

7. ULUSLARARASI
İNSANSIZ HAVA ARAÇLARI YARIŞMASI
KAVRAMSAL TASARIM RAPORU

TAKIM ADI: ARŞ
TAKIM ID: 331259
TAKIM KAPTANI ADI SOYADI: CAN KARAGEDİK
TAKIM KAPTANI ÜNİVERSİTESİ: ORTA DOĞU TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
ARAÇ TÜRÜ: DÖNER KANAT
KATEGORİ: <input type="checkbox"/> SABİT KANAT <input checked="" type="checkbox"/> DÖNER KANAT

1.1.ORGANİZASYON ÖZETİ

1.1.1.Takım Organizasyonu

Takım Üyeleri	Okul	Bölüm	Sınıf
Can Karagedik	Orta Doğu Teknik Üniversitesi	Matematik	4.Sınıf
Furkan Berber	Ege Üniversitesi	Bilgisayar Mühendisliği	3.Sınıf
İlkay Ergüder	Orta Doğu Teknik Üniversitesi Kuzey Kıbrıs Kampüsü	Havacılık ve Uzay Mühendisliği	4.Sınıf

Tablo 1: Takım Üye Bilgileri

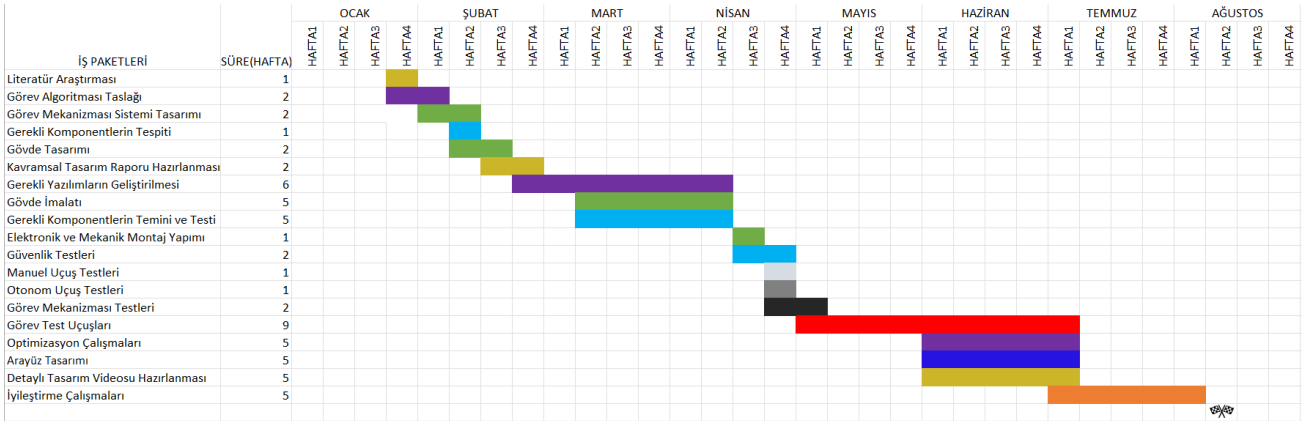
Can Karagedik, İHA'nın görüntü işleme ve kitlenme yazılımlarından, otopilot yazılımlarından, elektronik devre elemanlarının montajı ve testlerinden sorumludur. Takımın pilotudur.

İlkay Ergüder, İHA'nın gövde tasarımı ve mekanik aksanlarından sorumludur. Takımın yedek pilotudur.

Furkan Berber, İHA'nın görüntü işleme ve kitlenme yazılımlarının testleri ve geliştirilmesinden, otopilot yazılımına arayüz geliştirmekten sorumludur.

1.1.2.İş Akış Çizelgesi

Yarışma süresince takımımız gerek iş bölümü gerekse iş birliği yaparak çizelgede belirtilen iş paketlerini tamamlamaya çalışacaktır.

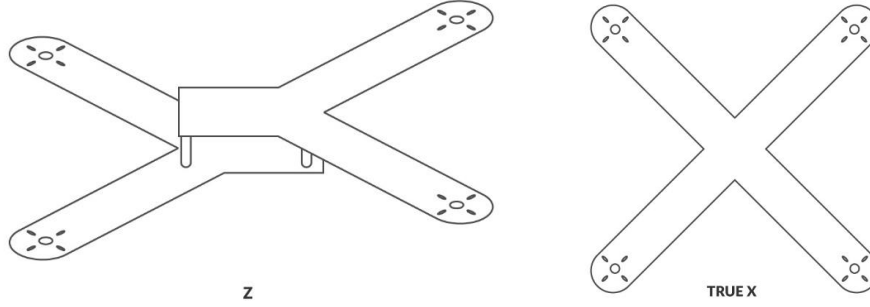


Tablo 2: İş Zaman Çizelgesi

1.2. TASARIM İÇERİĞİ

1.2.1.Görevler için İHA Konfigürasyonu

İHA birinci ve ikinci görevi başarıyla yerine getirebilecek optimal boyutlara sahip olacak şekilde 7 inç pervane kullanımına uygun şekilde tasarlanmıştır. Ön motorların ittiği türbülans havanın arka motorlara etki etmesini azaltmak amacıyla İHA tasarımı Z tipi konfigürasyonunda olacak şekilde düşünülmüş, ancak İHA'nın ağırlık taşıması gerektiğinden tüm eksenlerde aynı stabiliteye sahip olması hedeflenerek true X konfigürasyonuna sahip bir tasarım izlemeye karar verilmiştir.



Şekil 1: İHA Konfigürasyon Örnekleri

İHA gövde tasarımı kaza anında taşıyacağı mekanik ve elektronik ekipmanların hasar almasını önleyecek şekilde yapılmıştır. Sağlamlığı etkilemeyecek şekilde, gövde ağırlığını olabildiğince az tutabilmek için topolojik optimizasyon yapılmaya çalışılmıştır.

1.2.2.Gövde ve Mekanik Sistemler

Gövdenin 7 inç pervanelere uygun şekilde 357mm aks mesafesine sahip olacak, pili üstte taşıyacak şekilde tasarlanmıştır. Gövde materyalinin seçiminde yoğunluk, özgül dayanım, gerilim direnci ve elastisite modülü ölçütlerinde öne çıkan karbon fiberden yapılmasına karar verilmiştir (bkz. Tablo 3).

