



TAKIM ADI: BTÜ ANKA
TAKIM ID: 367507
TAKIM KAPTANI ADI SOYADI: BATUHAN AKKAYA
TAKIM KAPTANI ÜNİVERSİTESİ: BURSA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
ARAÇ TÜRÜ: SABİT KANAT
KATEGORİ: SABİT KANAT

KAVRAMSAL TASARIM RAPORU

1.ORGANİZASYON ÖZETİ

1.1.Takım Organizasyonu

BTÜ ANKA; Bursa Teknik Üniversitesi, IEEE (Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Enstitüsü) topluluğu bünyesinde 2021 yılında kurulmuş sabit kanatlı İnsansız Hava Aracı (İHA) takımıdır. Takım, deneyim aktarımını sağlamak için farklı bölüm ve sınıflarda öğrenim gören 8 öğrenciden oluşturulmuştur. Yarışma istekleri doğrultusunda takım içerisinde üç alt ekip oluşturulmuştur. Alt ekipler hakkında detaylı bilgi Şekil 1'de organizasyon şemasında verilmiştir. Ayrıca takım üyelerinin bilgileri ve takım içerisindeki görevleri Şekil 2'de detaylandırılmıştır.



Şekil 1: Organizasyon Şeması

BÖLÜM	SINIF	AD SOYAD	BİRİNCİL GÖREVİ
MAKİNA MÜH.	1	Ömer Faruk A.	Mekanik Üretim
ELEKTRİK - ELEKTRONİK MÜH.	3	Batuhan A.	Yerli Parça Yazılımı, Kaptan
	3	Enes B.	Yerli Parçanın Tasarımı, Aviyonik, Pilot
	3	Özgür K.	Tasarım ve Analiz
BİLGİSAYAR MÜH.	1	Huri Nisa İ.	1. Görev Algoritması
	1	Meryem Dilara A.	Görüntü İşleme
	2	Yusuf Talha A.	2. Görev Algoritması
	4	Nil D.	Otonom Uçuş ve Raporlama

Şekil 2: Takım Tanıtım Tablosu



1.2.İş Akış Çizelgesi

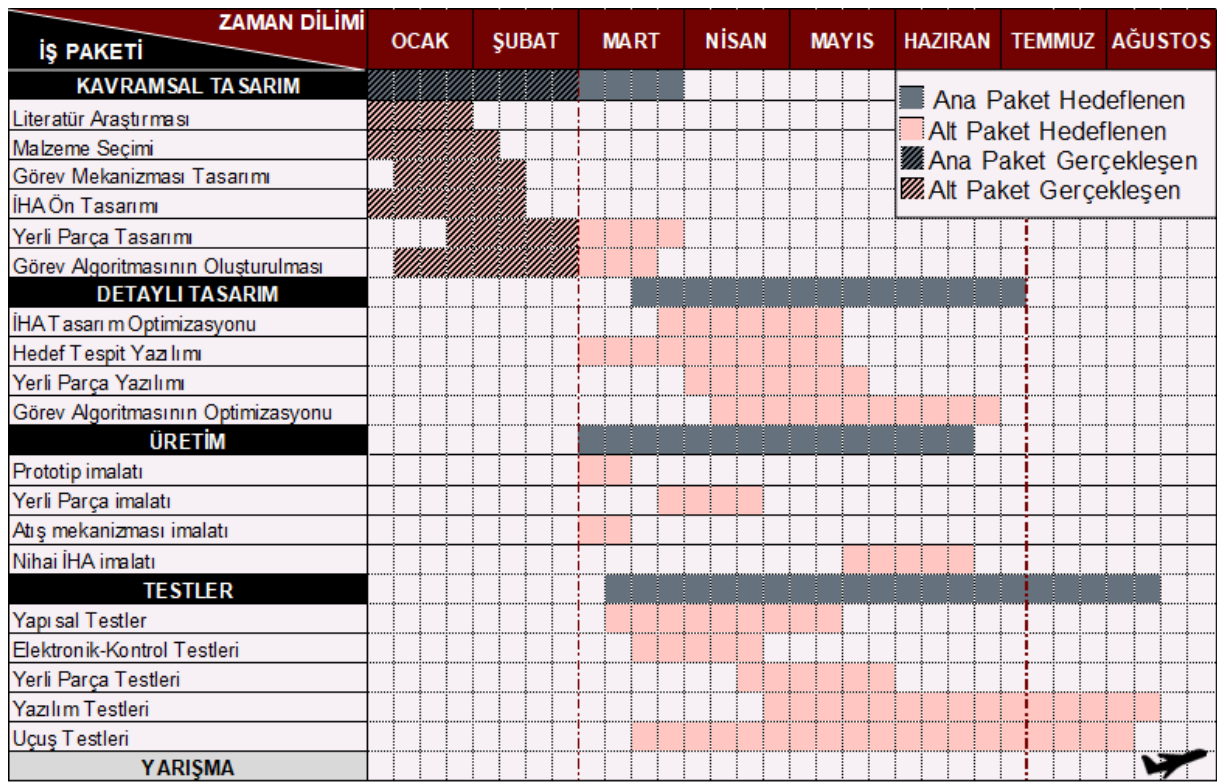
Bu bölümde yarışma hazırlığı boyunca yapılması planlanan işlerin sistematik bir biçimde akışını ve takibini sağlayabilmek için hazırlanan iş akış çizelgesi Şekil 3'te verilmiştir. Yapılacak işler ana ve alt paketlere ayrılmış, ana paketler hakkında bilgi aşağıda verilmiştir.

