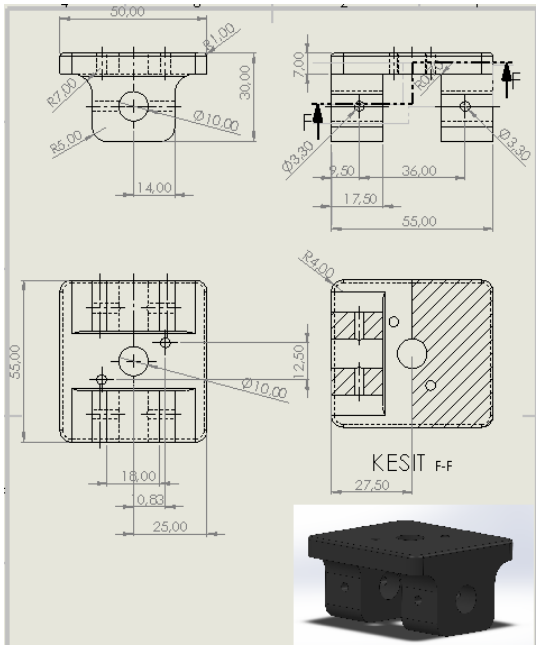
Şekil 2.4. (Yukarıdan aşağıya) Pil yatağı teknik çizimi ve perspektif görüntüsü (mm)



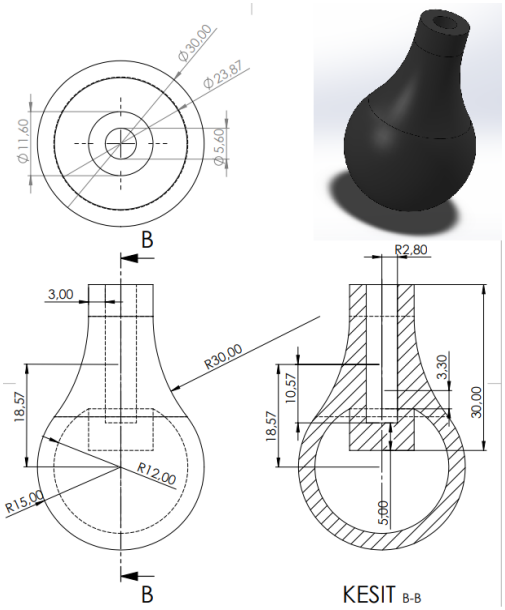
Şekil 2.5. Ayak-Şase Bağlantıları (mm)



Şekil 2.6. Kol-Şase Bağlantıları (mm)



Şekil 2.7. Motor Takozları (mm)



Şekil 2.8. İniş Takımı Küresel Aparatları (mm)

Karbon fiber plakadan gövdeyi işlemek için farklı yöntemler karşılaştırılmıştır. İlki çalışma alanında kolaylıkla erişilebilir olan kıl testere olmakla birlikte bu seçenek X-Wing'in karmaşık tasarım geometrilerine uygun olmadığı için kullanılmamıştır. Diğer bir seçenek modern imalat yöntemlerinden biri olan su jetiyle işleme olarak düşünülmüş fakat yüksek maliyet ve bütçe kısıtları nedeniyle uygulanmamıştır. CNC tezgâhta freze yöntemiyle işlemenin tasarım kriterlerine uygun bir yüzey özelliği ve tolerans aralığı verdiği araştırmalar sonucunda görülmüş, maliyet açısından daha optimal bir seçenek olduğuna karar verilmiştir. X-Wing'in motor-kol bağlantısını sağlayan motor takozları karbon fiber boru desteğinden maksimum yararlanılabilecek şekilde ağırlık kısıtları gözetilerek T profilli tasarlanmıştır. Kolların gövde ile bağlantısını sağlayan ara elemanlar küp şeklinde bir yapı olarak tasarlanmış, karbon borunun sabitleneceği delik içerisine Şekil 2.6 'da görülen bir durdurucu eklenerek montajda kaymaların önüne geçilmiştir. Ayakların gövdeye bağlantısını sağlayan ara elemanlarda, Şekil 2.5'deki boruya geçmeli tasarlanan delikleri sayesinde iniş takımlarının temas yüzey alanı arttırılarak

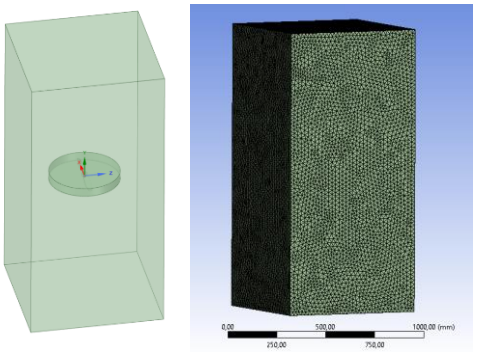
daha sağlam bir montaj hedeflenmiştir. Motor takozları ve kol-şase bağlantıları, gelişmiş biyopolimer filamentlerden biri olan STH filamentinden 3B yazıcıyla üretilmiştir. STH tercih edilme nedenleri, ABS filamentine göre daha dayanıklı olması ve PLA filamentine göre çok daha fazla ısı dayanımı sağlayarak montajı kolaylaştırmasıdır. Son olarak X-Wing' in emniyetli ve yumuşak iniş sağlayabilmesi için, esnek ve tok yapısı nedeniyle TPU filamentinden 3B baskı yöntemiyle ayak-şase bağlantıları ve küresel parçaları üretilmiştir.

Şekil 2.9. X-Wing Yapısal konfigürasyon çizimleri (ön görünüş ve perspesktif)

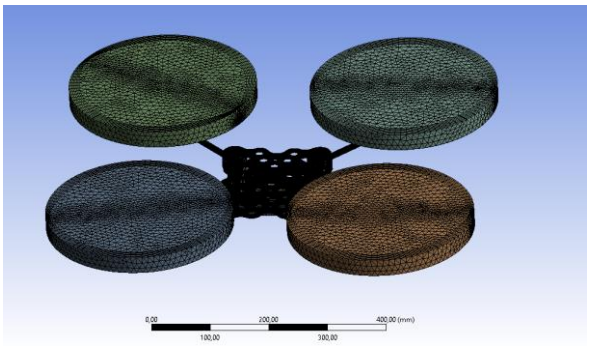
Şekil 2.10. X-Wing Sistem yerleşimi (ekipman, bileşenlerin dış– iç yerleşimi)

