TEKNOFEST
HAVACILIK, UZAY VE TEKNOLOJİ FESTİVALİ

İNSANSIZ SU ALTI SİSTEMLERİ YARIŞMASI
KRİTİK TASARIM RAPORU

TAKIM ADI: MEFTUN-U DERYA

KATEGORİ: İNSANSIZ SU ALTI SİSTEMLERİ

TAKIM (BAŞVURU) ID: 373395

İçindekiler

1. RAPOR ÖZETİ 3
2. TAKIM ŞEMASI 3
3. PROJE MEVCUT DURUM DEĞERLENDİRMESİ 4
4. ARAÇ ÖN TASARIMI 5
4.1. Sistem Tasarımı 5
4.2. Aracın Mekanik Tasarımı 6
4.2.1. Mekanik Tasarım Süreci 6
4.2.2. Malzemeler 8
4.2.3. Üretim Yöntemleri 9
4.2.4. Fiziksel Özellikler 10
4.3. Elektronik Tasarım, Algoritma ve Yazılım Tasarımı 11
4.3.1. Elektronik Tasarım Süreci 11
4.3.2. Algoritma Tasarım Süreci 17
4.3.3. Yazılım Tasarım Süreci 18
4.4. Dış Arayüzler 21
5. GÜVENLİK 21
5.1. Mekanik Güvenlik Önlemleri 21
6. TEST 22
7. TECRÜBE 24
8. ZAMAN, BÜTÇE VE RİSK PLANLAMASI 25
8.1. Zaman Planlaması 25
8.2. Bütçe Planlaması 26
8.3. Risk Planlaması 27
9. ÖZGÜNLÜK 28
9.1. Mekanik Özgünlük 28
9.2. Elektronik Özgünlük 28
10. YERLİLİK 28
11. KAYNAKÇA 29

1. RAPOR ÖZETİ

Meftun-u Derya Takımı, Teknofest İnsansız Su Altı Sistemleri yarışması için iki senedir İnsansız Su Altı Robotu tasarlayan bir takımdır. Yarışma kapsamında paylaşılan şartname analiz edilmiş ve takım üyelerinin yetkinliklerine göre görev dağılımı yapılmıştır. Akabinde edinilen tecrübeler ile aracın geliştirilmesi sürdürülmektedir.

Mekanik tasarım süreci, elektronik bileşenlerinin boyutlarına bağlı olarak ve yazılımsal gereksinimler doğrultusunda tasarlanmıştır. Geçen seneden edinilen kazanımlar doğrultusunda, araç hazne kapağının daha modüler tasarlanması doğrultusunda çalışmalar yapılmıştır. Tasarlanan flanş yapısı sayesinde, kapaktaki giriş-çıkış çapının esneme payı minumuma indirilmiştir. Aracın itici modülleri, aracın flanşına bağlı olup daha kompakt bir yapı üretilmesi amaçlanmıştır. Aracın modülerliği sayesinde hidrofon ve kamera gibi modülleri göreve uygun doğrultuda takıp çıkarmak mümkündür.

Elektronik tasarım sürecinde, önceki senelerden kazanılmış tecrübeler ve yetkinliklere göre modüler bir elektronik sistem mimarisi oluşturulmuştur. Aracın ana bilgisayar görevini Jetson Xavier AGX görmektedir. Motor ve sensör kontrolleri Pixhawk The Cube Orange üzerinden gerçekleştirilmektedir. Aracın güç ihtiyacına yönelik özgün bir batarya tasarımı gerçekleştirilmiştir. Tasarımda kullanılan elektronik ekipmanlar farklı gerilim değerlerinde çalıştığı için bataryadan alınan gerilim değeri voltaj dönüştürücüler ile gerekli seviyelere yükseltilip alçaltılmıştır. İhtiyaçlar etrafında 6 farklı PCB tasarlanıp üretilmiştir.

