

1.KAVRAMSAL TASARIM RAPORU

TAKIM ADI	: G-TÜRK İHA
TAKIM ID	: 321247
TAKIM KAPTANI ADI SOYADI	: MUHAMMET KILIÇ
ÜNİVERSİTE	: GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
ARAÇ TÜRÜ	: SABİT KANAT

1.1 ORGANİZASYON ÖZETİ

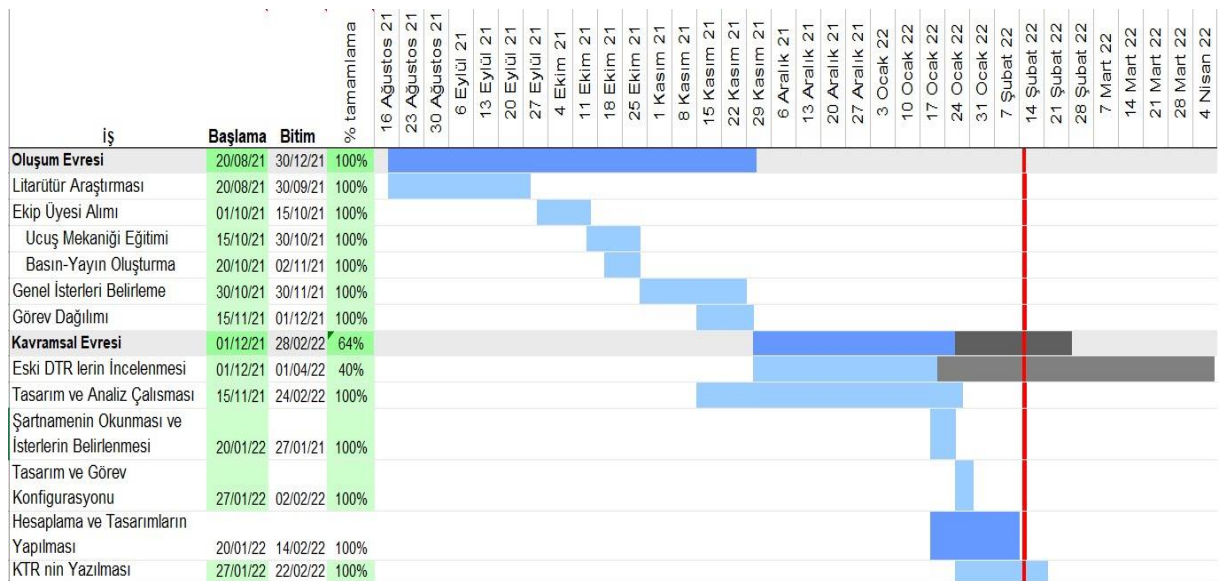
1.1.1. Takım Organizasyonu

G-TÜRK İHA takımı Gebze Teknik Üniversitesi'nde havacılığa meraklı bir grup arkadaş tarafından Ağustos 2021'de kuruldu. Takımda 5 üyenin oluşturduğu 3 ekip bulunmaktadır. Mekanik ekibi İHA'nın tasarımı, analizleri ve imalatından sorumludur. Yazılım ekibi İHA'nın otonom sistemi ve görüntü işleme yazılımdan sorumludur. Elektronik ekibi ise İHA'nın elektronik sistemlerinden sorumludur.