2.3 Aerodinamik, Stabilite ve Kontrol Özellikleri

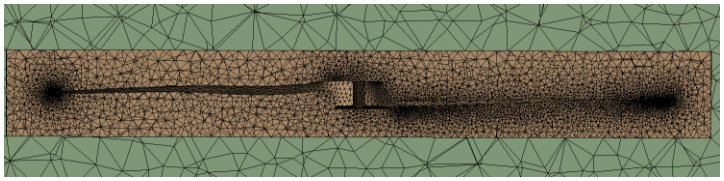
X-Wing'de, SunnySky V3508 580 KV disk fırçasız motor ve 12x3.8 boyutlarında pervane kullanılmıştır. Aerodinamik analiz için 12x3.8 ve 24x12 boyutlarında iki ayrı pervane, değişen pervane çapı ve pitch değerini daha iyi anlamak için analiz edilmiştir. Analiz için uygun hava sahası pervaneyi saracak şekilde 370 mm çaplı bir dönen etki alanı (rotational domain) ve ardından şeklin genelinde 700x700x700 boyutlarında genel statik bir alan yaratılmıştır. Ağda kullanılan element sayısı 1491424'tür. Analiz sürecinin hızlanması için element sayısı azaltılmıştır. Modelin plan kısmı oluşturulurken zamana bağlı (transient) çözdürülüp yer çekimi ve rüzgâr da hesaba katılmıştır. Ayrıca k-epsilon realizable modeli kullanılmıştır. Ağın yaratabileceği iyileştirme problemlerinden kaçınmak için ise Standart Duvar fonksiyonu (Standart Wall function) yerine 'Ölçeklenebilir Duvar Fonksiyonu (Scalable Wall function)' kullanılmıştır. Sınır koşulu olarak hafif rüzgâr için 3 m/s giriş hızı verilmiştir. Pervaneleri kaplayan dönme alanlarına 8000 Rpm değerinde açısal hız verilmiştir.



Şekil 2.11. Statik alan ve Dönen alan

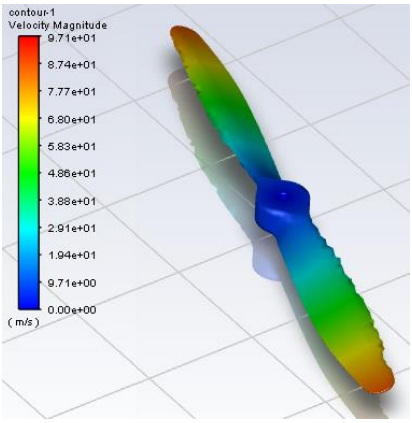


Şekil 2.12. X-Wing ağ yapısı

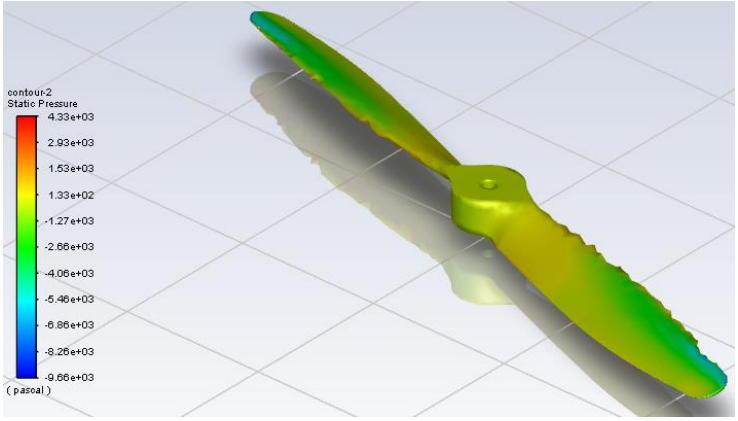


Şekil 2.13. X-Y kesit düzleminde ağ yapısı

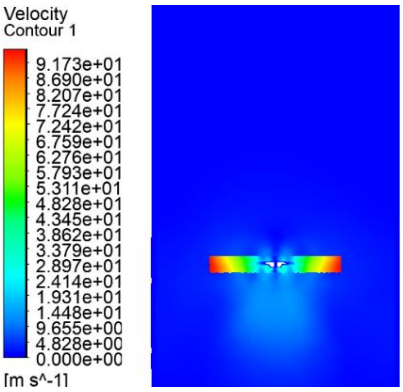
İlgili hesaplamalar yapıldıktan sonra 12x3.8 boyutlarındaki pervane için itki kuvveti 12.808355 N, pervane merkezi için toplam moment değeri ise 0.40941136 N.m çıkmıştır. Kaldırma katsayısı (Cl) 20.9116, sürüklenme katsayısı (Cd) 0.014655876, sürüklenme kuvveti ise 0.0089767239 N çıkmıştır. 24x12 boyutlarındaki pervane incelendiğinde itki kuvveti 110.66919 N, pervane merkezi için toplam moment değeri ise 5.2494245 N.m çıkmıştır. Kaldırma katsayısı (Cl) değeri 180.68438, sürüklenme katsayısı (Cd) değeri 0.64550857, sürüklenme kuvveti ise 0.395374 N çıkmıştır.



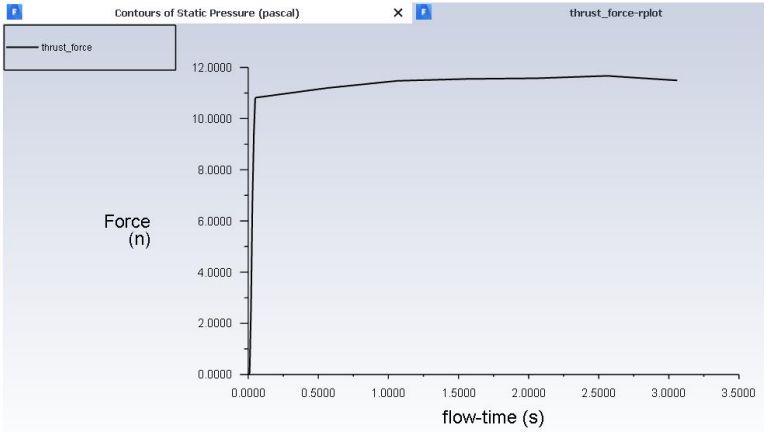
Şekil 2.14. 12x3.8 pervane üzerindeki hız dağılımı



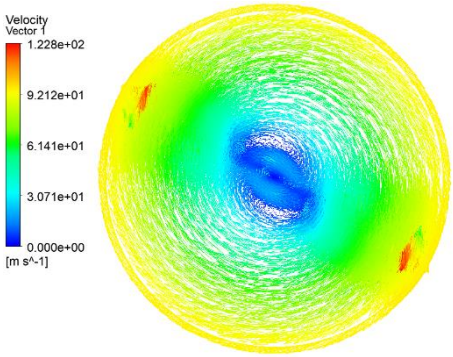
Şekil 2.15. 12x3.8 pervane üzerindeki basınç dağılımı