Yazılım tasarım sürecinde, obje tespitinde kullanılacak olan derin öğrenme modelinin seçimi yapılmış ve bu model baz alınarak yarışma görevlerine uygun olacak şekilde özgün bir derin öğrenme model mimarisi tasarlanmıştır. Bu modelin eğitilebilmesi için ekip tarafından yarışma odaklı bir veri seti oluşturulmuştur. Ekip tarafından tasarlanmış olan 2 boyutlu simülasyon sisteminde ise yarışma görevleri simüle edilmiş ve sonuçlara göre tarama ve güdümleme algoritmaları oluşturulmuştur.

2. TAKIM ŞEMASI

Proje sürecinin ilerleyişini düzenli bir hale getirmek ve insan kaynağını dengeli kullanabilmek adına organizasyon 4 ana başlık altında oluşturulmuştur. Takım üyelerinin yetkinliklerine göre görev dağılımı yapılmıştır. Bu dağılım sonucu Şekil 1'de görüldüğü gibidir.

Şekil 1 Takım Şeması

3. PROJE MEVCUT DURUM DEĞERLENDİRMESİ

Ön Tasarım Raporu sürecinin ardından mekanik, elektronik, yazılım ve sponsorluk başlıkları altında yapılan çalışmalar, zaman planlamasına uygun ilerletilmiştir. ÖTR sonrası, üretilen prototip tasarımlar ve yürütülen testler sonucunda geliştirilen ana çalışma başlıkları kronolojik olarak aşağıdaki gibidir.

- Ortaya koyulan genel sistem mimarisi geliştirilerek değiştirilmiştir. Elektronik olarak oluşturulan birimler ve onlara bağlı alt bileşenler (sensör, sürücü, motor) modüller haline getirilerek daha kolay problem tespiti yapılmıştır. Konnektör modülü ve güç modülü oluşturularak aracın toplam iç hacmi, buna bağlı olarak ağırlık ve boyut ÖTR'de öngörülen değerlere kıyasla minimize edilmiştir. Bu değişiklik sonucunda araç için seçilen 200mm yarıçaplı iç hazne 160mm'ye indirgenmiştir.
- Elektronik sistem modelinde modüler bakış açısıyla yapılan değişiklikler sonucunda alt bileşenlerin tasarımlarında değişiklikler mevcuttur. Normalde birbirinden ayrı olarak bulunan voltaj yükseltici, voltaj düşürücü, batarya yönetim sistemi (BMS), röle devreleri ve onların kablajları birleştirilerek bataryanın etrafına montaj yapılmıştır. Ayrıca elektronik sistem modeline eklenen konnektör modülü vasıtasıyla, genel kablaj kontrol edilerek hem kablo karmaşası azaltılmış hem de sistem modüllerinin montajı sırasında itme, çekme veya germe ile elektronik bileşenler üzerinde oluşabilecek hasarlar engellenmiştir.
- Sızdırmaz kapak üretiminde kullanılan konnektörler değiştirilmiştir. Kullanımı planlanan TTAF konnektörlerin pahalı olması nedeniyle, sızdırmazlık noktasında geçmiş yıllarda kullanılan hem sızdırmazlık yeterliliği bulunan hem de fiyat & performans ürünü olan rakor tipi yüzey montajlı konnektörlerin kullanımı tercih edilmiştir.
- ÖTR'de kontrol, navigasyon ve güdüm algoritmalarının bir arada olduğu genel bir akış şeması verilmiştir. Bu raporda her bir görev için ayrı ayrı hedef tespiti algoritmaları oluşturulmuş ve anlatılmıştır. Derinlik sabitleme, tarama, güdümleme algoritmaları farklı görev senaryolarına uygun olacak şekilde tasarlanmış ve akış şemaları sunulmuştur.
- Yazılım tasarımında izlenen yol ÖTR'de belirtilen şekilde ilerlemiştir. Hedef tespiti kodları optimize edilmiş ve bunun yanında farklı derin öğrenme modelleri geliştirilerek doğruluğu arttırmak amaçlanmıştır. Yapılan testler doğrultusunda "multiprocessing" yöntemini daha verimli hale getirecek bir mimari oluşturulmuştur. Derin öğrenme modeli için yarışma objeleri üretilerek model gerçek fotoğraflarla eğitilerek doğruluk oranı arttırılmıştır.
- Bahsedilen değişiklikler etrafında aracın tasarım maliyeti düşürülmüştür. Ayrıca yürütülen sponsorluk çalışmaları sonucunda önemli bütçe kalemleri yapılan araştırma ve geliştirme faaliyetleri için takıma bağışlanmıştır. Sponsorluklar vasıtasıyla tasarım doğrulama çalışmaları etrafında gerçekleştirilen prototip mekanik aksam ve baskılı devre kartı (PCB) üretimleri ücretsiz bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Böylece ÖTR'de belirlenen tasarım maliyetinin altına düşülmüştür. Gerekli teknik açıklamalar Tablo 3'te gösterilmiştir.