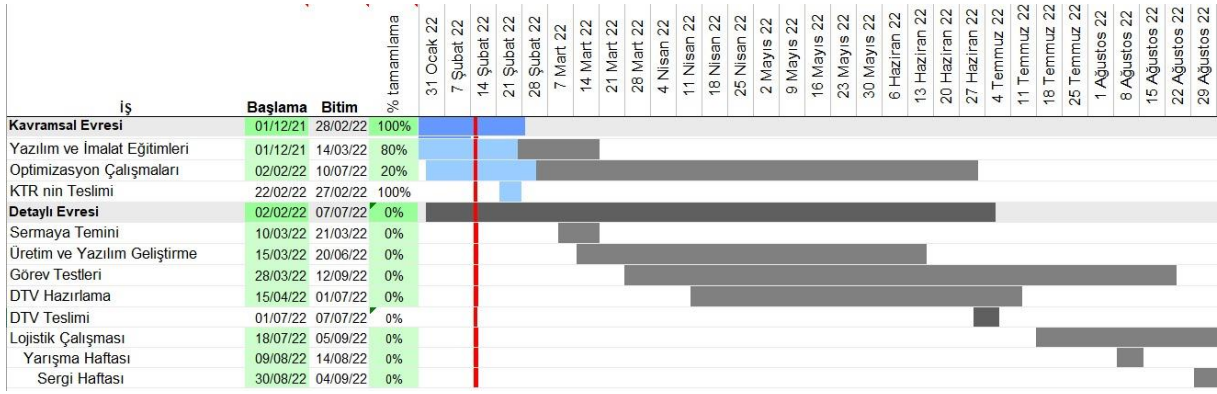


Tablo 1: Takım Organizasyon Tablosu

1.1.2. İş Akış Çizelgesi



Şekil 1: İş-Akış Çizelgesi İlk Kısım



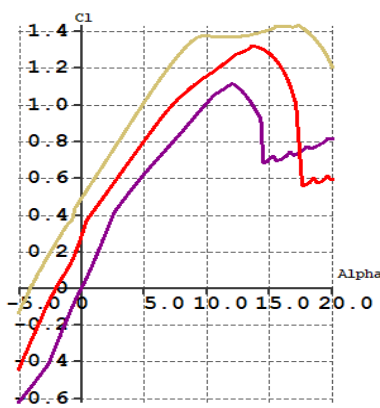
Şekil 2: İş-Akış Çizelgesi İkinci Kısım

1.2 TASARIM İÇERİĞİ

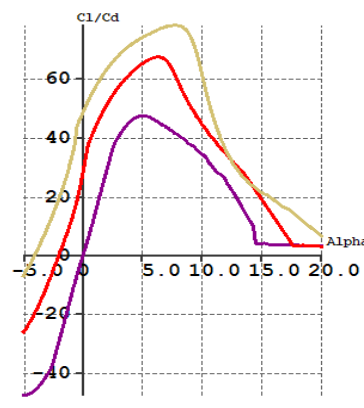
1.2.1. Görevler için İHA Konfigürasyonu

İHA'nın her iki görev içinde 5 m ile 30 m irtifa arasında ve 120 m ile 170 m boyutlarındaki pistte kalması gerekmektedir. Bunun sağlanabilmesi için her ne kadar oto pilot yazılımı önemli olsa da İHA'nın aerodinamik yapısı ve uçuş kararlılığı da önemlidir. Her iki görev içinde belirtildiği gibi İHA direkter etrafında dönebilecek manevra kabiliyetine sahip olmalı ve puanlama kriterlerine göre hızlı ve hafif (10 kg' dan az) olmalıdır. İlk görevde hız ve manevra kabiliyeti test edilirken, ikinci görevde aviyonik, görüntü işleme ve top bırakma mekanizmasının yazılımsal bütünlüğü test edilmektedir. Böylece görevlere bakıldığında İHA'nın hızlı, hafif, manevra kabiliyeti yüksek, otonom uçuş ve görüntü işleme yapabilen, iki adet top bırakabilen mekanizmaya sahip, uçuş kararlılığı yüksek, yazılımsal ve donanımsal açıdan kaliteli bir model uçak olması gerekmektedir.

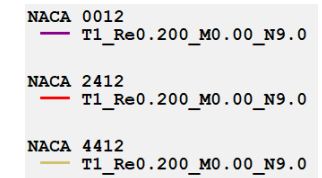
Uçağımızın havada kalması Bernoulli prensibine göre gerçekleşecektir. Bu prensibi en iyi sağlayan parçalarsa kanat profilleridir. İHA'nın kanadında kullanılmak üzere diğer model uçaklarda da en çok kullanılan üç kanat profili arasında XFLR5 uygulaması yardımıyla, aerodinamik verimlilikleri Şekil-3 ve Şekil-4'te karşılaştırılmıştır. Bunların arasından yarışma görevleri için en ideal olan NACA4412 kanat profilinin kullanılması kararlaştırılmıştır.



Şekil 3: XFLR5 C_L -Alfa Grafiği



Şekil 4: XFLR5 C_L/C_D -Alfa Grafiği



Resim 1: Kanat Profilleri

İHA'da farklı kanat konumları uygulanmaya çalışılmış, alttan kanadın iniş esnasında zarar göreceği öngörülüp üstten kanat ve ortadan kanat için modeller tasarlanmıştır. Sonuç olarak tasarımda üstten kanadın üretim ve montaj kolaylığı sağlayıp yarışma için daha uygun olduğu görülmüştür.

Mini İHA ve diğer ebatlardaki uçakların gövde şekline ve boyutuna bakıldığında sürüklemeyi en aza indirip taşımayı artırmaya yönelik modeller oluşturulduğu Tablo-2'de görülmüştür. Ayrıca verimlilik için Whitcomb alan kuralına göre yumuşak yüzey geçişleriyle tasarlanmış transonik ve süpersonik hızlardaki uçaklarda vardır. İHA'nın ses üstü hızlarda uçmayacağını göz önüne alırsak, sürüklenme formülündeki $D = \frac{1}{2} \times \rho \times v^2 \times C_D \times S$ referans yüzey alanını azaltmaya yönelik bir mini İHA modeli olmasının görevler bazında daha iyi olacağı saptanmıştır. Buna örnek olarak Bayraktar mini İHA verilebilir.