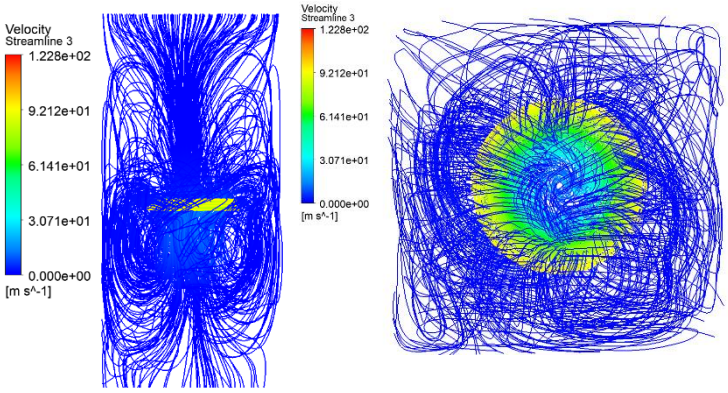
Şekil 2.16. 12x3.8 Hız konturu



Şekil 2.17. 12x3.8 boyutlarındaki pervane için itki kuvveti



Şekil 2.18. Dönen alanda hız vektörleri



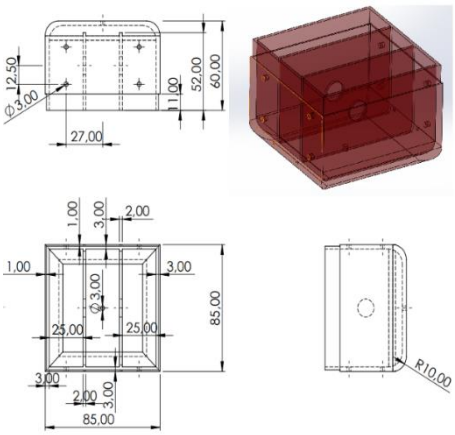
Şekil 2.19. Hız akış çizgileri ve üst görünüşü

Pervanemizin çapı ve pitch değeri arttırıldığında pervanenin itki kuvveti artarken sürüklenme kuvveti değeri de artmıştır. Ayrıca pervane üzerine binen basınç arttığından olası aksaklıklar ortaya çıkabilmektedir. Pervanenin üretici verilerine bakıldığında iki pervane için de %100 güçle itki kuvveti değeri sonuçlarının tutarlı olduğu görülmüştür. Ayrıca tüm İHA'nın modellenmesi de yapılmıştır. Pervane ile ilgili sonuçlar karşılaştırılıp bir pervane için tutarlı olduğu görülmüştür. X-Wing için ağ yapılırken pervanenin yüzeye yakın kısımlarında inflation yapılmış olup ağın element sayısı 3478268'dir.

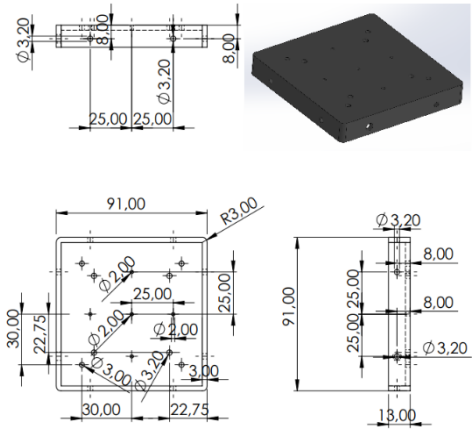
2.4 Görev Mekanizması Sistemi

Teknofest Uluslararası İHA Yarışması Kurallar Kitapçığı kapsamında tasarlanan hava aracının Görev-2'de tanıma, tutma, bırakma gibi çeşitli fonksiyonları yerine getirmesi gerekmektedir. Görev-2 başarı parametreleri olan görev süresi ve taşınan su miktarı önceliklendirilerek maksimum verim eldesiyle optimal bir sistem tasarımı amaçlanmış, mekanizmanın montaj ve demontajının kolaylığı düşünülmüştür. Su alma ve bırakma işlemlerinin aracın alçalmasıyla, altında bulunan düz bir kapla yapılmasının istenilen verimde olmadığı test edilmiş, çevresel etken risklerinden kaçınmak adına pompayla çalışan bir mekanizma tasarlanmıştır. Pompa sisteminin tercih edilmesindeki asıl amaç hava aracı üzerinde konumlanan elektronik gereçlerin su ile temas riskini minimuma indirmektir. Mekanizma içerisinde su alma, bırakma görevlerini üstlenen iki farklı pompa kullanılmış olup alma ve bırakma işlemini tek pompayla gerçekleştirebilen peristaltik pompa çeşitlerinin tercih edilmemiş olmasının sebebi düşük debili, yavaş çalışan bir aksam olmasıdır. Kullanılan pompa motorları mikro sıvı pompa motorları kategorisinde bulunan dakikada 2-3 litre sıvı çekme veya itme işlemini gerçekleştirebilen hızlı pompalardır. Pompaların 9 saniyede 300 mL su çekmesi veya itmesi beklenmektedir. Pompa kontrolü, Raspberry Pi 4B tarafından röle yardımıyla sağlanmaktadır. Pompalardan her biri 0.5A akım çekerek çalışmaktadır. Görev mekanizmasının bir diğer bileşeni olan su tankı ise 300 mL su taşıma kapasiteli olarak tasarlanmış ve 3B baskı yöntemiyle STH filamentinden üretilmiş olup havanın sürtünme direncini azaltmak amacıyla alt tarafı yuvarlatılmıştır. İstenilen miktardan fazla su çekimi

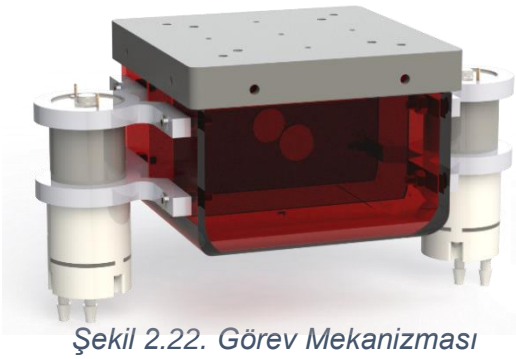
durumunda su tankının üzerine açılan delikler ile fazla suyun tanktan tahliyesi gerçekleştirilerek faydalı yük kapasitesinin optimal seviyelerde kalması hedeflenmiştir. İHA'nın ani hareketi ile tanktaki suyun bağıl hareketleri sonucu suyun çalkalanmasıyla oluşan dalgaları ve kütlesel hareketi engellemek, stabilizasyon sorunlarının önüne geçerek kararlı bir uçuş sağlamak amacıyla su tankı içerisine minimal bir dalga kıran eklenmiştir. Tank, pil yatağının dış tarafında bulunan delikler yardımıyla X-Wing'in merkezine konumlandırılmış, tankın iki yanına eş doğrultularda konumlandırılan pompalar ile silikon hortumlar kullanılmıştır. Bu konumlandırma sayesinde ağırlık merkezinden sapmaların da önüne geçilmiştir. Hortumlar, rüzgâr gibi bozucu girdilerin etkisini önlemek amacıyla iniş takımlarının ayaklarına sabitlenmiştir. Önceden yeri belirli olmayan su bırakma alanı, Görev-2 esnasında görüntü işleme yapılarak tespit edilecektir. Görevin bu yöntem ile tamamlanması hedeflenmektedir.