4. ARAÇ ÖN TASARIMI

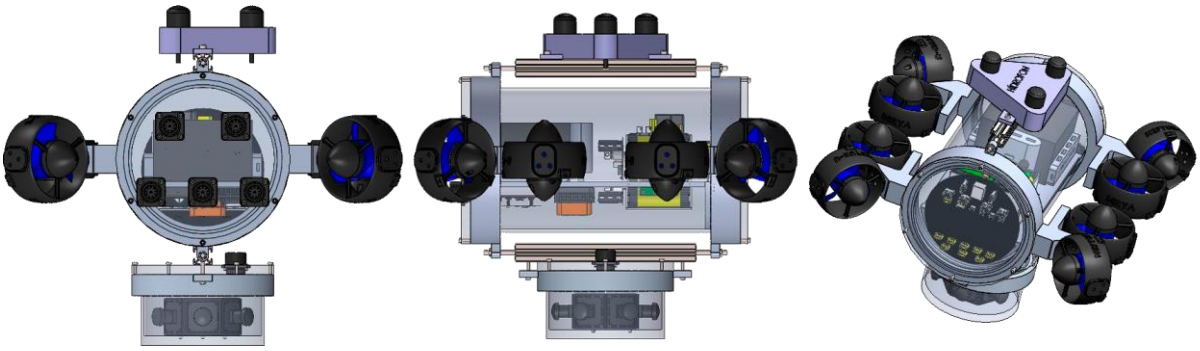
4.1. Sistem Tasarımı

Proje hedefleri doğrultusunda, bütünden parçaya ve tekrar bütüne giden çalışma yöntemi zaman ve maddi kaynakların kullanım verimliliğini yükseltmek amacıyla seçilmiştir. Şekil 2'de genel sistem mimarisi içerisinde gerçekleştirilen her bir iş parçacığı görünmektedir. Bu çalışma prensibiyle, bireyin üzerine düşen birim iş yükü hafiflerken, çalışılan iş üzerinde daha hızlı yetkinlik kazanılmaktadır. Ayrıca iş parçacıklarına dönüştürülen çalışmalar birleştirilerek bütüne geçirilirken bu sırada oluşan hata yapma oranı da azalmaktadır. Sonuç olarak, genel sistem mimarisi, kavramsal tasarım aşamasından itibaren geliştirilen, zaman yönetimi sağlayan, iş parçacıklarıyla bireysel çalışma verimliliğini arttıran ve hata tespitini kolaylaştıran tasarım rehberidir.

Şekil 2 Sistem tasarım şeması

4.2. Aracın Mekanik Tasarımı

4.2.1. Mekanik Tasarım Süreci



Şekil 3 Genel mekanik tasarım

Aracın mekanik tasarımı yapılırken elektronik ve yazılımsal isterler göz önünde bulundurularak temel boyutlandırmalar yapılmıştır. Aracın modülerlik hedefine ulaşabilmesi için somun-cıvata bağlantıları ile söküp geri takılabilir tasarımlar yapılmıştır. Su geçirmez özelliğinin kazandırılabilmesi için o-ring sistemlerine başvurulmuştur. Ayrıca üretilebilirlik, işlevsellik ve maliyet parametreleri de hesaba katılarak nihai tasarım ortaya konulmuştur. Aracın final tasarımı Şekil 3'te görülmektedir.

Ana Hazne ve Şasi Elemanları

Şekil 4 Ana hazne ve şasi elemanları

Aracın emir ve komuta merkezi olan ana hazne; tüp, flanş ve kapak olmak üzere 3 bileşenden meydana gelmektedir.