Malzeme	Yoğunluk(g/cm ³)	Özgül Dayanım(kN*m/kg)	Elastisite modülü(GPa)	Gerilme Direnci(MPa)
Karbon Fiber	1.79	3911	181	7000
S Sınıfı Fiber Glass(Cam Elyafı)	2.60	1307	88.9	3400
Alüminyum	2.81	204	71	572

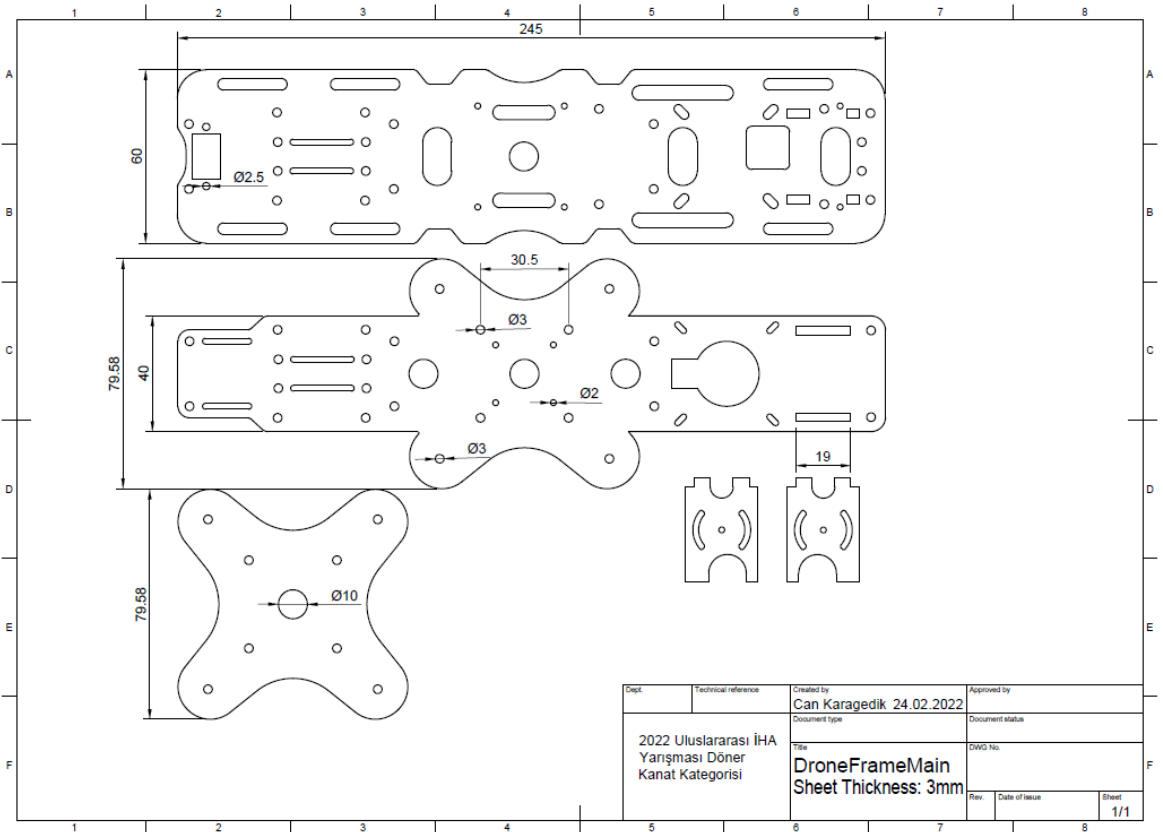
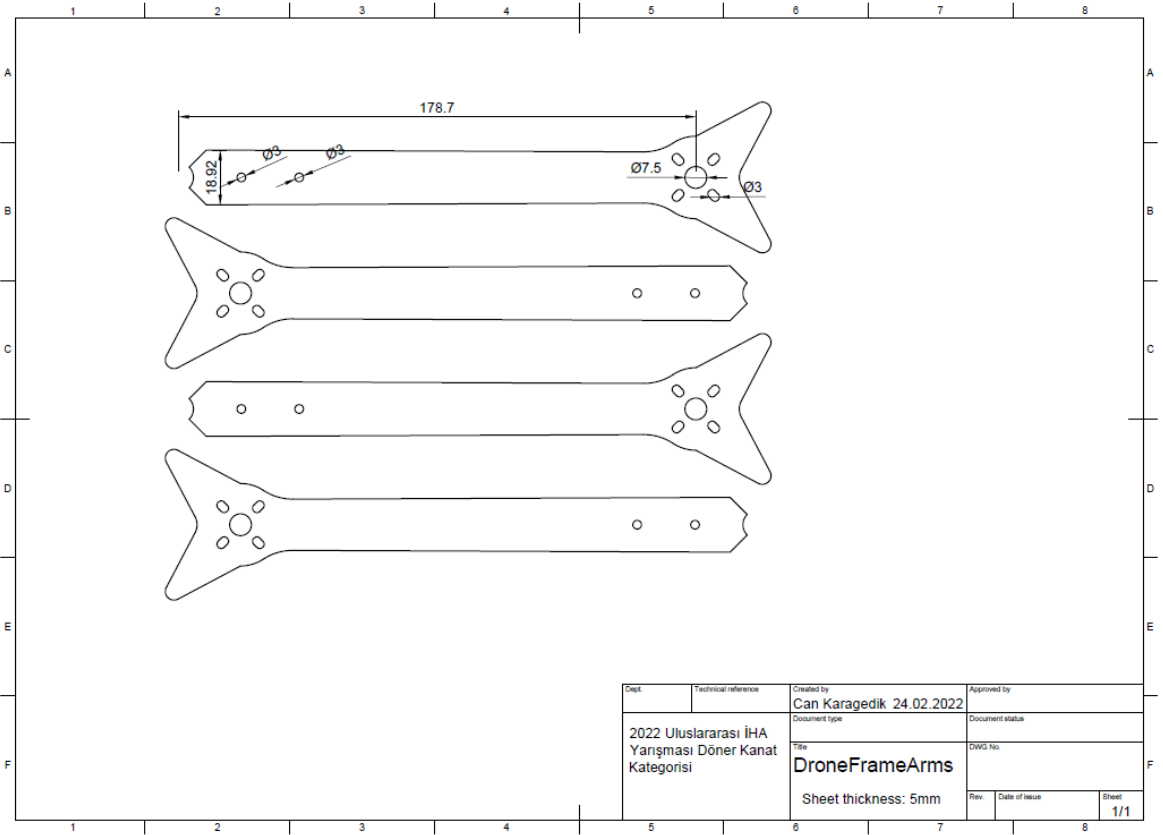
Tablo 3: Malzemelerin Mekanik Özellikleri

Tablodaki veriler kompozit materyallerin yada alaşımların oranlarına göre değişebilmekle beraber malzemelerin mekanik özellikleri hakkında genel bilgi vermesi amacıyla paylaşılmıştır.