Şekil 2.20. Su tankı(mm)



Şekil 2.21. Su Tankı Kapağı (mm)



Şekil 2.22. Görev Mekanizması

Şekil 2.23. Görev Mekanizması Montajı

2.5 Elektrik Elektronik Kontrol ve Güç Sistemleri

X-Wing'te, ilk olarak uçuş ve görevler için yeterli donanıma sahip uçuş kontrol kartı belirlenmiştir. Uçuş kartı olarak Pixhawk 2.4.8 seçilmiştir. Ayrıca harici olarak GPS, Raspberry Pi 4B, kumanda alıcısı, güvenlik anahtarı, buzzer ve telemetri entegre edilmiştir. Ancak etrafında bulunan birçok elektronik aksam GPS ölçümlerinde sapma yaratmaktadır. Bu sapma otonom uçuşta X-Wing için tehlike oluşturduğundan, harici bir GPS elektronik aksamdan uzak bir şekilde İHA üzerine monte edilmiştir. GPS olarak Pixhawk ile uyumlu "Radiolink SE100 GPS" kullanılmıştır. Kumanda alıcısı olarak Radiolink R9DS 9 kanal 2.4GHz alıcı kullanılmıştır.

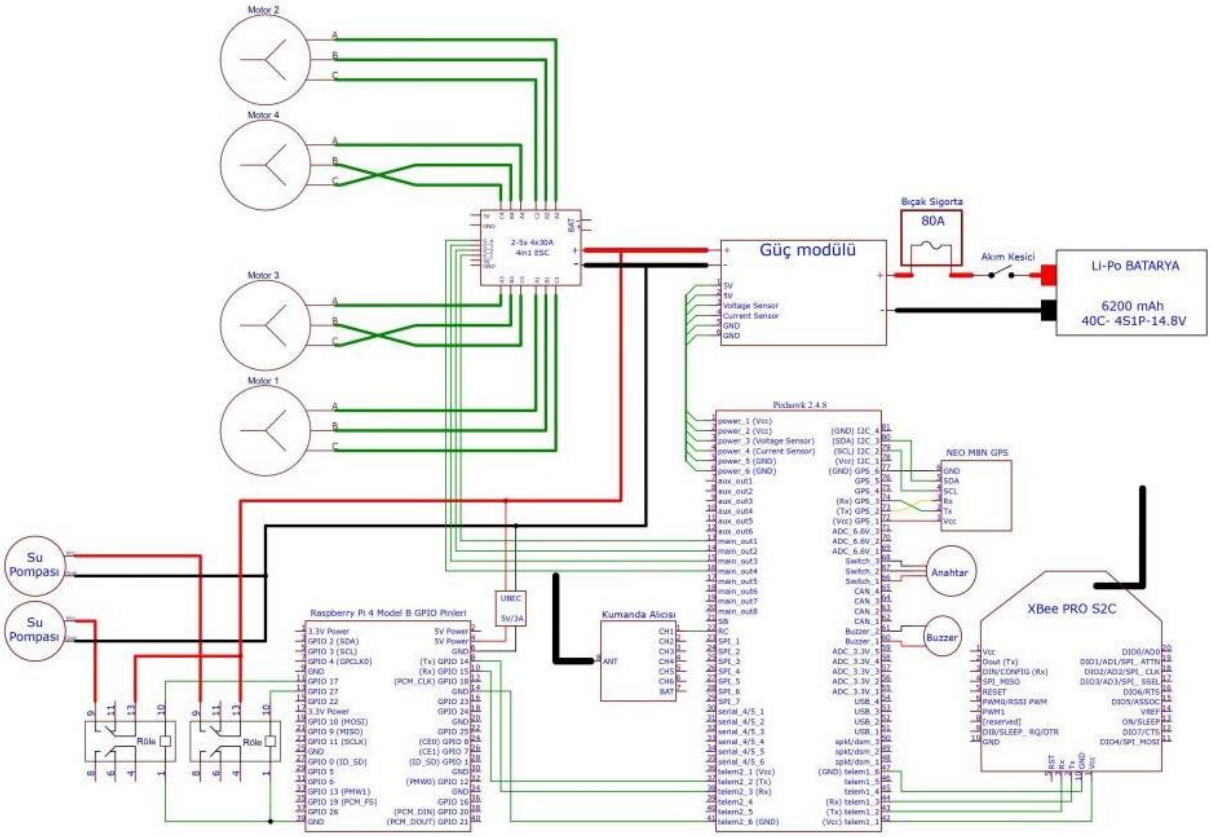
Pixhawk'a entegre edilen telemetri ise uçuş sırasında İHA'nın kablosuz olarak izlenmesi amacıyla kullanılmaktadır. Pixhawk'ın sensörlerinden alınan verileri kontrol ekranında görmeye olanak tanır. Telemetri olarak "Xbee-Pro-S2C 24CZ7WIT-004" modülü kullanılmıştır. Yarışma kuralları gereği İHA'lar çevresel faktörlerden etkilenmemek için uçtan uca şifrelemeye sahip olmalı, İHA radyo kontrol ünitesinde yaşanan bir sinyal kaybında otomatik olarak arıza emniyet sistemi moduna geçebilir özellikte olmalıdır. Araştırmalar sonucunda uçtan uca şifreleme özelliği bulunan Xbee, 2.4GHz frekansında çalışmaktadır ve uçtan uca (end-to-end encryption) 128-bit şifreleme imkânı sunmaktadır. Kontrol mekanizmasına entegre edilen son ekipman Raspberry Pi 4B'dir. Raspberry Pi, sistemimizde uçuş bilgisayarı olarak ve görüntü işleme için kullanılmaktadır. Raspberry Pi 4B, görüntü işleme görevine ek olarak Pixhawk ile haberleşerek Pixhawk'tan gelen yükseklik bilgilerine göre su pompalarının çalışmasını röle aracılığı ile kontrol etmektedir. Raspberry Pi 4B'ye üreticisi tarafından önerilen 15W gücü sağlamak için 5V/3A çıkış veren 15W UBEC devresi kullanılmıştır. Pixhawk'a güç sağlamak için 30V/90A güç modülü kullanılmıştır. Güç modülü 5V/3A çıkışlı BEC devresine sahiptir ve bu sayede Pixhawk'a gerekli güç aktarılır.