Tüp suyun sürükleme direncini azaltması için silindirik yapıda tasarlanmıştır. İçerisinde elektronik bileşenlerin konumlanabilmesi için yatay bir tepsi bulunmaktadır. Tüpün çapına ve uzunluğuna elektronik bileşenlerin detaylı konumlandırılmasından sonra karar verilmiştir.

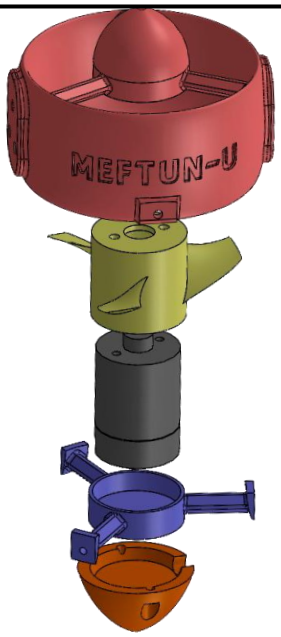
Flanş ana haznenin sızdırmazlığını sağlayan kritik bir parçadır. Haznenin iç çapını daraltmaması ve haznenin dışında montaj yüzeyi imkânı vermesi için flanş tipi dıştan olarak tercih edilmiştir. Flanşın içerisinde o-ringler için çift kanal ve kapağın montajlanacağı yüzeyde tek kanal bulunmaktadır. Flanş aynı zamanda şasi görevi görerek itici takımların hazneye montajlanması imkânı sağlamaktadır.

Kapak flanşın üzerine montajlanacak ve o-ring üzerine baskı yaparak sızdırmazlığa destek olacak parçadır. Kapak üzerinde bulundurduğu konnektörler sayesinden kabloların hazne içerisine girip çıkmasına olanak sağlamaktadır. Ayrıca kapak somun cıvata ile flanşın üzerine takıldığı için istenildiği zaman çıkarılabilir. Bu sayede haznenin içerisindeki bileşenlere ulaşılabilmektedir.

İtici Takım

İtici Takım, aracın hareket etmesini sağlayan sistemdir. Aracın farklı noktalarına farklı yönlerde konumlandırılan iticler sayesinde araç 3 eksende hareket kabiliyeti kazanmaktadır. İtici Takım 5 ana bileşenden oluşmaktadır. Bileşenler sırası ile şu şekildedir: nozzle, pervane, motor, ayaklı braket ve konik uç.

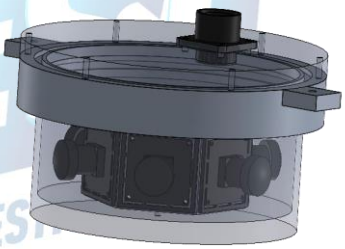
Takım tarafından daha önceden F2838 motoruna göre tasarlanıp üretilmiş olan itici takım mevcuttur. Bu itici takım her iki yöne de özdeş itki sağlaması için simetrik dizayn edilmiştir. Hali hazırdaki itici takımın pervane çapı ve nozzle çapı küçültülmesine gidilmiştir. Bu da arabalardaki dişliyi küçültmek ile benzer anlam ifade eder. Tork düşer, hız artar. Yani çapını daralttığımız itici takım artık daha az kütleli su taşıyacaktır fakat daha hızlı su atacaktır. Bu sayede araç daha çabuk tepki verecek, süreye oranla manevra kabiliyetinde artış elde edilecek ve su içerisindeki yer değiştirmesini daha kısa sürede yapacaktır.