Elastisite modülü, malzemenin kuvvet altında elastik şekil değiştirmesinin ölçüsüdür çekme mukavemeti olarak da bilinir. **Gerilme direnci**, malzemenin kırılma noktasına kadar uygulanan çekme hareketine karşı gösterilen direncin ölçüsüdür. **Özgül dayanım**, yoğunluğa göre bölünmüş bir malzemenin gücü anlamına gelir (arızada birim alan başına kuvvet). Aynı zamanda direnç-ağırlık oranı veya mukavemet/ağırlık oranı veya dayanım-kütle oranı olarak da bilinir.

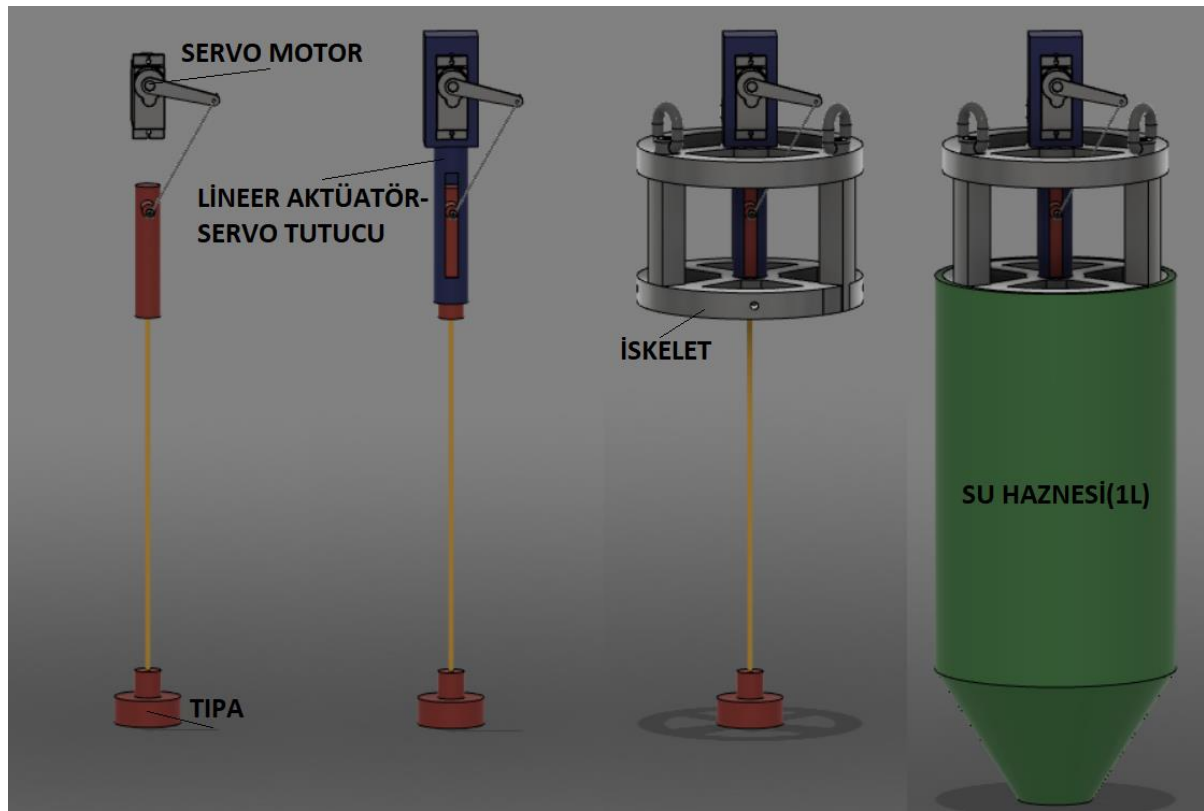
Gövde parçaları; kol parçaları 5mm ve geri kalan parçalar 3mm et kalınlığına sahip olmak üzere maruz kalacağı kuvvetlerde esneme yapmayacak şekilde tasarlanmış, gerekli yerlerden vidalanmış, gövde plakaları aralayıcı parçalarla desteklenmiştir. Kaza durumlarında zarar görmesi muhtemel kol gibi parçalar tek plaka halinde olmak yerine ayrı parçalar şeklinde

tasarlanmış güvenli şekillerde bütünlüğü sağlanmıştır. Bu sayede hasar alan parçaların değişimin kolay bir şekilde yapılması planlanmıştır. Aynı şekilde parça değişikliğinde kolaylık sağlaması nedeniyle simetrik tasarıma uygun olan tüm parçalar simetrik olarak tasarlanmıştır.