İHA'lar			
Özellikler	Skylark 1 LE Mini İHA	TUSAŞ Turna Yem Uçağı	RQ-11 Raven Mini İHA
Kanat Açıklığı	2,4 metre	2,7 metre	1,4 metre
Boy Uzunluğu	2,2 metre	2,6 metre	0,91 metre
Kalkış Ağırlığı	5,5 kilogram	70 kilogram	1,9 kilogram
Seyir Hızı	10,3 m/s	Bilinmiyor(azami 92 m/s)	8,4 m/s

Tablo 2: Model Karşılaştırma Tablosu

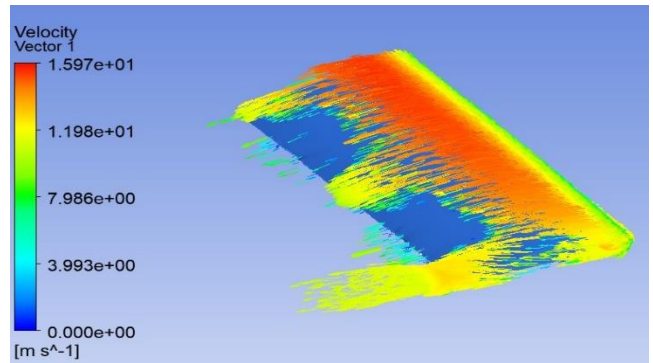
İHA'da hafifliği sağlamak amacıyla iniş takımları bulunmayacak, muadilleri gibi kalkışta itkiye destek olmak için elden atılacak ve inişini gövde üzerine yapacaktır. İniş ve kalkış esnasında zarar görmemesi için gerekli yazılımsal ve yapısal çalışmaları ANSYS Explicit Dynamics uygulamasında yapılmaktadır. Uçaklarda kararlılığı sağlayan önemli parçalardan biri de kuyruktur. İHA'nın uçuş kararlılığı sağlayabilmesi, yönlendirme yapılabilmesi ve stall'dan kaçabilmesi için kuyruk konulmuştur. Kuyruk tiplerine bakıldığında en çok kullanılan kuyruklar içinden en verimli olan V kuyruk ve konvansiyonel kuyruk arasında görev kriterlerine göre karşılaştırma yapılmıştır. V kuyruğun konvansiyonel kuyruğa göre hesaplamalarda ve üretimde zorluk yaratacağı görülmüş, konvansiyonel kuyruk kullanılmasının daha avantajlı olacağı anlaşılmıştır. Kuyrukların da bir kanat olduğu ve uçak üzerinde gerektiğinde moment yarattığı bilinmektedir. Kuyruğun sıfır derece hücum açısında sıfır taşıma sağlaması ve dengeli yönlendirme yapması için kanat profilinin simetrik olması gerekmektedir. Kuyrukta orta kalınlıkta bir profilin kullanılması sürüklemeyi de azaltıp, uçağın dümeni olmasını kolaylaştıracağından NACA0012 kanat profilinin dikey ve yatay dengeleyicide kullanılması kararlaştırılmıştır. İHA için kanat tasarımı araştırması yapılırken isterler göz önünde bulundurulmuş ve en yaygın üç tasarım arasından görev odaklı Tablo-3'te karşılaştırma yapılmıştır. Sonuç olarak dikdörtgen kanat tasarımının kullanılmasının daha avantajlı olacağı

görülmüştür. Kanadın tasarımı, profili ve konumu belirlendikten sonra boyutları hesaplamalarla ve analizlerle bulunmuştur.

Kanat Tipleri Özellikler	Puan(10)	1-Eliptik Kanat	2-Trapez Kanat ve Ok Açılı Kanat	3-Dikdörtgen Kanat
Verimlilik	9	10	8	7
İmalat Kolaylığı	10	7	9	10
Uçuş Kararlılığı	10	8	7	10
Temin kolaylığı	9	7	8	10
Toplam Puan	→	303	304	353

Tablo 3: Kanat Tipleri Karşılaştırma Tablosu

Uçaklarda taşıma kuvvetini sağlayan kanatlardır. Taşıma kuvveti en az kalkış ağırlığı olan (Tablo-4) 17,2 Newton kadar olmalıdır. Analiz ve hesaplama koşullarından dolayı 300 gram güvenlik payı verilerek gerekli taşıma kuvveti 20,1 N bulunmuştur. $L = \frac{1}{2} \times \rho \times v^2 \times C_L \times S$ formülü Tablo-2 'den başlangıç değerleri çekilerek döngüye alınmıştır. Farklı veter ve stall hızlarında Reynolds ($Re = \rho \times V \times L / \mu$) sayısı bulunarak C_l değerleri daha sonra kanat referans alanları bulunmuştur. Hesap döngülerimiz sonucunda görevlerimize uygun değerler şu şekildedir; Reynolds 192.697, veterimiz 0,25 m, stall hızımız 9,8 m/s (hücum açısı 6 derece), kanat alanımız $0,325 m^2$, kanat açıklığımız 1,3 m ve 3 derece oturma açısında seyir hızımız 11,2 m/s'dir. 200.000 Reynolds sayısında Şekil-4'te görüldüğü gibi C_l/C_d maksimumun 7 derece olup bu dereceden sonra stall a girme tehlikesi olduğundan hücum ve oturma açısı birkaç derece düşük alınmıştır. Seyir ve stall hızları düşük alınarak uçuş kararlılığı verilmeye çalışılmıştır. Kanat açıklık oranı arttıkça verimlilik artacağından ($AR=b^2/S$) veter küçük alınmıştır. Daha sonra kanadımızın ANSYS Fluent programında analizi yapılarak havanın davranışı gözlenmeye çalışılmıştır. Formüsel hesabın aksine kanat taşıma kuvveti 18 Newton civarında çıkmıştır. Bu farklılığın sebebi kanat ucu girdaplarından kaynaklanabilir. Bu girdapları azaltmak için kanata winglet koyulacaktır. Kanat ucu girdapları Şekil-5'te görülmektedir.