Şekil 5 İtici takım

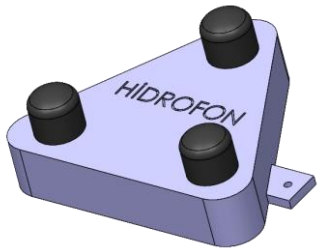
Kamera Modülü

Kamera modülü; kapak, flanş, hazne ve kamera tutucudan oluşmaktadır. Kamera modülü tasarlanırken 6 kameranın 360 derece görmesi hedeflenerek kamera tutucu tasarlanmıştır. Şeffaf pleksiden üretilecek olan haznenin çapı kamera tutucunun ölçülerine göre belirlenmiştir. Flanş aracın ana haznesinde olduğu gibi dıştan flanş tipindedir ve temel görevi sızdırmazlığı sağlamasıdır. Kapak ise üzerindeki konnektör sayesinde haznenin içerisine kabloların girip çıkmasına olanak verir. Ayrıca kapak sayesinde hazne istenildiğinde açılır ve içerisindeki kameralara, müdahale edilebilir. Kamera modülünün kendisi aracın altında bulunan sigma profil üzerinde istenilen noktada montajlanabilmektedir.


Şekil 6 Kamera modülü

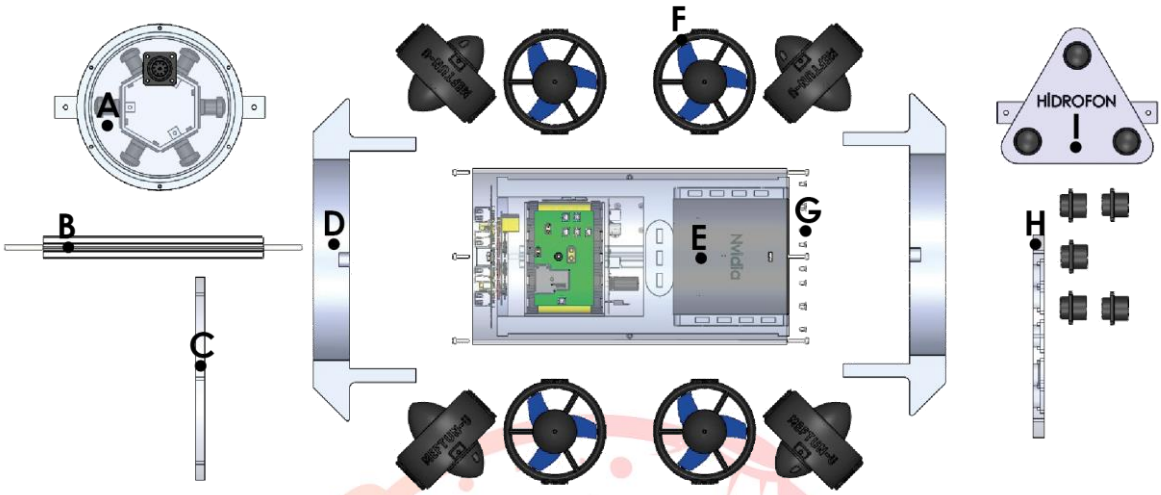
Hidrofon Modülü

Hidrofon modülü elektronik isterler göz önünde bulundurularak tasarlanmıştır. 3 Hidrofonun birbirinden uzak ve farklı yönlerde olması gerektiği için üçgen bir yapının köşelerine konumlandırılmıştır. Üçgen yapının üzerinde hidrofonların oturabileceği yuvalara ve kablolarını geçirebileceği deliğe sahiptir. Hidrofon modülü aracın üzerinde bulunan sigma profilin üzerinde istenilen noktada sabitlenebilmektedir.



Şekil 7 Hidrofon modülü

4.2.2. Malzemeler



Şekil 8 Araç bileşenleri

Tablo 1 Araç bileşenleri ve isimleri

Bileşenler ve isimleri		
A: Kamera Haznesi	**D:Ön Flanş**	**G: Bağlantı Elemanları**
B: Kamera Kapağı	**E:Ana Hazne**	**H: Ana Hazne Arka Kapağı**
C:Ana Hazne Ön Kapağı	**F:İtici Takım**	**I: Hirofon Modülü**

Araç üzerinde birçok farklı hammaddeden üretilmiş malzeme ve bileşen bulunmaktadır. Her bir malzeme seçimi yapılırken birçok benzer ürünle kıyaslamalar yapılmıştır. Yapılan araştırmalar sonucundan her bir bileşen için en avantajlı malzeme neden seçildiği ile birlikte aşağıda açıklanmıştır.