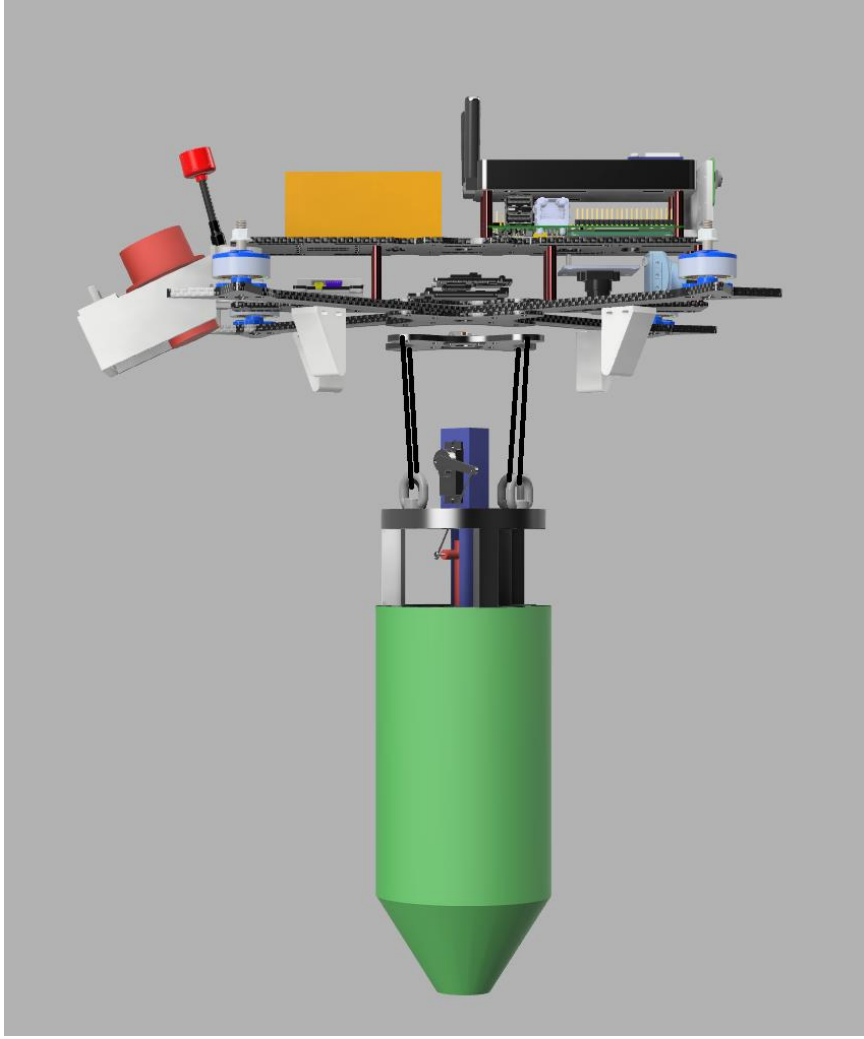
1.2.3.Görev Mekanizması Sistemi

Görev mekanizması sistemi 0.9-1L suyu taşımaya uygun şekilde tasarlanmıştır. Su alma işlemi, su haznesinin suya dalması ve suyun alttan girişiyle gerçekleşecektir. Suyun giriş yapacağı ağzın çapı standart 1L lik su şişeleri çapı olan 2.5cm olarak karar verilmiştir. Su alma haznesi gerektiğinde standart 1L lik su şişesi ile değişim yapılabilecek şekilde tasarlanmıştır. Su haznesinin kesik koni şeklindeki bölümü 5cm yüksekliğe, silindir kısım ise 15cm yüksekliğe ve 8.5cm çapa sahiptir. Suyun alımından sonra suyun taşınması sırasında suyun dökülmemesi lineer bir metal çubuğa bağlı olan contalı tıpanın, servo motorun çalıştırılması ile su haznesinin ağzını kapatması ile sağlanacaktır. Aynı şekilde suyun boşaltılması durumunda servo motor tekrar çalıştırılarak tıpa yukarı çekilecek ve suyun boşaltılması sağlanacaktır. Servo motor ile görev mekanizması toplam yaklaşık olarak 1200g ağırlığa sahip olup 4 adet ip ile İHA'ya bağlanacaktır. Su alma ve işleminin 15 saniye, su boşaltma işleminin ise 3 saniyede gerçekleştirilmesi beklenmektedir.



Şekil 2: Görev Mekanizması

Görev mekanizması İHA'nın stabilitesini bozmayacak şekilde tam ağırlık merkezi hizasında 4 adet 40-50cm ip ile İHA'ya bağlanacaktır. Güç bağlantıları ise gerekli konektörler ile sağlanacaktır. İHA inişlerinde önce görev mekanizması yere deyecek, ardından İHA yatayda (x ekseninde) yaklaşık 50cm daha ilerledikten sonra yere temas için alçacaktır. Böylece görev mekanizması inişlerde bir engel teşhis etmeyecektir.



Şekil 3: İHA ve Görev Mekanizması

Görseldeki ipler temsili olarak koyulmuştur, gerçekte iplerin uzunluğunun yaklaşık 40-50cm olması planlanmıştır.

1.2.4.Elektrik Elektronik Kontrol ve Güç Sistemleri

Uçuş kontrolcü kartı olarak 216MHz STM32F722RET6 mikrodenetleyici ile donatılmış MatekSYS F722-SE uygun görülmüştür. Otonom uçuşlar için şart olan barometreye (BMP280 veya DPS310) ve 2 adet ivmeölçere (MPU6000 ve ICM20602) sahip olmasının yanı sıra aynı anda 5 adet birim ile UART protokolünde seri haberleşme yapabilmesi bu kartı seçme nedenimiz olmuştur. Aynı zamanda 36 x 46 mm boyutu ve 10g ağırlığıyla, atik bir İHA tasarlama hedefimize de uygun bir seçim olmuştur.

Yardımcı bilgisayar olarak Raspberry Pi 4 işleme modülü temelli, stereo kamera kullanmamıza olanak sağlayan, boyutları sebebiyle rakipsiz, StereoPi v2 uygun görüşmüştür.

RF vericisi olarak ekonomik olması ve menzilin gerçekteştireceğimiz görevler için yeterli oluşu sebebiyle FlySky markasının 2.4GHz bandında yayın yapan 10 kanala sahip FS-i6X model kumandası uygun görülmüştür. RF alıcı olarak 1.7g ağırlığıyla ön plana çıkan, 2 antenli FlySky firmasının Fli14+ modeli 14 kanallı alıcısı kullanılması hedeflenmiştir. Sözü geçen RF alıcı verici kombinasyonu İHA'nın 500 metreden fazla menzile sahip olması beklenmektedir.