Şekil 5: Kanat Üzerinde Hava Hızları(θ)

azaltmak için kanata winglet koyulacaktır. Kanat ucu girdapları Şekil-5'te görülmektedir.

1.2.2. Gövde ve Mekanik Sistemler

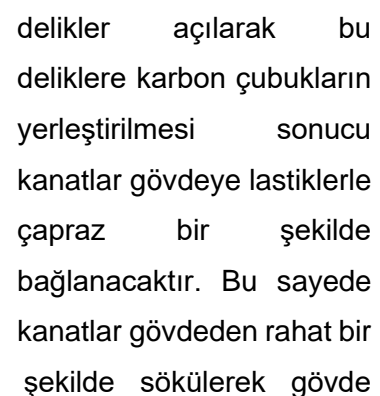
Üreteceğimiz İHA'nın kanat, kuyruk, gövde tasarımına yönelik görevler için gerekli elektronik ekipman ve mekanizmaların konumlandırılacağı bir kavramsal tasarım belirlenmiştir.

İHA'nın kanatlarına yük binmesinden dolayı oluşacak burulmaların önlenmesi için kanat içerisine spar yerleştirilecektir. Tasarımda kullanılacak bu sparlar düşük ağırlık ve yüksek dayanım özelliğine sahip olmasından dolayı karbon fiber materyal olarak düşünülmüştür.

A technical drawing showing a cross-section of a spar. The spar is a long, cylindrical component with a central longitudinal slot. The drawing includes a top view and a side view. The top view shows the spar's profile with a central slot and a label 'Spar' pointing to it. The side view shows the spar's cross-section, which is rectangular with a central slot. The drawing is a line drawing with no shading.

gösterilmektedir. İHA'nın bir model uçak olduğu göz önünde bulundurulduğunda kolay manevra ve yönlendirme için dümenlerin ıslak yüzeyleri büyük alınmıştır.

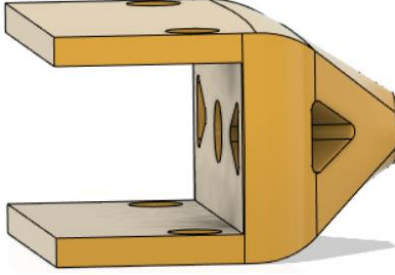
Kanatların gövdeye yerleştirilmesi sırasında gövdede belirlenen yerlere 10 mm çapında



5

Elektronik ekipmanlara rahatça ulaşılabilmesi için ise tasarımda kapak kullanılmıştır. Ağırlık kriterlerinin önemli olmasından dolayı bu kapakların gövdeye lastik, bant ve pim gibi bağlantı elemanları ile tutturulması planlanmıştır.

Uçağın kuyruğunun ve karbon çubuğun gövde ile bağlantısını sağlayacak olan aparat ve parçaların hafiflik ve yüksek tokluk değeri bakımından ABS filament kullanılarak 3D yazıcıda üretilmesi planlanmıştır. Şekil-8'deki tasarıma topoloji optimizasyonu yapılarak tasarımın ağırlık olarak hafifletilmesi sağlanmıştır.