Kavramsal Tasarım: Literatür araştırmaları ile İHA'nın ön tasarımının yapılması ve raporlanmasına yönelik çalışmalardır.

Detaylı Tasarım: Ön tasarımı yapılan İHA'nın analizler ve testler sonucunda geliştirilmesi ve nihai tasarım eldesidir.

Üretim: Elektronik ve mekanik bileşenlerin üretim ve montajıdır.

Testler: Üretilen İHA'nın yapısal, donanımsal ve yazılımsal olarak çeşitli tekniklerle analiz edilmesi ve görev denemelerinin yapılmasıdır.



Şekil 1: İş Akış Çizelgesi

2. TASARIM İÇERİĞİ

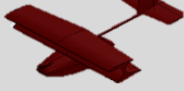
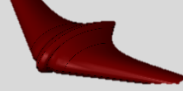













Bu bölümde geliştirilecek İHA'nın ana özellikleri, ağırlığı, boyutları, kontrol sistemi, emniyeti, gerçekleştireceği göreve dair özel tasarımı ile ilgili ön bilgiler verilmelidir.

2.1.Görevler için İHA Konfigürasyonu

SAFİR adlı sabit kanatlı İHA'nın; görev istekleri doğrultusunda 1. Görev için manevra kabiliyeti yüksek, hızlı ve hafif olması gerektiği kararlaştırılmıştır. 2. Görevde ise belirlenen yükleri taşıma ve hedefe bırakma kabiliyetine sahip olması gerekmektedir. Belirlenen bulgular doğrultusunda İHA konfigürasyonlarıyla ilgili geniş bir literatür taraması yapılmıştır. Uçak,



kanat, kuyruk ve itki tipleri incelenmiş; olası tipler açıklanmış ve konfigürasyon seçimi yapılmıştır. Konfigürasyon seçim tablosu Şekil 4'te verilmiş, seçilen tip, farklı renk ile belirtilmiştir.

KONFIGÜRASYON	OLASI TİPLER			SEÇİM SEBEBİ
İHA	Çift Kanat 	Uçan Kanat 	Geleneksel 	ağırlık, manevra kabiliyeti, uçuş kararlılığı, üretilebilirlik
Kanat Şekli	Eliptik 	Dikdörtgen 	Trapez 	ağırlık, kanat uçlarında düşük girdap akımı, üretilebilirlik
Kanat Konumu	Üst 	Orta 	Alt 	manevra kabiliyeti, montaj kolaylığı, kontrol-denge
Kuyruk Şekli	Konveksiyonel 	T 	V 	manevra kabiliyeti, üretilebilirlik, kontrol-denge
İtki	Önden Çekiş 	Arkadan İtiş 	Önden Çift Çekiş 	ağırlık, kontrol-denge, verimlilik

Şekil 2: Konfigürasyon Seçim Tablosu

Konfigürasyon seçimi yapılırken SAFİR'in olabildiğince hafif ve kolay üretilebilir olması hedeflenmiştir. Ağırlığı ve geri sürüklenmeyi attırmamak için iniş takımı kullanılmayacaktır. Bu nedenle iniş sırasında oluşabilecek kırımlardan kaçınmak için gövde altı sağlamlaştırılacak ve katlanabilir pervane kullanılacaktır.