Yer istasyonu ile kurulacak iletişimde 1.2km menzile sahip ESP32 tabanlı ESP32M1-Reach Out Telemetri Modülü kullanılması planlanmıştır. Yer istasyonu yazılımı olarak yıllarca sektöre hizmet eden, güvenilirliği kanıtlanmış, karar kılınan uçuş kontrolcü kartı ile uyumlu, açık kaynak kodlu Ardupilot Mission Planner uygun görülmüştür. Aynı zamanda, son yıllarda popülerliği artan, otonom GPS'li uçuşlar üzerinde çalışmalar gösteren, açık kaynak kodlu INAV Mission Planner yazılımına şans verilmesi de planlanmıştır.

Yardımcı bilgisayarın ve telemetri modülünün beslenmesi için 22.2-25.2V pil voltajını 5V a dönüştüren 5A sınırlı voltaj regülatörü kullanımı kararlaştırılmıştır.

Konum bilgisi alma amacıyla çoklu frekans GNSS alıcıya sahip olması ve rakiplerine oranla daha büyük anten yüzeyi sebebiyle MatekSYS marka, M9N-5883 model GPS-Pusula modülü kullanımı kararlaştırılmıştır.

Su alma ve bırakma alanının tespitinde 720p çözünürlükte 30 FPS sunabilen IMX335 sensörüne ve 106 derece görüş açısına sahip balık gözü lensli WaveShare marka 5MP USB kamera kullanımına karar verilmiştir. Birinci görevde ise direklerin stereo kameralarla tespiti ile mesafe verisine sahip olarak çok daha hassas bir rota izlemeyi planlayan takımımız, bu amaçlara uygun olan 2 adet IMX219 sensörüne ve 160 derece görüş açısına sahip balık gözü lensli WaveShare marka kamera kullanımını uygun görmüştür.

Motorların ve pilin seçiminde, tüm görevleri 3.0 (g/W) verimliliğin altına düşmeden gerçekleştirecek motor/pil kombinasyonu hedeflenmiştir. Yüksek verimliliğe sahip İHA bize daha uzun uçuş süresi sunarken aynı zamanda motor, elektronik hız kontrolcüsü gibi komponentlerin fazla ısınmadan sağlıklı değerlerde çalışmasına olanak sağlayacak, komponentlerin kullanım ömrünü uzatacaktır. Bu hedefler doğrultusunda, iFlight markasının 2806.5 XING 1300KV Fırçasız Motorlarının kullanılması kararlaştırılmıştır.

Pervane Boyutu (inç)	Gerilim(V)	Gaz(%)	Çekilen Akım(A)	İtici Kuvveti(g)	Güç (W)	Verimlilik (g/W)
7*4*3	24V	50	7.59	866	182.2	4.754
		60	12.91	1199	309.8	3.870
		70	20.25	1519	486.0	3.126
		80	30.56	1998	733.4	2.724
		90	38.98	2356	935.5	2.518
		100	48.18	2586	1156.3	2.236

Tablo 4: Motor Teknik Verileri

Elektronik hız kontrolcüsü seçiminde motorların maksimum çekeceği akıma uygun, 3-6S voltaj aralığında sürekli olarak 60A akım aktarabilen Diatone marka Mamba Race F60 BL32 4-in-1 ESC kullanımına karar verilmiştir.

Pil seçimindeki en önemli faktör İHA'ya sağlayacağı uçuş süresidir. Kullanacağımız motorların ikinci görevde 2650 g İHA kalkış ağırlığı ile %50 gaz verimliliğinde 1kg itme kuvveti için yaklaşık 210W güç tüketmesi beklenmektedir, buna göre:

İHA'nın anlık ortalama çekeceği akım = İHA'nın kalkış ağırlığı * Güç / Gerilim değeri
 $2.650\text{kg} \cdot 210\text{W} / 24\text{V} = 23\text{A}$ olarak hesaplanmaktadır.

Ancak İHA'nın yükselme ya da hızlanma durumlarında daha fazla akım çekeceğinden, anlık ortalama 30A akım çekmesi beklenmektedir. Bu veriye göre, tahmini görev süresi ve oluşabilecek aksilikler göze alındığında; "Uçuş süresi = kapasite / ortalama deşarj akımı"

formülü ile $(0.8 \cdot 3000\text{mah} / 30000\text{ma} = 0.08\text{h} = 4.8\text{min})$ 3000mah kapasite ile 4.8 dakika uçuş süresi sağlayacak bir pilin kullanılması uygun görülmüştür.

Pilin verebileceği maksimum akımı belirten C değeri hesaplanmasında, motorların %90 gazda sınırlandırılması koşuluyla maksimum çekilecek akım $= 4 \cdot 40\text{A} = 160\text{A}$ olarak belirlenmiş ve C değeri “C değeri = maksimum deşarj akımı/ pil kapasitesi” formülü ile $160\text{A} / 3\text{Ah} = 53.3\text{C}$ belirlenmiş, bu değer yukarı yuvarlanması ile 60C değerine sahip pil kullanılması uygun görülmüştür. İHA ağırlığında yada motorlarda değişiklik yapılmadığı sürece, ikinci görevde 6S 3000mah 60C özelliklerindeki bir pilin kullanımı hedeflenmiştir.

İlk görevde 1150g İHA kalkış ağırlığı ile %30-40 gaz verimliliğinde 1kg itme kuvveti için yaklaşık 180W güç tüketmesi beklenmektedir, buna göre:

İHA'nın asılı kalması için anlık çekeceği ortalama akım $= \text{İHA'nın kalkış ağırlığı} \cdot \text{Güç} / \text{Gerilim}$ değeri $1.150\text{kg} \cdot 180\text{W} / 24\text{V} = 8.6\text{A}$ olarak hesaplanmaktadır.

Ancak birinci görevde, görevin olabildiğince kısa sürede bitirilmesi hedeflendiğinden İHA'nın yüksek hızlarda seyretmesi ve anlık ortalama 20A akım çekmesi beklenmektedir. Bu veriye göre, tahmini görev süresi ve oluşabilecek aksilikler göze alındığında; “Uçuş süresi = kapasite / ortalama deşarj akımı” formülü ile $(0.8 \cdot 1550\text{mah} / 20000\text{ma} = 0.062\text{h} = 3.72\text{min})$ 1550mah kapasite ile 3.72 dakika uçuş süresi sağlayacak bir pilin kullanılması uygun görülmüştür. C değeri ise $160\text{A} / 1.55\text{Ah} = 103.2\text{C}$ belirlenmiş, bu değer yukarı yuvarlanması ile 120C değerine sahip pil kullanılması uygun görülmüştür. İHA ağırlığında ya da motorlarda değişiklik yapılmadığı sürece, ikinci görevde 6S 1550mah 120C özelliklerindeki bir pilin kullanımı hedeflenmiştir.