X-Wing için su taşıma görevi göz önünde bulundurulduğunda maksimum ağırlık 2.5±0.1 kg olarak tasarlanmıştır. Hesaplanan maksimum İHA ağırlığına uygun şekilde itki veren motorlar incelendiğinde en uygun motorlardan biri olan SunnySky V3508 - 580KV olduğu görülmüştür. Aracın motorları kendi fiyat kulvarında itki oranına göre daha az akım çekme avantajına sahip olan diğer motor seçeneklerine göre çok daha verimli kullanım sunmaktadır. Tablo 2.3'te verilen motor verileri incelendiğinde motoru en verimli şekilde 14.8V gerilimde ve 12x3.8 inç pervane boyutlarında çalıştırmak uygun görülmüştür. Bu sebeple 12x3.8 inç karbon fiber pervane seçilmiştir. Tablo2.3'te verilen SunnySky V3508 - 580KV ait üretici verileri (datasheet) incelendiğinde, 4 motor aynı anda %65 gaz ile çalışırken yaklaşık olarak 2840g (4*710g) itki verirken 18A (4*4.5A) akım çektiği görülmüştür. Motorlar %100 gaz altında çalışırken, motor başı 14.1A akım çekildiğini görülmektedir. Belirlenen pil gerilimi ve maksimum motor akımları dikkate alındığında seçilen ESC'lerin 4S gerilime ve minimum 20A akım değerine uyumlu olması gerekmektedir. ESC olarak "Eachine 4in1 4x30A ESC BLHeli_S 2-5S Dshot600" tercih edilmiştir. ESC 120A sürekli akımda çalışmaktadır. Ayrıca maksimum 140A akımda 10 saniye boyunca çalışabilmektedir. 4'ü 1 arada olarak seçilen ESC 28 g ağırlığındadır. Böylece İHA'nın ağırlığından kazanç sağlanmıştır. Sistemin teorik olarak maksimum çekebileceği anlık akım 67A olarak belirlenmiştir. Pil seçiminde ise motorların daha verimli çalışması için 14.8V (4S) Li-Po pil tercih edilmiştir. X-Wing'in maksimum ağırlık altında ortalama %65 gaz ile uçtuğu gözlemlenmiş olup 6200mAh kapasiteli bir pil maksimum yaklaşık 15 dk uçuş süresi sağlamaktadır. Sonuç olarak 4S-6200mAh – 40C'lik Li-Po pil tercih edilmiştir. Pil 575 g ağırlığında ve boyutları 160x50x32 mm'dir. Pil tercihi, motorlara ve performansa bağlı olarak en optimum şekilde seçilmiştir. Son olarak sisteme güvenlik amacıyla bıçak sigorta

eklenmiştir. Sistemde en düşük akım seviyesine güç modülü sahiptir ve maksimum 90A geçirebilmektedir. Bu sebeple sisteme eklenen sigortanın maksimum 90A olması gerekmektedir. Sistemin çekeceği maksimum akım değeri 67A'dir. Buna ek olarak 90A üzeri akımlarda güç modülü zarar görecektir. Bu durumlar göz önünde bulundurulduğunda 80A bıçak sigorta seçilmiştir. Ayrıca sistem güvenliği için devreye akım kesici eklenmiştir. Şekil 2.24'te detaylı devre şeması verilmiştir.

Pervane (inch)	Voltaj (V)	Gaz	Akım (A)	İtki (g)	Devir (RPM/dk)	Güç (W)	g/w oranı	10 dk. boyunca %100 gaz altında sıcaklık (℃)
APC 12x3.8	14.8	%50	2.5	480	5065	37	12.972973	56
		%65	4.5	710	5742	66.6	10.660661	
		%75	8.3	1020	6870	122.84	8.3034842	
		%85	10.6	1140	7305	156.88	7.2667007	
		%100	14.1	1360	7910	208.68	6.5171555	

Tablo 2.3. SunnySky V3508 – 580KV Datasheet



Şekil 2.24. Devre Şeması

Otonom uçuş sistem mimarisinin ana unsurları uçuş kontrol kartı ve yer istasyonudur. X-Wing'in X tipi bir dört rotorlu döner kanatlı İHA olması üzerine uçuş kontrol kartına uygun otopilot yazılımı yüklenmiştir. Otopilot olarak ise Ardupilot otopilot yazılımının ArduCopter versiyonu tercih edilmiştir. Yer kontrol istasyonu olarak ise Ardupilot yazılımı ve uçuş kontrol kartı ile uyumlu çalışan Mission Planner tercih edilmiştir. Uçuş kontrol kartı ile yer kontrol istasyonunun bağlantı ve haberleşmesi Telem1 portuna bağlanan Xbee Pro S2C telemetri modülü ile sağlanmıştır. Yer kontrol istasyonu üzerinden, uçuş verilerini incelemekten otonom uçuşun planlanmasına kadar birçok fonksiyon yapılabilmektedir. Otonom uçuş, yer kontrol istasyonu üzerinden oluşturulan rota ile sağlanacaktır. Otonom uçuş rotası harita üzerinden kalkış, iniş, ara noktaları (waypoint) belirlenip ardından bu noktaların konumu, hızı, dönme açısı gibi değerler belirlenerek oluşturulmuştur. Otopilot oluşturulan rotayı gerçekleştirebilmek için uçuş kontrol kartına bağlı GPS modülü, uçuş kartı içerisinde bulunan işlemci, jiroskop, ivmeölçer, barometre, manyetometreden alınan verileri kendi yazılımı üzerine işleyerek otonom uçuşu gerçekleştirir. Görev-1 için olan otonom uçuş planlanan rota ile gerçekleştirilecektir. Görev-2 için olan otonom uçuş ise planlanan rotaya ek olarak yazılan otonom uçuş yazılımı ile gerçekleştirilecektir. Görev-2 için yazılan otonom uçuş yazılımı, görüntü işleme ile tespit edilmesi gereken su bırakma alanının tespitinin ardından X-Wing'in su bırakma alanına güvenli ve otonom bir şekilde ulaşmasını, daha sonrasında ise su bırakma işlemini gerçekleştirerek otonom uçuşuna devam etmesini sağlamaktadır.

2.6 Hedef Tespit ve Tanıma Sistemi

2021 Teknofest Uluslararası Kurallar Kitapçığı kapsamında tanımlanan görevler incelenmiş, hedef tespit, tanıma ve tespit edilen hedefe yönelim amacıyla çalışmalar yürütülmüştür. Su bırakma alanının tespiti, su bırakma alanına yönelim ve su bırakma işleminin kontrolü için uygun algoritmalar oluşturulmuştur. Hedef tespiti işlemi görüntü işleme (image processing) tekniği kullanılarak yapılmıştır. X-Wing üzerindeki uçuş bilgisayarına bağlı kameradan alınan görüntüler, uçuş bilgisayarı üzerinde işlenerek görüntü işleme yapılması amaçlanmıştır. Bu işlemin ardından X-Wing' in hedefe yönelmesi ve güvenli bir şekilde alçalıp su bırakma işleminin yapılması sağlanmıştır. Görüntü işleme ve yönelim algoritmaları için bilgisayar görüşü desteğine sahip, kompleks matematiksel işlemler yapabilen ve otopilotlarla iletişim kurabilen geniş kütüphane desteğine sahip Python programlama dili tercih edilmiştir. Python kütüphanelerinden OpenCV, Numpy ve DroneKit kullanılmıştır. OpenCV, görüntü işleme için gerekli tüm fonksiyonları içinde bulundurmasıyla avantaj sağlamaktadır. Numpy, çok boyutlu dizilerle ve matrislerle çalışmaya olanak sunmaktadır. DroneKit ise X-Wing' in uçuş bilgisayarında çalışan ve hem hesaplama açısından yoğun olan hem de düşük gecikmeli bir bağlantı gerektiren otonom uçuş görevlerinin gerçekleştirilmesini sağlayan bir kütüphanedir. Görüntü işleme için kullanılan algoritma, su bırakma alanının kırmızı renk olması üzerine