2.2.Gövde ve Mekanik Sistemler

Gövde ve mekanik sistemlerin tasarımı, SAFİR'in gerçekleştireceği görevler dikkate alınarak yapılmıştır. Bu doğrultuda SAFİR'in hafif olması ve inişlerde yeterli mukavemete sahip olması için kullanılması planlanan malzemeler ve üretim yöntemleri Şekil 5'te gösterilmiştir.

MEKANİK PARÇA	YAPI MALZEMESİ	EK MALZEME	ANA ÜRETİM YÖNTEMİ
Kanat	balsa	kontroplak, karbon fiber boru, kaplama kağıdı	yapıştırma
Gövde	karbon fiber kumaş	kontroplak, köpük	vakum infüzyon
Kuyruk	balsa	karbon fiber boru	yapıştırma
Görev Mekanizması	karbon fiber kumaş	kontroplak, köpük, çelik tel	vakum infüzyon

Şekil 3: Mekanik Parça Malzemeleri ve Üretimi

2.2.1 Gövde

Seçilen elektronik bileşenleri kapsayabilecek en küçük gövde tasarımı hedeflenmiştir. Gövdenin boyutları ağırlık merkezi ve elektronik bileşenlerin boyutları gözetilerek 400×60×60 mm olarak Şekil 6'da verildiğı gibi tasarlanmıştır. Gövde yapı malzemesi; dayanıklı ve hafif olduğundan karbon fiber olarak seçilmiştir.



Şekil 4: Gövde Tasarımı

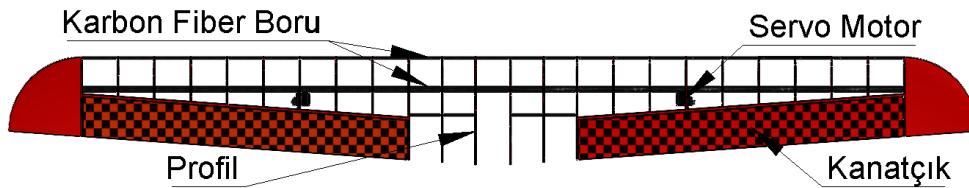
2.2.2 Kanat

Yarışma ve deneme uçuşlarının yapılacağı yer ve zamandaki hava sıcaklığı göz önüne alınarak tahmini hava viskozitesi bulunmuştur. Akabinde istenilen en düşük hızda (V) Reynolds Sayısı hesaplanmış ve bu doğrultuda Airfoiltools web sitesi üzerinden kanat profilleri incelenmiştir. Sürüklenme kuvvetinin kat sayısının az, kaldırma kuvvetinin katsayısının fazla olması hedeflenmiş ve USA-35B kanat profili seçilmiştir. Seçilen kanadın kaldırma katsayısı (C_L) değerinin 5 derecelik hücum açısında 1.20 geldiğı görünmüştür. Kanadın kaldırma kuvvetinin tahmini ağırlıktan fazla olması gerekmektedir. Aynı zamanda kanat alanının olabildiğince küçük olması hedeflenmiştir. Bu iki gereksinim doğrultusunda aşağıda verilen Denklem 1 'den yola çıkılarak kanat alanı bulunmuştur.

$$F_{\text{kaldırma}} = p_{\infty} \cdot C_L \cdot V_{\infty}^2 \cdot S \quad (\text{p: yoğunluk, } C_L: \text{Kanatın Kaldırma Katsayısı, } V: \text{Hız, } S: \text{Kanat Alanı})$$

(Denklem 1)