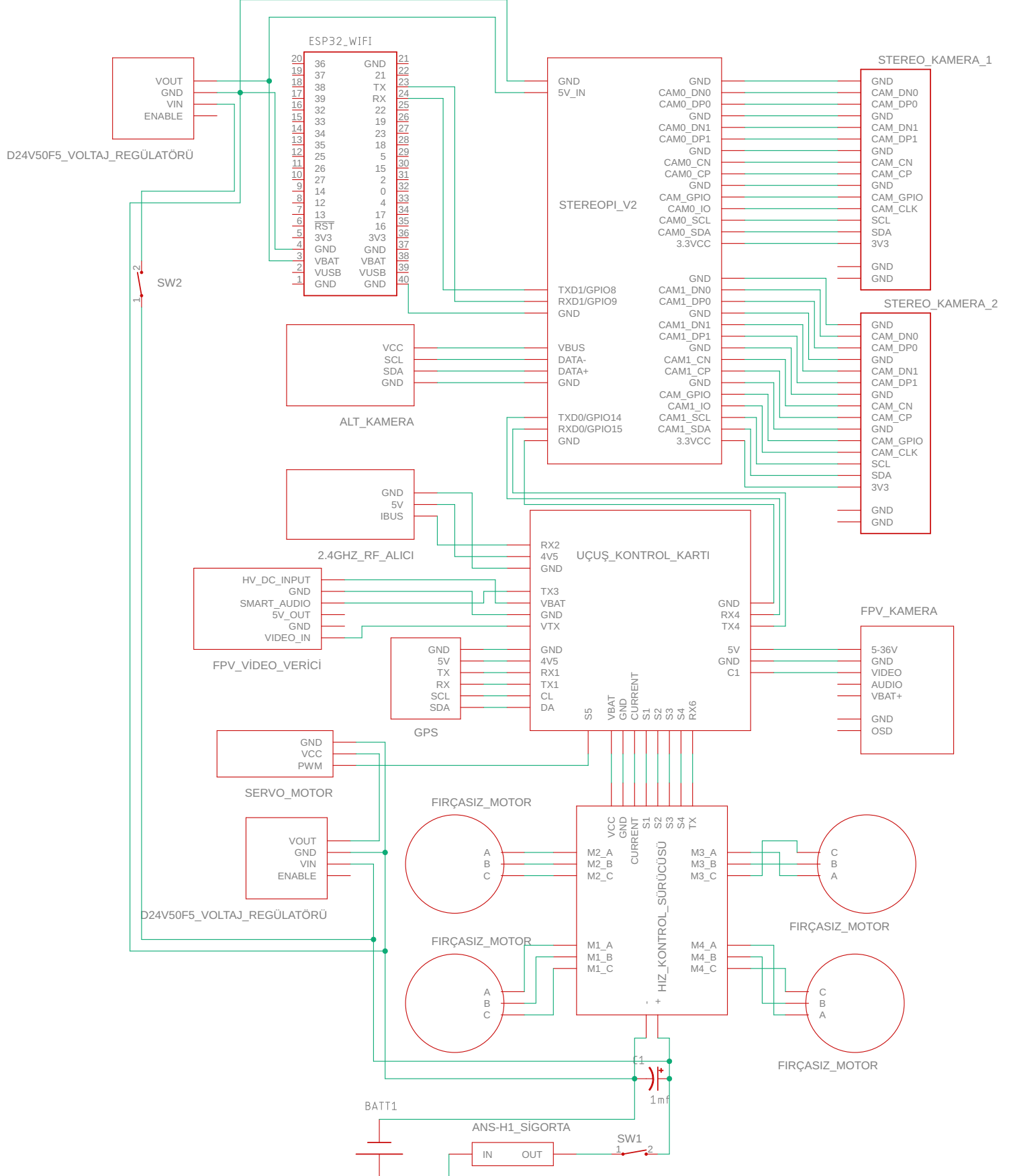
Pil çeşidi olarak, yüksek deşarj akımı sağlayabilmesi nedeniyle sektörde yaygın olarak kullanılan Li-Po pillerin kullanılması uygun görülmüştür. Ancak İHA'nın verimlilik seviyesini daha da arttırmak amacıyla, deşarj akım miktarı Li-Po pillere göre daha sınırlı (sürekli maksimum akım 45A) ancak daha yüksek enerji yoğunluğuna sahip Li-Ion pillerin kullanılması da düşünülmektedir. Yüksek enerji yoğunluğuna sahip Li-Ion piller Li-Po pillerle kıyaslandığında daha düşük bir ağırlığa sahip olurken daha fazla enerji kapasitesine sahip olmaktadır. Örnek 6 hücreli 21700 pillerinden oluşan 4000mah Li-Ion pil 443.5g gelmekte iken aynı ağırlıktaki Li-Po pil 3000mah kapasiteye sahip olmaktadır. Eğer pratikte İHA'nın toplamda 40A i geçmeden görevleri yerine getirebildiği görülürse Li-Po pil yerine aynı kapasiteye sahip Li-Ion pillerin kullanımı tercih edilecektir.

Görev mekanizmasında suyun alımında ve boşaltımında gerekli tıpanın lineer hareketini sağlayacak servo motor, görevi gerçekleştirecek torka sahip olması, ağırlık ve ebat olarak küçük olması sebebiyle EMAX ES08MD 13g Mini Metal Dişli Servo düşünülmüştür. Üretici firma tarafından yapılan testlerde 1.68 kg kuvvete maruz kalan servonun 4.8V gerilimde 3.9A akım çektiği gözlenmiştir. Bu veri doğrultusunda, servo motorun beslenmesi için 5A sürekli akım verebilen 22.2-25.2V pil voltajını 5V a düşüren voltaj regülatör devresi kullanımı uygun görülmüştür.