Şekil 8: Gövde-Karbon Çubuk Bağlantı Elemanı

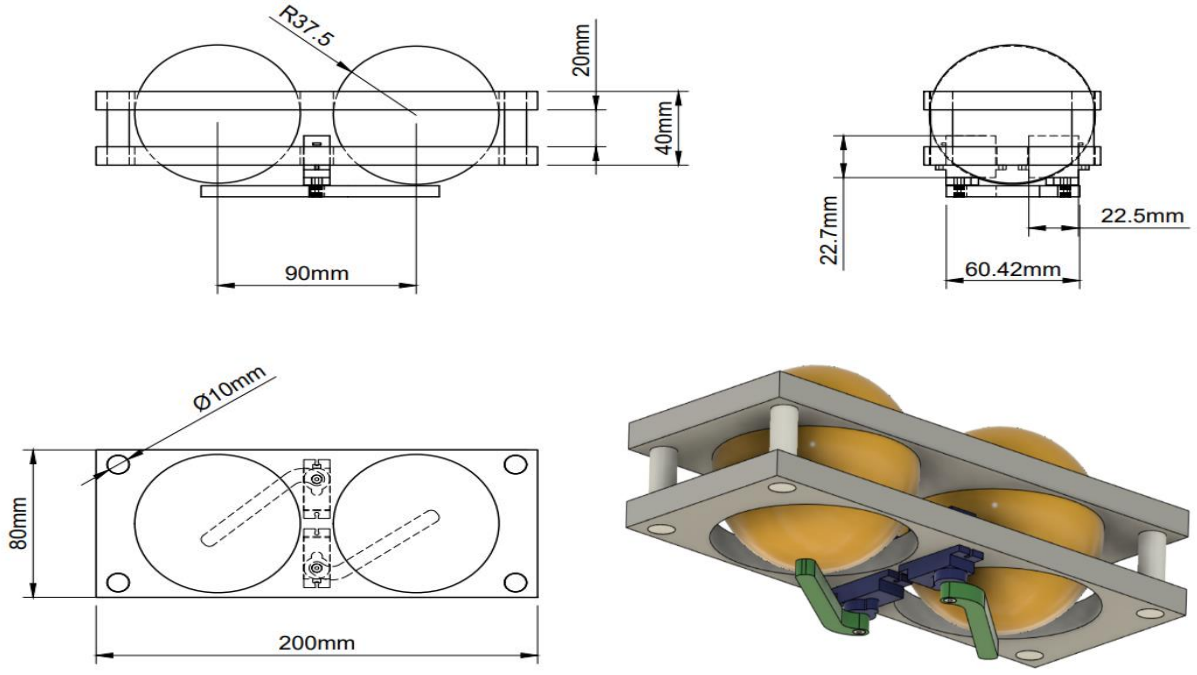


Şekil 9: Kuyruk-Karbon Çubuk Bağlantı Elemanı

1.2.3. Görev Mekanizması Sistemi

Görevlerde manuel şekilde yapılan kalkışın ardından İHA otonom uçuşa başlamak zorundadır. İHA önceden girilen koordinatlara göre Mission Planner uygulaması üzerinden belirlenen rotayı takip eder. Yarışmanın ikinci görevi faydalı yükü istenilen bölgeye başarılı bir şekilde bırakmaktır. Bu bölge 2,5 metre çapında, kırmızı renkte ve yerden 1 metre yükseklikte. İkinci görevin ilk turunda alan taranır ve bölgenin koordinatları görüntü işlemeyle tespit edilir, ikinci ve üçüncü turlarda da sırayla toplar bırakılır. Görüntü işlemenin yapılabilmesi için Raspberry Pi 4 ve kamera modülü kullanılır. Görüntü işleme OpenCV kütüphanesinden yararlanılarak Python dilinde yazılır. Çalışma prensibi ise alan taraması sonucunda elde edilen veriler oto pilot yazılımına aktarılır ve uçuş kontrolcüsü aracılığıyla servo motorlar istenilen konumda çalıştırılır.

Top bırakma mekanizması tasarlanırken ağırlıktan tasarruf etmek için bir kafes yapısına benzetilmiştir. Görev isteri ve özellikleri belirlendikten sonra Autodesk Fusion 360 programında tasarımı yapılmıştır. Mekanizmaya 2 adet top yuvası konularak topların farklı zamanlarda ayrı olarak rahat bir şekilde bırakılması düşünülmüştür. Tasarım 3D yazıcıda basılacak olup mekanizmanın malzemesi ABS filament olarak belirlenmiştir. Bu sayede yarışma için önemli olan dayanıklılık ve hafiflik kavramları bir arada sağlanacaktır. Mekanizma İHA'ya yerleştirilirken olabildiğince ağırlık merkezinin yakınına konmuştur. Bu sayede yükler bırakıldıktan sonra uçuşu etkileyecek olan momentler minimuma indirgenerek daha dengeli bir uçuş sağlanması hedeflenmiştir.



Şekil 10: Top Bırakma Mekanizması Teknik Çizimi

1.2.4. Elektrik Elektronik Kontrol ve Güç Sistemleri

Elektronik aksamalar seçilirken önceki sistemler incelenmiş ve kullanılabilecek malzemeler hakkında fikirler edinilmiştir. İHA'ya gerekli olan itkiyi sağlaması için fırçasız DC motor kullanılmıştır. Sistemde, fırçasız DC motoru kontrol etmek için Elektronik hız kontrol (ESC) devresi bulunmaktadır. İstikamet dümeni, irtifa dümeni ve kanatçıkların kontrolü için 4 tane servo motor vardır. Aynı zamanda bu hareketli kısımların kontrolü ve kullanımı için otonom uçuşa uygun uçuş kontrol kartı ve çeşitli görevler için ise bir yardımcı bilgisayar yer alacaktır.