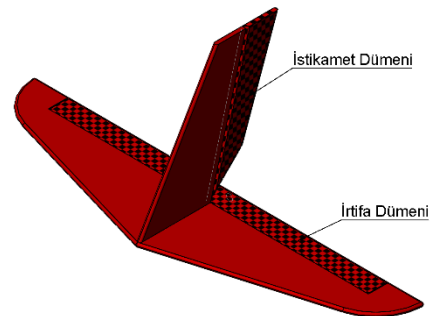
Kanat alanı (S) 0,26m², kanat açıklığı 1700 milimetre ve veter uzunluğu 190 milimetre olarak hesaplanmıştır. Manevra kabiliyetini arttırmak için kanatçıklar, kanatın uç noktasına yakın konumlandırılacaktır. Her kanatta birer kanatçık ve onları kontrol eden birer servo motoru kullanılacaktır. Kanat uçlarında hava girdaplarını azaltmak için trapez kanat formuna karar verilmiştir. Mukavemeti arttırmak ve hafif olmak için kanatlar balsa profillerden yapılacak, profiller karbon fiber boruyla desteklenecektir. Kanat tasarımı Şekil 7'de verilmiştir.



Şekil 5: Kanat Tasarımı

2.2.3 Kuyruk

Kuyruk kontrol yüzeylerinin kontrolünü ve üretimini kolaylaştırmak için geleneksel kuyruk tipi seçilmiştir. Kuyruk üretimi için 5x5 mm'lik balsa çitalarının japon yapıştırıcısıyla birleştirilmesine ve elde edilen bu iskelet yapının kaplama kâğıdı ile kaplanmasına karar verilmiştir. Tasarlanan kuyruk Şekil 8'de verilmiştir. Kuyruk kontrol



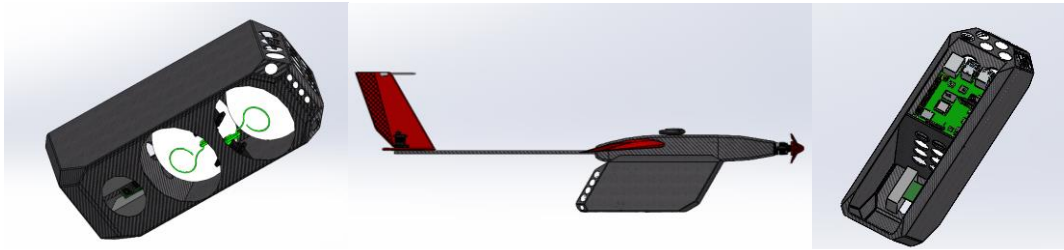
Şekil 6: Kuyruk Tasarımı



yüzeyleri, bir irtifa dümeni ve bir istikamet dümeninden oluşmaktadır. Bu yüzeyler birer adet servo motor ile kontrol edilecektir. Kuyruk, gövdeye karbon fiber boru ile bağlanacaktır.