- **Motor**

  - Tasarlanan su altı aracında 4 adet Z ekseninde ve 4 adet X-Y düzleminde olmak üzere toplam 8 adet motor kullanılmaktadır. Ayrıca sistemde kullanılacak olan batarya voltajı 16.8V (4S) olarak belirlenmiştir. Motor seçimi yapılırken, sistemin ağırlığı, bu ağırlığı hareket ettirmek için gerekli olan itki, toplam motor sayısının bataryadan anlık olarak çekeceği akım, korozyon ve takımın önceki yıllarda bu motor ile gerçekleştirdiği başarılı test sayısı süresi katıldığına F2838-350KV su geçirmez motor tercih edilmiştir.

Şekil 9 Fırçasız motor

- **PVC Boru**

○ 160mm x 300mm uzunluğunda PVC boru, ana hazne materyali olarak tercih edilmiştir. Tasarım olarak silindirik bir yapının su hidrodinamiği karşısında daha etkin bir çözüm olması nedeniyle tercih edilebilecek ürünler belirlendikten sonra PVC borunun sağlam, yeteri kadar esnek ve fiyat & performans ürünü olması nedeniyle kullanımı uygun görülmüştür.

Şekil 10 Ana hazne gövdesi

- **Rakor**

○ Ana ve kamera haznelerine giren kablolar için yüzey montajlı konnektörlere ihtiyaç vardır. Burada rakor tipi konnektörlerin kullanımı tercih edilmiştir. Farklı kablo kesitlerine göre kolay temin edilebilmesi ve fiyat & performans ürünü olması nedeniyle kullanımı uygun görülmüştür.

Şekil 11 Rakor

- **Şeffaf Pleksi**

○ Kamera haznesi içerisinde kameraların net bir görüntü alabilmesi için 131mm çaplı 70mm uzunluğunda silindirik olarak üretilmiş şeffaf pleksi tercih edilmiştir. Silindirik olarak üretilebilmesi, düşük opaklıkta, çarpma ve düşmeye karşı dayanıklı bir malzeme olduğu için kullanımı uygun bulunmuştur.

- **Epoksi Reçine**

- Araç su ile temas ettiği her noktada su basıncına maruz kalmaktadır. Bu yüzden ana ve kamera haznelerinin en zayıf olduğu noktalar, konnektör geçişi için sızdırmaz kapak üzerinde açılan delikler ve onların içerisindeki kablo damarlarıdır. Bunun için hem kapağın dış yüzüne hem de kapak içerisinde kablo damarlarının geldiği yüzeye epoksi reçine ile kaplama yapılmaktadır. Ayrıca motora bağlanan faz kablolarının lehim noktaları su ile teması halinde korozyona uğramaktadır. Aynı şekilde, bu yüzeylerin de epoksi reçine kullanılarak suya karşı yalıtımı sağlanmaktadır. Bahsedilen işlerde kullanılmak üzere "Selsil Suya Dayanıklı Epoksi" kullanılmaktadır.

- **Boya**

○ Aracın estetik olarak güzel gözükmesi ve aracın suya temas eden yüzeylerinin pürüzsüzlüğünü azaltmak için boya işlemi uygulanmaktadır. Boyanacak parçanın cinsine göre zımpara ve astar işlemi yapılır. Ardından istenilen renkte boya ve suya dayanıklı vernik kullanılır.

- **Somun & Cıvata**

○ Araç dışında, şasi ve diğer mekanik modüllerin birbirlerine montajı için paslanmaz çelik M3 somon ve cıvataların kullanılması uygun görülmüştür. Böylece suya karşı dayanıklı ve yeterince minimal bir montaj yapılması planlanmıştır.