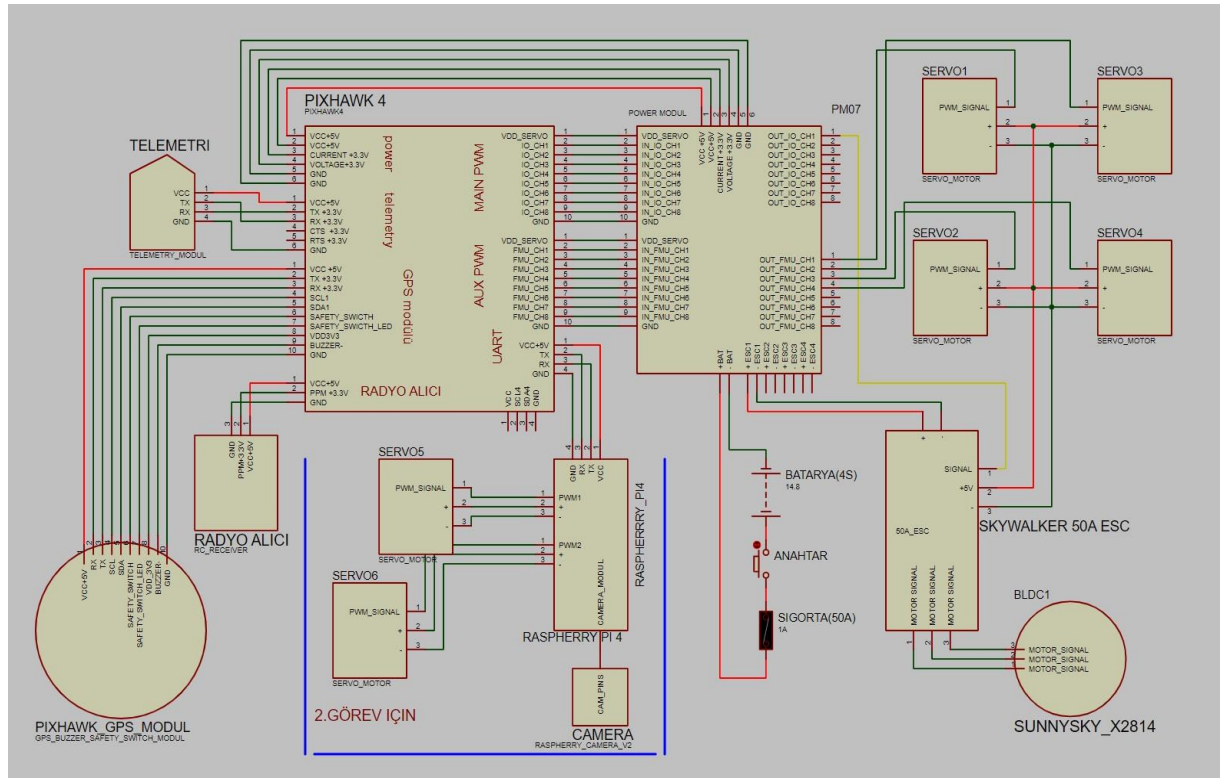
Ardupilot oto pilot yazılımı için kullanılabilecek en uygun, açık kaynak yazılıma sahip, aynı zamanda mikrokontrolcü tipinde kartlar arasında öne çıkan Pixhawk olmuştur. Pixhawk modelleri arasında sensörleri ve sahip olduğu işlemci karşılaştırılmıştır. STM32F765 işlemcisi bulunan, 2 adet 6 eksenli ivmeölçerlere, barometreye sahip olan, ekstradan farklı tiplerde iletişim portlarını destekleyen Pixhawk 4 modelinde karar kılınmıştır. GPS modülü olarak UBLOX Neo-m8n çipine, buzzera, güvenlik anahtarına ve pusula sensörüne sahip Pixhawk 4 GPS modülü kullanılacaktır. Telemetri modülü için uçtan uca şifreleme özelliğine sahip, programlanabilen Digi Xbee modülü, yer istasyonu olarak da RF kumanda ve bilgisayar kullanılacaktır. Bilgisayar üzerinden Mission Planner yazılımı ile görevler idame ettirilecektir.

Yardımcı bilgisayar olarak diğer modellere göre uygun fiyat ve güvenilirlik sunan, görüntü işleme için yeterli işlemci gücü sağlayan Raspberry Pi 4 Model-B seçilmiştir. Raspberry Pi 4 diğer Raspberry modellerine göre daha yüksek işlemci gücü sunmaktadır.

Fırçasız DC motorun seçiminde ağırlık (Tablo-4) göz önünde bulundurulmuştur. Elektronik kısımlar ve batarya kütlesi 674 gram olarak hesaplanmıştır. İtki bölümünde (1.2.5.) belirtilen seyir şartlarına uygun 600W güce ulaşabilen SunnySky X2814 Fırçasız DC motorun kullanılmasına karar verilmiştir. Motorun datasheet dosyasına bakılıp maksimum güçte 40.3A çekeceği görülmüştür. Bu bilgiye dayanarak hız kontrol devresi Hobbyking Skywalker 50A ESC modeli tercih edilmiştir. Skywalker 50A ESC 5V/5A UBEC devresine sahiptir. Buradan sağlanan güç ile servo motorlar beslenecektir.

Batarya seçiminde gerekli uçuş süresi önemli bir kriterdir. Sistemin dakikada ortalama kaç amper çektiği, bataryanın dakikada verdiği elektriksel güce bölünerek uçuş süresi hesaplanabilir. **4dk= (2.2Amper x Saat) /30 Amper**

Motorun ortalama 30A tüketeceği göz önünde bulundurulmuştur. Yapılan hesaplarda pilin 4 dakikadan fazla uçuş süresi sunması görevlerin tekrarı durumunda yeterli görünen Gens Ace 4S 2200 mAh (30C) batarya tercih edilecektir. Hücre sayısını belirleyen faktör motorun çalışma gerilimidir. Motor 14.8V ile çalıştırılacağı için 4S seçilmiştir. C katsayısı ile anlık çekilebilen akım miktarını hesaplayabiliriz. Bu batarya için $30C \times 2.2A = 66A$ anlık maksimum akım alınabileceği görülmüştür. Batarya güç modülüne dahildir. Güç modülü batarya, anahtar ve sigortadan oluşur. Öngörülemeden fazla akım çekmelerinden sistemi korumak için 60A bıçak sigorta kullanılacaktır. Anahtar, İHA'ya güç gitmiyorken akımı kesmesi için eklenmiştir. Sistemin devre şeması Proteus programıyla çizilip Şekil-11'de gösterilmiştir.