kırmızı tespit algoritması olarak tercih edilmiştir. Bu algoritma için kameradan alınan görüntüyü HSV (ton, doygunluk, değer) renk uzayına dönüştürüp ardından görüntü üzerine uygun filtreleme, morfolojik operasyon ve görüntü iyileştirme işlemleri uygulanmıştır. Görüntü üzerinden tercih edilen rengin tespiti için yazılım ekibi tarafından belirlenen HSV uzayına göre olan renk değerleri arasında maskeleme işlemi gerçekleştirilmektedir. Maskeleme işlemi görüntüdeki daha önceden belirlenmiş HSV aralığı dışında kalan alanların filtrelenmesiyle gerçekleşir. Maskeleme işleminin ardından görüntüdeki maskelenmemiş kırmızı renklerin etrafına kontur çizdirilip çizdirilen konturun yardımıyla moment fonksiyonu kullanarak hedefin ağırlık merkezi hesaplanmaktadır. Kontur bir rengin görüntü içerisindeki sahip olduğu tüm sürekli noktaları birleştiren kapalı bir eğridir. Bu algoritma sayesinde kırmızı renkleri rahatça tespit edip, tespit edilen kırmızı renkli hedefin ağırlık merkezinin, konumunun, boyutunun bulunmasına kadar birçok işlem yapılabilmektedir. Görev-2 içerisinde ilk uçuş turunda kırmızı su bırakma alanın görüntü işleme ile tespiti gerçekleşmesiyle konumunun kaydedilmesi sağlanmıştır. Ardından gerçekleşecek olan 2. uçuş turu içerisinde X-Wing' in su alma işlemi gerçekleştikten sonra konumu ilk turda tespit edilip kaydedilen su bırakma alanına uçuş hızı azaltılmış ve güvenli bir şekilde yaklaşarak su bırakma işlemini gerçekleştirip rotasına devam ederek görevini bitirmesi planlanmaktadır. Bu işlemler sırasındaki amaç hedef isabet oranını arttırırken oluşabilecek riskleri minimuma indirmektir. Ayrıca geçmiş senelerde yapılan yarışmaların videoları detaylıca incelenmiş olup en çok hasarın ve problem yaşanan kısmın, su alma ve su bırakma kısmı olduğu görülmüştür. Bu kısımlardaki güvenlik önlemlerine takım tarafından ayrıca özen gösterilmiştir. Bu amaçla su bırakma ve alma işlemi sırasında olası hasarların önüne geçmek için ani manevralardan, ani yükseklik değişimlerinden ve yüksek hızdan kaçınılmıştır. Kullanılan uçuş kontrol kartı Pixhawk 2.4.8 modelinde bulunan STM32F427 ana ve STM32F103 yedek işlemci, jiroskop, ivmeölçer, barometre sayesinde uçuş bilgisayarından X-Wing'in kontrolü için gönderilen komutlar uygun bir şekilde gerçekleştirilecektir. Yapılacak görüntü işleme için uygun uçuş bilgisayarı seçiminde öncelikle yazılımcılar tarafından yazılan algoritmanın ihtiyaç duyduğu minimum, stabil ve maksimum işlem güçleri tespit edilip, yapılan testler sonucunda en yüksek ve stabil performans veren Raspberry Pi 4B 2GB mikro bilgisayar modeli seçilmiştir. Uçuş bilgisayarımızda bulunan 1.5GHz dört çekirdekli ARM Cortex-A72 işlemci, 2GB RAM, kendine uygun ve özgü kamera modülü sayesinde yapılacak olan görüntü işleme için yeterli FPS (saniyedeki kare sayısı) ve görev algoritması için gerekli performansın alınması sağlanmıştır. Kamera olarak ise uçuş bilgisayarı ile uyumlu, Görev-2 hedef isabet oranını arttırmak amacıyla yüksek çözünürlükte görüş sunan ve 8 g ağırlığıyla emsallerine kıyasla en hafif seçeneklerden biri olan Raspberry Pi Camera Module V2 tercih edilmiştir. Görüntü işleme adımında hayati öneme sahip olan kamera için kullanılan V2 kamera modülü 8 megapiksel olup 1080p çözünürlüğe kadar

desteklemektedir. Böylece hedef tespiti, tanıma ve hedefe yönelim için yapılan tüm sistem mimarisinin birbiriyle uyumlu şekilde çalışması planlanmaktadır.

2.7 Uçuş Performans Parametreleri

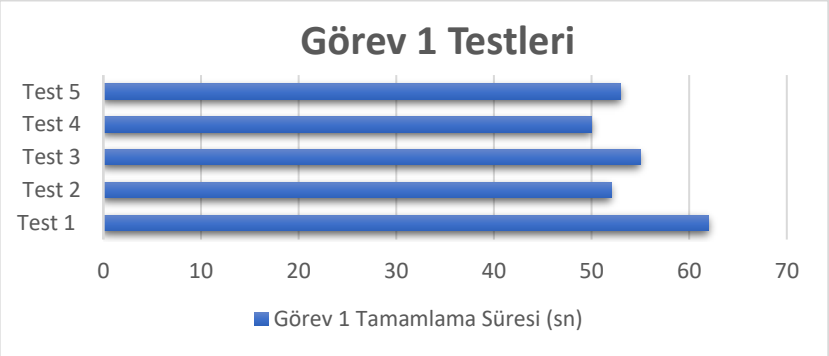
İHA'nın uçuş performans parametleri yapılan deneme uçuşları , yapılan teknik hesaplamalar ve teknik testler sayesinde belirlenmiştir. Uçuş performans parametleri içerisinde genel özellikler, manevra ve dönüş kabiliyeti ve görevler için denenen testler yer almaktadır. İHA'nın teknik uçuş özelliklerine ve İHA'nın gerekli güç özelliklerine Tablo 2.4'te değinilmiştir.