2.3. Görev Mekanizması Sistemi

Yarışmanın 2. Görevinde SAFİR'den, taşıdığı topları koordinatları bilinmeyen bir alana bırakması beklenmektedir. 3 uçuş turundan oluşan bu görev için İHA'nın 1. turda hedefi tespit etmesi, 2 ve 3. turlarda da hedefe atış yapması gerekmektedir. Görevin birinci aşaması olan hedef tespiti, görüntü işleme ile gerçekleştirilecektir. Bu işlem için Raspberry Pi kartı ve Kamera Modülü kullanılacaktır. Görüntü işleme algoritması ise Python programlama dili ve OpenCV modülü ile oluşturulacaktır. İkinci aşamada ise, İHA'nın tespit edilen hedefe topu bırakmasıdır. Top bırakma işlemi Görev için tasarlanan mekanizma ve mekanizmanın konumu Şekil 9'da verilmiştir. 1. Görevde kullanılmayacak bileşenlerin, 1. Görev ağırlığını etkilemesi istenmemektedir. Bu nedenle mekanizma, ikinci görevde gövdenin altına yerleştirilecektir. Görev mekanizması; Raspberry Pi 4, Kamera modülü, yükler, yükleri taşıyan 2 adet servo motoru ve motorların koluna takılı telleri kapsar. SAFİR'in ağırlık merkezinin değişmemesi için; mekanizma gövdenin, toplar ise Raspberry Pi 4'ün altına konumlandırılacaktır. Kamera modülü ise mekanizmanın tabanına, yere 90 derece açıyla bakacak biçimde yerleştirilecektir. Ayrıca tasarımda ağırlığı ve geri sürüklenmeyi azaltmak için delikli yapı planlanmıştır. Bu yapının aynı zamanda Raspberry Pi kartının soğumasına fayda sağlayacağı düşünülmektedir. Mekanizmanın yapı malzemesi karbon fiber kumaş seçilmiştir. İçerideki elektronik bileşenleri, mekanizma yapısındaki boşluklardan girebilecek zararlı maddelerden korumak için ise misinadan yapılmış tel örgü kullanılacaktır. Mekanizmada yer alan servo motorlar doğrudan Raspberry Pi 4'e bağlı olacaktır. SAFİR; hedef tespit yazılımının belirlediği koordinata gelince, Raspberry Pi kartı servo motorlara sinyal gönderecek ve servo kolunun 90 derecelik hareketi sonucu yük bırakma işlemi gerçekleşmiş olacaktır.



Şekil 7: Görev Mekanizması ve Konumu

2.4 Elektrik Elektronik Kontrol ve Güç Sistemleri

SAFİR'in geliştirilmesinde kullanılacak alt sistemler; itki, güç, otonom kontrol ve görev mekanizması sistemi olmak üzere dört başlık altında incelenmiştir. Sistemler, elemanları ile Şekil 2.5.1'de, elemanların devre şeması ise Şekil sdfg'de verilmiştir. Bütün elektronik bileşenlerin seçiminde hafiflik göz önünde bulundurulmuştur.

2.4.2 Otonom Kontrol Sistemi

- Uçuş Kontrol Kartı olarak fazla sensör ile hızlı veri aktarım gücüne sahip ve yer istasyonu olan Mission Planner ile uyumlu olmasından dolayı Pixhawk 4,
- Telemetri olarak Yer İstasyonu ve İHA arasında kesintisiz iletişim kurulabilmesi için kendinden şifreli Xbee 3 modülü,
- Hareketli yüzeylerin kontrolünü sağlayacak servo motor seçiminde tork kabiliyetine dikkat edilmiştir. Daha sağlam olması için ise metal dişli olan bir model seçilmiştir. Bu sebeple ise servo motor olarak *Tower Pro MG90S*,
- Kumanda olarak fazla kanal sayısından dolayı Flysky FS-İ6X seçilmiştir.



İHA'nın hızını kontrol altında tutabilmek için pitot tüpü kullanılacaktır. GPS, pixhawk ile; alıcı ise kumandayla birlikte satılmaktadır.

Şekil 10: Otonom Sistem Elemanları

2.4.3 Güç Sistemi

Bataryanın sağladığı akım ve uçuş süresi değerleri, aşağıda verilen Şekil 11'de verilen denklemlerden yola çıkılarak hesaplanmıştır.

$$\text{Maksimum Akım (I}_{\text{maks}}) = \text{mAh} \times C \quad \text{Uçuş Süresi} = \frac{\text{mAh} \times 60}{\text{Sistemin Toplam Akımı}}$$

Şekil 11: Batarya Hesaplama Denklemleri

Yer istasyonu simülasyonu Mission Planner'da yapılan hesaplamalar sonucu; maksimum uçuş süresi, 1. Görev için 110, 2. Görev için 120 saniye olarak belirlenmiştir. Sistemin toplam çektiği maksimum akım 1. Görev için 24.5A; 2. Görev için ise 37.4 A olarak hesaplanmıştır. Bu doğrultuda batarya seçimi; maksimum akım, bataryanın sağladığı uçuş süresi ve ağırlık göz önünde bulundurularak yapılmıştır. Batarya seçim tablosu Şekil 'da verilmiştir. Nihai batarya seçimi, uçuş denemelerinden sonra yapılacaktır.