Şekil 11: Devre Şeması

1.2.5. İtke ve Ağırlık Hesapları

İHA uçuş ve kalkış vaziyetinde sürüklenme kuvvetine maruz kalır. İHA'nın seyir alabilmesi için sürüklemeyi yenmesi gerekir. Bunu itke kuvveti, itke kuvvetini ise pervane, pervaneye dönme gücünü ise motor sağlar. Modelimiz üzerinde sürüklenme kuvveti ANSYS Fluent programı aracılığıyla 3 ile 4 Newton arası bulunmuştur. Bu değer gerekli itke kuvveti olsa da İHA'nın istenildiğinde akrobatik hareketler yapması durumunda itkinin en azından ağırlığın 1 katını karşılayabilmesi gerekmektedir. İtke hesapları pil voltajının yarısı kullanılıp, farklı çap ve dönme değerleriyle döngüye koyulmuştur. Sonuç olarak 11×5.5 pervane için 8000 RPM'de 1000 kW motorla 15.17 Newton itke olduğu hesaplanmıştır. Bir pil hücresinin 3V'nin altına inmemesi gerektiğinden bu değerler İHA için ideal olacaktır.

$$T = C_t \times \rho \times n^2 \times D^4 \rightarrow 15.17 \text{ N} = 0.1028 \times 1.225 \times 140^2 \times 0.28^4$$

İHA'nın ikinci görev esnasında düşük hızlarda dengeli hareket etmesi gerektiğinden pervanemiz iki palalı seçilip hatve değerleri (5,5 inç) yüksek alınmamış ve çapı 11 inç alınmıştır. Bunun nedeni düşük hatveli pervanelerin büyük hatveli pervanelere göre yüksek taşıma kuvveti üretilip düşük hızlardaki uçaklar için daha ideal olmasıdır. Görev odaklı bakıldığında gerekli itkide tek motor kullanılması hem maliyetler hem üretim kolaylığı açısından daha doğru olacaktır. Motorun arkaya konması yerine ön tarafa konması kolay manevra kabiliyeti ve uçuş kararlılığı sağlayacaktır. Bölüm 1.2.4'te en çok güç tüketen parçanın motor olduğu belirtilmiş ve yapılan hesaplamada da uçuş süresi dört dakika olarak belirtilmiştir.

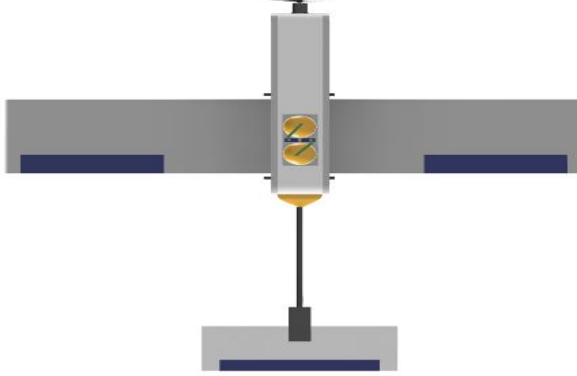
İHA'nın tüm parçalarının kütlesi Tablo-4'te yazılmıştır. Yüklü kütle, toplanarak (2*150g) beraber kalkış yapacak olan İHA'nın kalkış ağırlığını belirlemektedir. Buna göre kalkış ağırlığı 1,753 kg * 9,81 m/s² = 17,2 N'dur. Sonuç olarak en az gerekli taşıma kuvveti de bulunmuş olur. Ağırlık merkezinin konumu uçağın dengesini ve uçuş kararlılığını etkilemektedir. İHA seyir halinde kanadın yaklaşık çeyrek veter kısmında (aerodinamik nokta) taşıma kuvvetine maruz kalır. Eğer ağırlık merkezi aerodinamik noktanın çok önünde olursa burun aşağı, çok arkasında olursa burun yukarı seyir alır. Bu uçuş halleri İHA'nın stall'a girip düşmesine neden olabilir. Dengeli uçuş için ağırlık merkezi aerodinamik noktanın biraz önünde olmalıdır. Pil gibi ağır parçalar burun kısmına konularak ağırlık merkezi kanadın hemen önüne kaydırılmaya çalışılmıştır. Pilin ve motorun yayacağı ısı ve titreşimler dikkate alınıp hassas parçalar burundan biraz daha arkaya yerleştirilmiştir. Bunun sonucunda kalkışa hazır yüklü İHA'nın ağırlık merkezi Şekil-13'te gösterilmiştir.