Seyir Hızı	5m/s
Maksimum Hız	18 m/s
Havada Kalma Süresi	11 dakika
Toplam Maksimum Ağırlık	2580,1 g
Ortalama Kalkış Ağırlığı	2280,1 g

Tablo 2.4. Teknik Uçuş Özellikleri

İHA maksimum ağırlık altında 25A akım çekmektedir. Bu durumda minimum 10dk uçmak için 25000mA*10/60 = 4200mAh ve üzeri batarya seçimi yapılmalıdır. Görev-2'de alınacak su kapasitesinin değişimi ve maksimum ağırlıktaki olası artış göz önünde bulundurulduğunda 6200mAh batarya tercih edilmiştir. Sistem maksimum 67A akım çekmektedir. Yani seçilen pil sisteme 67A ve üzeri akım sağlayabilmelidir. Bu özelliği karşılamak için 6200mAh kapasiteli bir pilde seçilen C değeri minimum 11C olmalıdır. Ancak piyasada satılan piller standart değerlere sahip olduğu için seçilen pil 40C değerine sahiptir. Sonuç olarak 4S-6200mAh – 40C'lik Li-Po pil tercih edilmiştir.

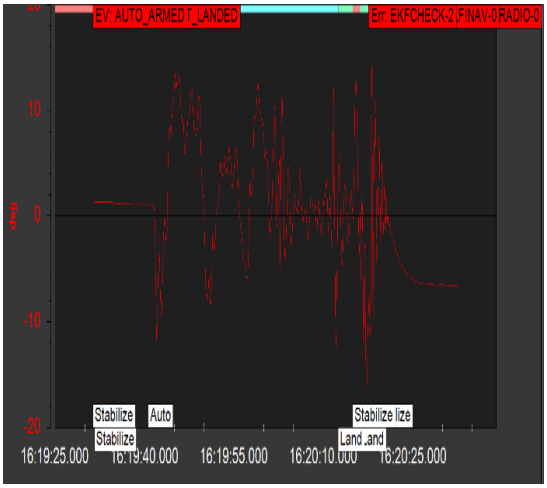
Yapılan uçuş denemeleri içerisinde Görev-1 ve Görev-2 deneme testleri icra edilmiştir. Görev-1 testinde bir futbol sahası içerisinde biri dönüş direği olmak üzere 3 adet direk belirlenmiştir. Belirlenen 2 direk arası yaklaşık 80 metredir. Direkte dönüş hareketi en az 5 metrelik dönüş yarıçapı ile gerçekleştirilmiştir. Tam otonom gerçekleşen Görev-1 testleri başarı ile icra edilmiştir. Alttaki grafikte ise görev 1 testlerinin tamamlanma süreleri gösterilmiştir.



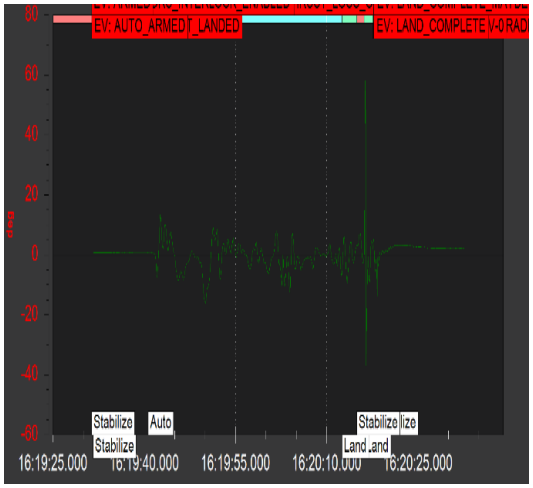
Şekil 2.25. Görev-1 Testleri

İHA'nın manevra ve dönüş kabiliyetlerini gösteren Yatış (Roll), Yunuslama (Pitch) ve Dönüş (Yaw) eksenlerine ait grafikler şekilde 2.26'da gösterilmiştir. Şekil 2.26(a) gösterilen grafik bir deneme uçuşumuza ait Pitch eksenine ait dönüş grafiğidir. Bu uçuşumuzda Yunuslama (Pitch) eksenimizde maksimum 15.48 ve minimum -16.63 derecelik yunuslama hareketi gerçekleştirilmiştir. Ortalama olarak ise 0.36 derecelik açısı elde edilmiştir. Şekil 2.26(b)'de gösterilen grafik ise Yatış (Roll) eksenimize ait dönüş grafiğidir. Maksimum 57.94 ve minimum -37 derecelik yatış gerçekleştirilmiştir. Ortalama olarak ise 0.17 derecelik açı elde edilmiştir. Son olarak Şekil 2.26(c)'de gösterilen Dönme (Yaw) ekseni grafiğimizde minimum 0.59 maksimum 350.97 derecelik dönüş gerçekleştirilmiştir. Ortalama açı ise 60 derecedir.

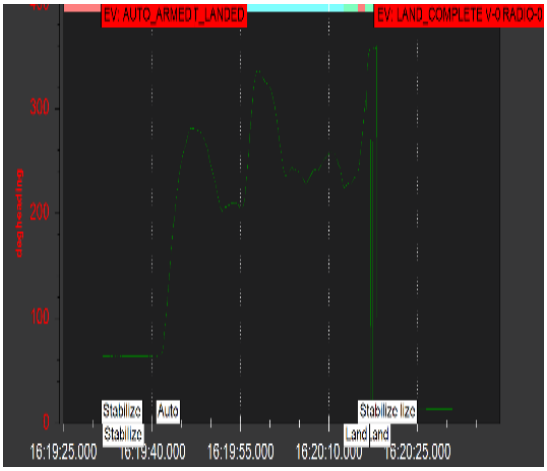
Şekil 2.26. Manevra ve Dönüş Kabiliyeti Grafikleri