Motorlar ve diğer donanımların çekebileceği maksimum akımın 170A olması sebebiyle 175A lik bir sigorta ve 200A dayanımına sahip akım kesici kullanımı kararlaştırılmıştır. Ayrıca pilden gelebilecek voltaj düzensizliklerinin önlenmesi amacıyla 1000uF 35V kondansatör kullanımı uygun görülmüştür.

FPV kamera sistemi uçuş testleri sırasında oluşabilecek kazaları önlemek ve sorunlara teşhis koyabilmek amacıyla kullanılacak, yarışma gününde bu parçalar tamamıyla çıkartılacaktır.

FPV kamera sistemi uçuş testleri sırasında oluşabilecek kazaları önlemek ve sorunlara teşhis koyabilmek amacıyla kullanılacak, yarışma gününde bu parçalar tamamıyla çıkartılacaktır.



1.2.5.İtki ve Ağırlık Hesapları

İHA Ağırlığı (Pilsiz)	950g
İHA Ağırlığı (1550mah Pil ile)	1150g
İHA Ağırlığı (3000mah Pil ile)	1450g
Görev Mekanizması ağırlığı	200g
Tam Kapasite Su Ağırlığı (1L)	1000g
Birinci Görev Kalkış Ağırlığı	1150g
İkinci Görev Kalkış Ağırlığı	2650g

Tablo 5: İHA Ağırlık Tablosu

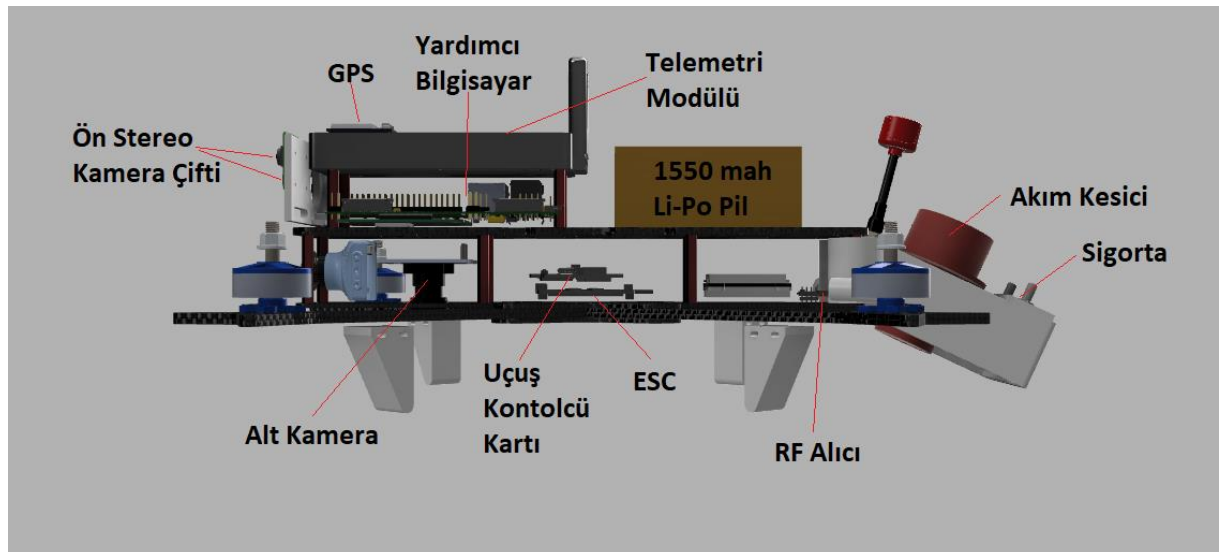
İtki hesaplarında gerekli stabiliteyi sağlayan, olabildiğince verimli bir İHA hedeflenmiş, alınan her kararda itki/ağırlık oranı düşünülmüştür.