İSİM	KANAT	GÖVDE	KUYRUK	GÖREV MEKANİZMASI	BAĞLANTI ELEMENLARI	ELEKTRONİK EKİPMANLAR	YÜKSÜZ KÜTLE	TOTAL	YÜKLÜ KÜTLE	TOTAL
KÜTLE(gr)	233	187	37	82	240	674	1453		1753	

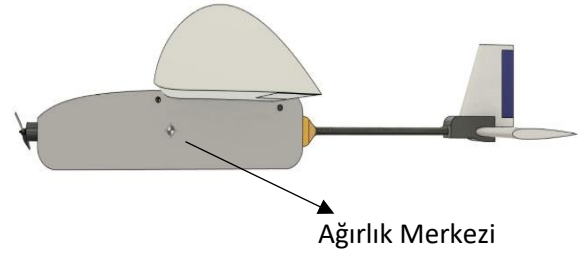
Tablo 4: Kütle Tablosu

1.2.6. Görsel Tasarım Konfigürasyonu

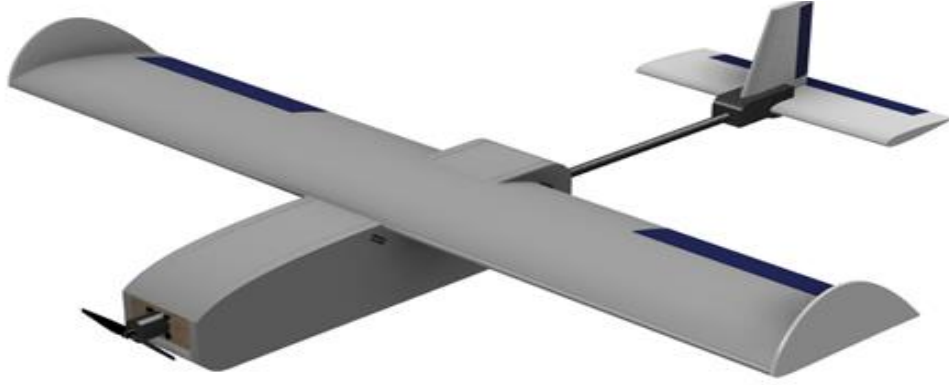
İsteriler belirlendikten ve hesaplamalar yapıldıktan sonra karar kılınan kavramsal tasarımın görselleri ve teknik çizim bilgileri aşağıdaki görsellerle desteklenmiştir.



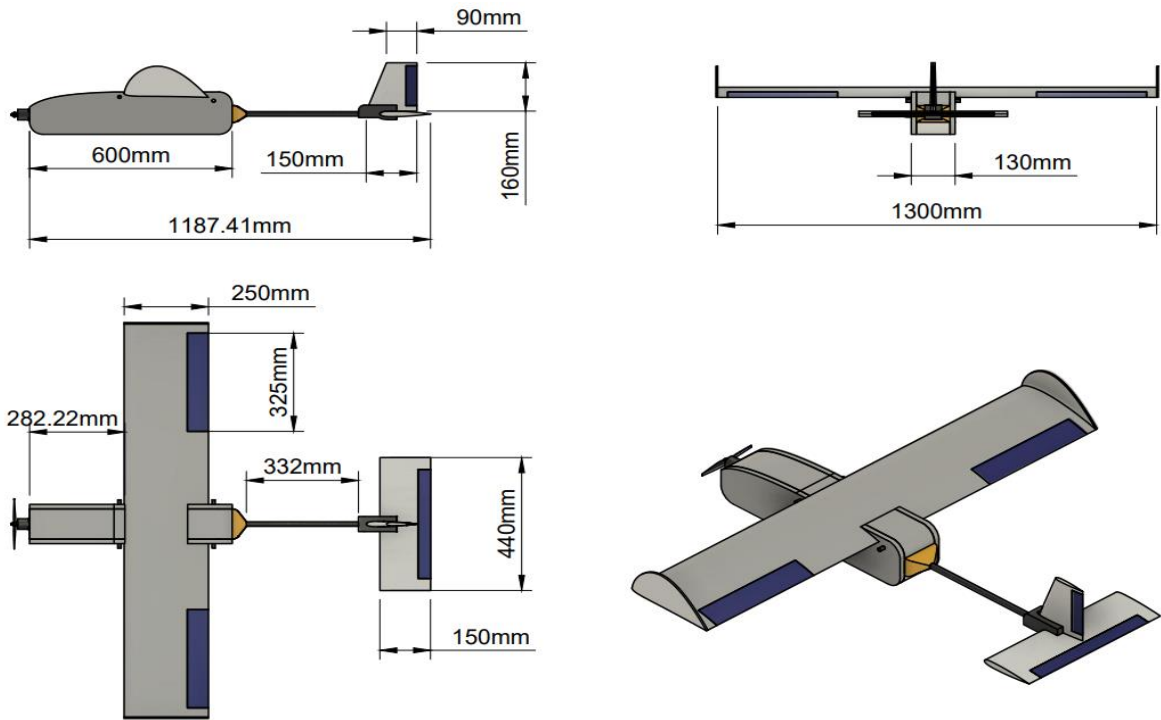
Şekil 12: Tasarımın Alttan Görünümü



Şekil 13: Tasarımın Yandan Görünümü



Şekil 14: Tasarımın İzometrik Görünümü



Şekil 15: Tasarımın Teknik Çizimi