	ÖZELLİK	Maksimum Akım (A)	Pilin Sağladığı Uçuş Süresi (sn)	Pilin Ağırlığı (gr)
	BATARYA			
1. Görev	JetFire 11.V 3S 850 mAh 40 C (*)	34	124	76
	ProFuse 11.1V 3S 1300 mAh 50C	65	190.8	110
2. Görev	Tattu 14.8V 4S 850 mAh 75C	63.75	81.6	107
	Leopard Power 14.8V 4S 1300mAh 75 C (*)	97.5	124.8	150

Şekil 12: Batarya Seçim Tablosu

Otonom sistemin beslenmesini sağlayan güç modülü, seçilen uçuş kartı ile gelmektedir. 2. Görevde Raspberry'nin beslenmesi için UBEC kullanılacaktır. Uçuş güvenliği ise 40 A bıçak sigorta ve akım kesiciyle sağlanacaktır.

2.4.4 Görev Mekanizması Sistemi

2. görevde kullanılmak üzere yardımcı kart; otonom uçuş kartıyla uyumlu ve tasarlanan görev algoritması için yeterli özelliklere sahip olduğundan Raspberry Pi 4 olarak seçilmiştir. Görev mekanizmasında, ilaveten kart ile uyumlu kamera ve 2 adet servo motoru kullanılacaktır.

2.5.İtke ve Ağırlık Hesapları

SAFİR'in seyir hızının iki görevde de ortalama 20 m/s olması hedeflenmiştir. Bu bağlamda net itkiyi bulmak için Denklem 2 kullanılarak geri sürüklenme kuvveti ve Denklem 3 kullanılarak da itki hesaplanmıştır. Gerekli minimum itki değerinin bulunabilmesi için seçilen motor ve pervanenin verileri kullanılmıştır. İtke, sürüklenme kuvveti ve net itki değerleri iki görev için de ayrı ayrı hesaplanmış ve Şekil 13'te verilmiştir.

$$F_{\text{Geri Sürüklenme}} = \frac{1}{2} \rho C_D V^2 A \quad (\text{Denklem2})$$

$$F_{\text{min}} = \left(\text{RPM} * 4,392399 * 10^{-8} * \frac{d^{3.5}}{\sqrt{\text{pitch}}} \right) * (42333 * 10^{-8} * \text{RPM} * \text{pitch} - V_0) \quad (\text{Denklem3})$$

GÖREV	İtke (F)	Sürüklenme Kuvveti (F _{drag})	Net İtke (F-F _{drag})
1	10.79 N	6.37 N	4.42 N
2	16.18 N	8.0794 N	8.10 N

Şekil 13: İtke Hesaplamaları

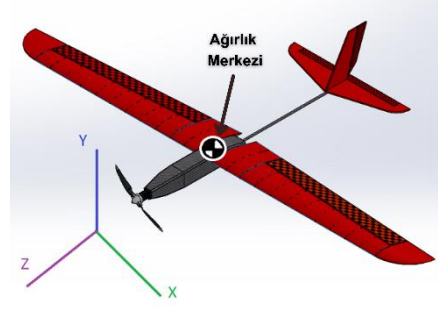
Pervane seçimi; seçilen motorun, farklı pervane tiplerine göre üretebileceği maksimum itke değerine bakılarak yapılmıştır. Verimler karşılaştırılmış ve 10×4.7 inçlik pervane seçilmiştir. Yarışma görev isterleri doğrultusunda SAFİR'in 2. Görevde ağırlığı artacaktır. Bu sebeple maksimum itkinin alınması istendiğinden, 1. Görevde 850 mAh 3S, 2. Görevde ise 1300 mAh 4S'lik bir Li-Po bataryanın kullanılmasına karar verilmiştir. Kullanılacak bileşenlerin ortalama güç tüketimi Şekil 14'teki gibidir.