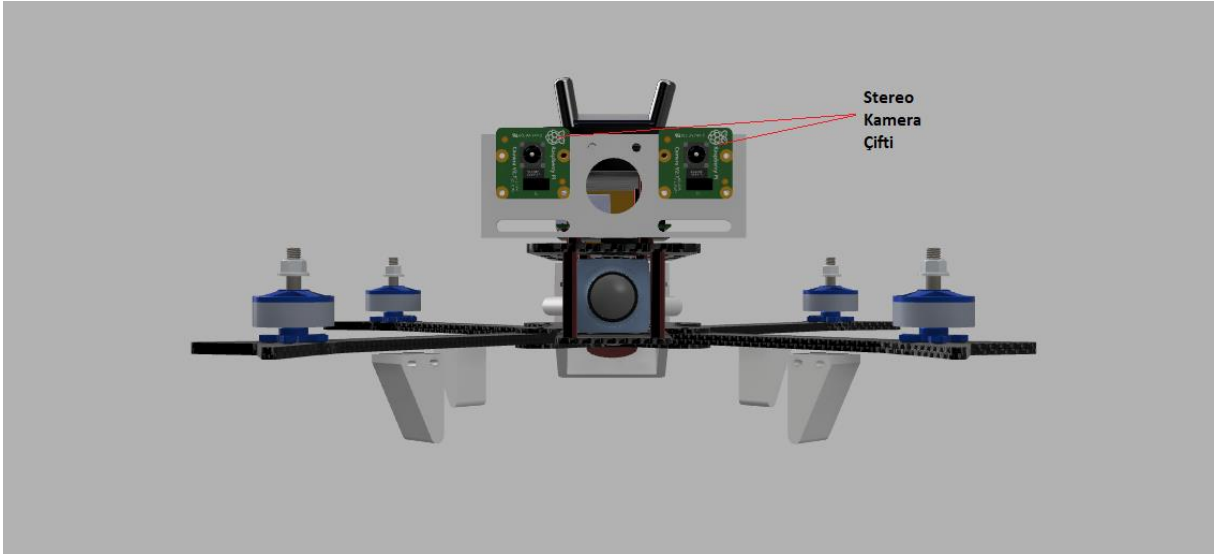
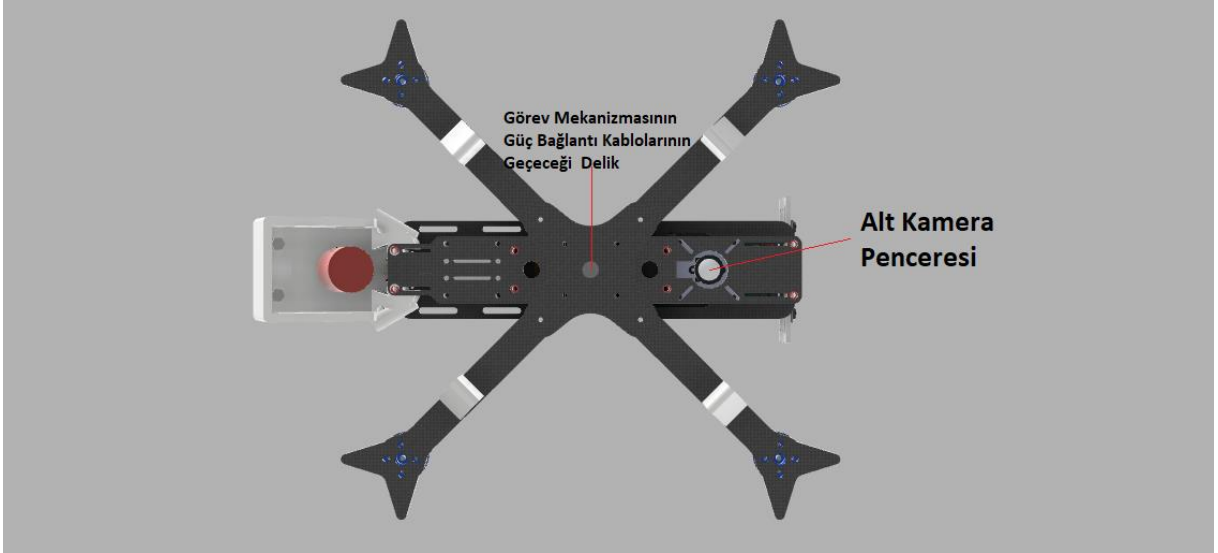
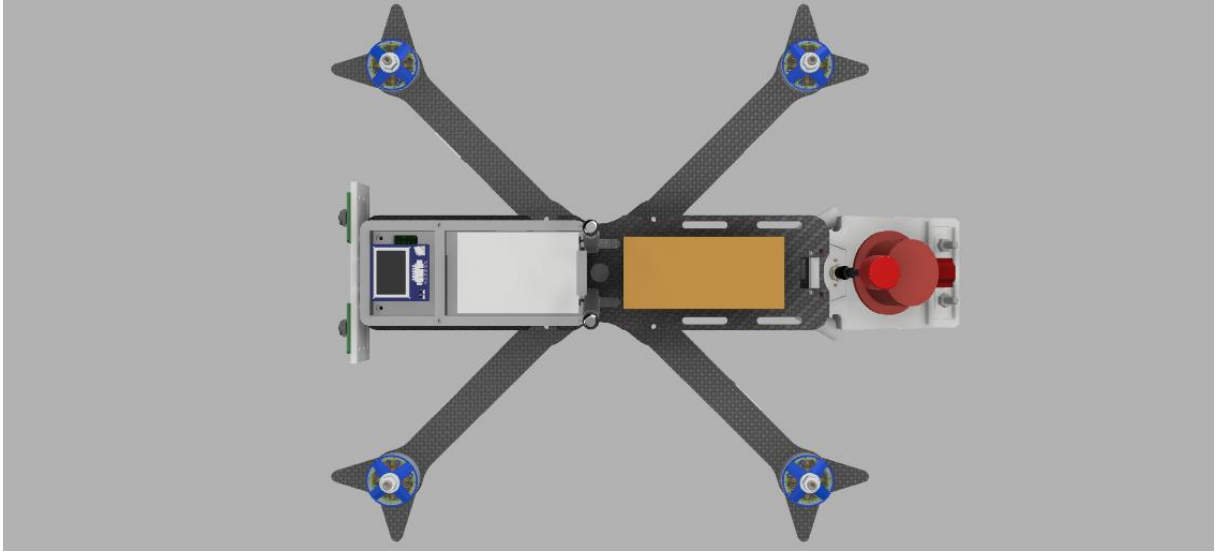
Motorlar, İHA'nın 1L su dahil 2.650 kg kalkış ağırlığı ile, su alma görevinde %50 gazın altında 1:1 itki/ağırlık oranını sağlayacak şekilde seçilmiştir. Böylece İHA'nın %50 gazın altında verimli bir şekilde asılı kalması planlanmıştır. İkinci görevde %100 gazda itki ağırlık oranı 10000g/2650g ile 3.77:1, ilk görevde ise, görev mekanizmasız İHA ağırlığı, pil değişimi ile 1.150 kg'a düşerek %100 gazda 10000g/1150g ile 8.7:1 itki/ağırlık oranı sağlayacaktır. Bu sayede ilk görevde, görevi daha kısa sürede tamamlayacak daha atik bir İHA performansı sergilenmesi hedeflenmiştir.

Elektronik parçaların yerleşimi, ağırlık merkezi x ve y eksenlerinde İHA'nın merkezinde, z ekseninde pilin üste yerleştirilmesinden dolayı merkezden biraz yukarıda olacak şekilde yapılmıştır.

Pervane seçiminde gerekli itki kuvvetinin sağlanabilmesi için 7 inç boyutunda pervane kullanılması kararlaştırılmıştır. Pervane bıçak sayısı olarak, ilk görevde gerekli manevra kabiliyetinin sağlanabilmesi için verimliliği düşürse de İHA'ya daha fazla kontrol kazandıran 3 bıçaklı pervanelerin kullanımı uygun görülmüştür. Pervane malzeme seçiminde ekonomik olması sebebiyle plastik malzeme kullanımı kararlaştırılmıştır. Pervane eğiklik açısı arttıkça motorların itki kuvveti ile birlikte motorların çektiği akım artacağı için en verimli olduğunu düşündüğümüz 4 inç eğiklik açısına sahip pervaneler uygun görülmüştür. Kullanılacak motorda bir değişikliğe gidilmediği taktirde 7x4x3 (boy x eğiklik x bıçak sayısı) kombinasyonunda pervane kullanımı hedeflenmiştir.

1.2.6.Görsel Tasarım Konfigürasyonu





Şekil 4: Sırasıyla Yandan, Yukarıdan, Alttan ve Önden İHA Tasarımı