(a) Yunus



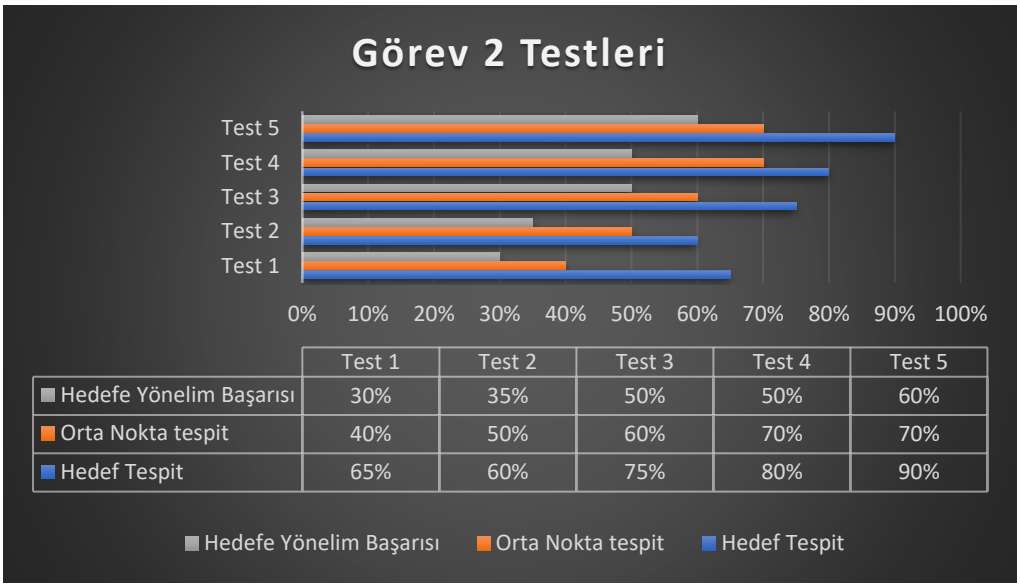
(b) Yatış



(c) Dönüş

Görev 2 testi için belirlenen daire şeklindeki rota içerisine su bırakma alanını temsil edecek yuvarlak kırmızı bir alan yerleştirilmiştir. Yapılan 5 testin her birinde farklı bir noktaya koyulan kırmızı su bırakma alanını İHA'nın kamerası sayesinde tespiti ve yaklaşımı test edilmiştir. Yapılan testler içerisinde su hedef tespitinin ve orta nokta tespitinin görüntüleri incelenerek Tablo 2.5'te gösterilmiştir. Hedef tespit ve orta nokta tespitlerinin yüzdelerindeki

artışa bağlı hedefe yönelimde artış gözlenmiştir. Her bir testin ardından yazılan tespit ve yönelim algoritmaları geliştirilmekte ve iyileştirilmektedir.



	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4	Test 5
Hedefe Yönelim Başarısı	30%	35%	50%	50%	60%
Orta Nokta tespit	40%	50%	60%	70%	70%
Hedef Tespit	65%	60%	75%	80%	90%

Tablo 2.5. Görev-2 Testleri

2.8 Hava Aracı Maliyet Dağılımı

X-Wing'in tasarım sürecinde alınan ekipman ve malzemelerin listesi, miktarları ve maliyetleri Tablo 2.6'daki gibidir.

Mal/Malzeme Adı	Fiyat	Adet	KDV	Kargo Ücreti	İndirim	Gümrük Vergisi	Toplam Tutar
M3 YSB Vida Somun ve Pul Seti, Ortanca Paket 600 Parça	₺42,99	1	KDV dahil	₺11,41	₺0,00		₺54,40
Pixhawk PX4 2.4.8 Uçuş Kontrol Kartı Seti	₺546,00	1					
F450 Drone Gövde + İniş Takım	₺126,00	1					
50mm M3 Standoff Dişi - Erkek Metal Aralayıcı| 10lu Paket	₺9,00	1					
40 Pin Ayrılabilen Dişi - Dişi Jumper Kablo- 100mm	₺4,63	1	₺142,01	₺0,00	₺0,00		₺930,96
40 pin Erkek Erkek 200mm Jumper Kablo	₺4,62	1					
40 pin Dişi 200mm Jumper Kablo	₺4,62	1					
Mikro Sıvı Pompa Motoru	₺26,88	1					
Lipo Pil Yanmaz Koruma Çantası 24x6x19	₺67,20	1					
LI-PO BUZZER PIL TESTI	₺15,50	2	KDV dahil	₺10,40	₺0,00		₺41,40
4s 6200mah 40C Lipo Batarya 14.8V Pil	₺679,40	1	₺122,29	₺0,00	₺0,00		₺801,69
Skywalker 30A ESC Fırçasız Motor Sürücü Devresi	₺169,10	4	₺121,75	₺0,00	₺0,00		₺798,15
APM Pixhawk Power BEC Modülü 30V 90A	₺167,65	1	₺65,75	₺0,00	₺16,95		₺431,03
Readytosky Ublox NEO M8N GPS Pixhawk Uyumlu	₺214,58	1					
Fırçasız Motor 4'lü Set	$135,00	1	₺0,00	₺0,00	₺0,00	₺25,94	₺1.156,50
Karbon Fiber Pervaneler 4 Çift	$30,00	1	₺0,00	₺0,00	₺0,00	₺29,13	₺280,37
Xbee Explorer Xbee USB Mini Adaptör	$2,64	2	₺0,00	₺0,00	₺0,00	₺17,27	₺61,49
Xbee Pro S2C	$45,00	2	₺0,00	$6,87	₺0,00	₺17,30	₺830,83
120A 12-48V Akım Kesici - Sigorta	$11,00	1	₺0,00	$0,00	₺0,00	₺17,37	₺109,58
HDMI TO MICRO HDMI 1 MT	₺35,48	1	₺129,47	₺0,00	₺0,00		₺848,72
RASPBERRY PI KAMERA V2 8MP	₺346,71	1					
Raspberry Pi 4 Model B/2GB	₺337,06	1					
AC/DC Şarj Adaptörü EU-12V5A	₺113,49	1	₺96,28	₺0,00	₺0,00		₺631,19
SKYRC IMAX B6 V2 Şarj Cihazı	₺421,42	1					
Hafıza Kartları 32 GB	₺42,36	1	₺7,99	₺0,00	₺0,00		₺49,99
Raspberry Pi 4 Dual Fan Aluminium Case	₺145,33	1	₺26,16	₺0,00	₺0,00		₺171,49
APM 2.6-2.8 Pixhawk Şok Emici Titreşim Engelleyici	₺46,80	1	₺10,56	₺11,86	₺0,00		₺69,22
Radiolink AT9S Kumanda 2.4 GHz 9 Kanal Alıcı + Verici	₺1.188,00	1	₺213,84	₺0,00	₺0,00		₺1.401,84
150A RC Güç Analizörü Çok Fonksiyonlu Watt Metre	₺160,93	1	₺28,97	₺0,00	₺0,00		₺189,90
STW2.5*150 - 2.5x150 KABLO BAĞI	₺3,81	1	₺0,68	₺0,00	₺0,00		₺4,49
STW01500 - 3.6x280 KABLO BAĞI	₺11,03	1	₺1,99	₺0,00	₺0,00		₺13,02
Radiolink R9DS 9 Kanal Alıcı 2.4 GHz	₺213,60	1	₺38,45	₺0,00	₺0,00		₺252,05
Hobbywing Xrotor-40A 2-6S ESC	₺685,26	1	₺123,35	₺0,00	₺0,00		₺808,61
Wiko 02k43 Civata Sabitleyici	₺120,98	1	₺25,53	₺0,00	₺0,00		₺167,39
STW2.5*150 - 2.5x150 KABLO BAĞI	₺3,81	1		₺0,00	₺0,00		
Selsil Epoksi Yapıştırıcı	₺12,72	1		₺0,00	₺0,00		
8 mm Terazi Hortumu	₺4,35	1		₺0,00	₺0,00		
							₺10.104,30

Tablo 2.6. X-Wing Malzeme Maliyet Tablosu

2.9 Yerlilik

Yerlilik kapsamında çalışma bulunmamaktadır.