GÖREV	BİLEŞEN					TOPLAM
	Motor	Hareketli Yüzey Servo Motorları	Görev Servoları	Uçuş Kartı	2. Görev Yardımcı Kart	
1	220.89 W	8 W	-	15 W	-	243.89 W
2	429.2 W	8 W	4 W	15 W	15 W	471.2 W

Şekil 14: Bileşenlerin Güç Tüketim Tablosu



SAFİR'in bileşenleri, ağırlığı ve bunların araç üzerindeki dengesi Şekil 16 'da, referans noktası ise Şekil 15'te verilmiştir.

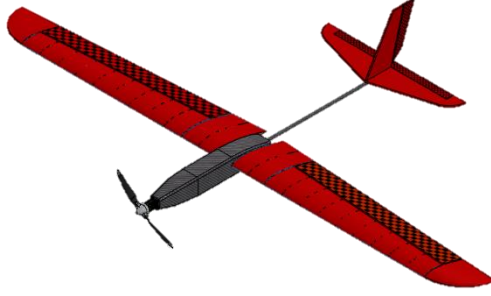


Şekil 15: Referans Noktası

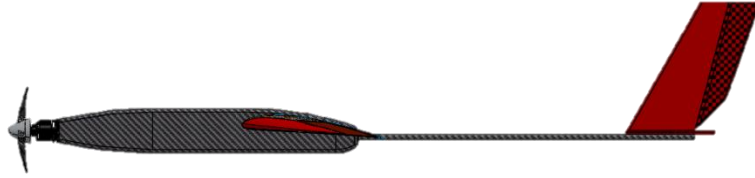
BİLEŞEN		KULLANIMI		PARAMETRE			
		1. Görev	2. Görev	Ağırlık (gr)	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
Akım Kesici		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	10	20	0	134
Alıcı		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	14.9	0	7	26
Bıçak Sigorta		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	10	20	20	134
ESC		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	41	20	11	198
Gövde		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	150	0	0	52
GPS		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	31	0	27	45
Güç Modülü		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	35	-15	12	120
Kablo		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	50	-	-	-
Kanat	Sol Kanat	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	75	-32	3	1,5
	Sağ Kanat	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	75	32	3	1,5
Kuyruk		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	50	0	20	-528
Kuyruk Borusu		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	30	0	15	-323
Motor		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	57	0	0	287
UBEC		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	12	0	-35	0
Pervane		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	32	0	0	267
Pitot Tüpü		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	25	0	150	-610
Pixhawk		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	16	0	-35	-57
Servo Motor	Sol Kanatçık	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	11.5	-450	3,5	4
	Sağ Kanatçık	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	11.5	450	3,5	4
	Yön Dümeni	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	11.5	6	22	570
	İrtifa Dümeni	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	11.5	6	13	571
Telemetri		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	5	0	0	90
Yapışkan		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	100	-	-	-
1. Görev Pili		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	76	-2	11	198
2. Görev Pili		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	150	-2	11	198
Görev Mekanizması	Mekanik	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	115	0	-47	-44
	1. Servo	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	11.5	-14	150	67
	2. Servo	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	11.5	14	150	67
	Raspberry Pi	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	50	0	-50	55
	Kamera	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	5	0	-60	55
	1. Yük	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	150	0	-157	45
	2. Yük	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	150	0	-157	-45
TOPLAM AĞIRLIK (gr)		1. GÖREV		928.9	2. GÖREV		1507.9

Şekil 16: Ağırlık ve Denge Tablosu

2.6.Görsel Tasarım Konfigürasyonu



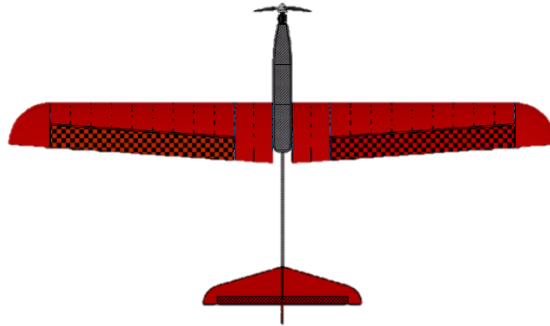
Şekil 17: SAFİR'in İzometrik Görünümü



Şekil 18: SAFİR'in Yandan Görünümü



Şekil 19: SAFİR'in Önden Görünümü



Şekil 20: SAFİR'in Üstten Görünümü