4.2.3. Üretim Yöntemleri

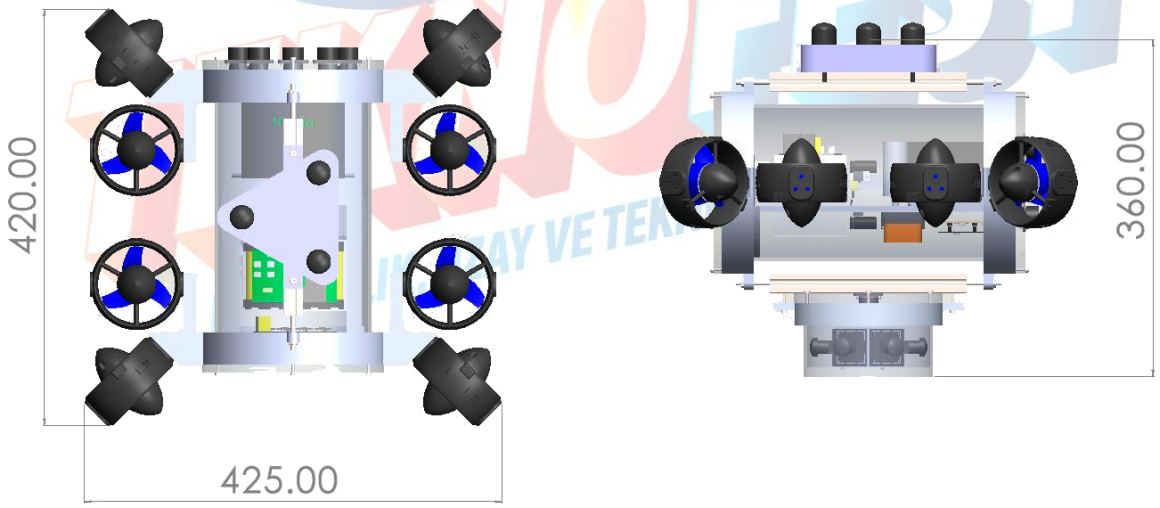
Aracın teoriden pratiğe dönüştürülmesinin gerçekleştiği bölümdür. Bu bölümde teoride konuşulan, tasarlanan ve düşünülen her şey prototip şeklinde ortaya konulmuştur. Prototipleme yapılırken kullanılan üretim yöntemleri aşağıda açıklanmıştır.

- **Eklemeli İmalat**
- Aracın mekanik aksamları büyük çoğunlukta termoplastik PLA malzemesi kullanılarak 3B yazıcı ile üretilmektedir. Tasarım doğrulama testleri, proje esnasında zaman yönetimi ve başarı hedefleri için kendisini en sık tekrar eden kritik adımlardan birisidir. Günümüzde 3B yazıcı teknolojisiyle, tasarımların çok kısa zamanda üretilebilir hale gelmesi ve tasarım kriterlerinin doğrulanabilmesi bu imalat yönteminin seçilmesinin ana nedenidir. Ayrıca, tasarımı doğrulanmış, prototip çalışmaların başka bir malzeme ile üretimine gerek duyulmamaktadır. Çünkü PLA ile üretilen parçalar dayanıklı ve darbelere karşı dirençlidir. Soğumaya karşı dirençli olmakla beraber hem insan sağlığına hem de su ortamına karşı zararlı bir kimyasal reaksiyonu bulunmamaktadır. Üretim maliyetinin de düşük olmasıyla PLA malzemeli eklemeli imalatın su altı ürünleri için optimum tercih olduğuna karar verilmiştir.
- **Talaşlı İmalat**
- Araç kamera haznesi şeffaf pleksi malzemeden üretilmektedir. Talaşlı imalat farklı malzemelerin işlenmesi, çeşitli geometri ve boyutlarda parçaların elde edilmesi konusunda diğer üretim yöntemlerine göre daha avantajlıdır. Bu yüzden kamera haznesinin şeffaf yanal ve taban alanlarının üretiminde kullanılmaktadır.

4.2.4. Fiziksel Özellikler

Aracın fiziksel özelliklerini belirlerken ekstra bir çaba harcanmamıştır. Her zaman gereksiz parça ve ağırlıklardan kaçınılmış ve minimalist düşünülmüştür. Ortaya çıkan aracın fiziksel özellikleri şartnamede belirtilen sınırlar içerisinde yüksek puana yakın sınırlarda kalmıştır.

- **Boyut:** 425x420x360 mm
- **Kütle:** 9256 gramdır.
- **Hacim:** 5332816.18 mm^3

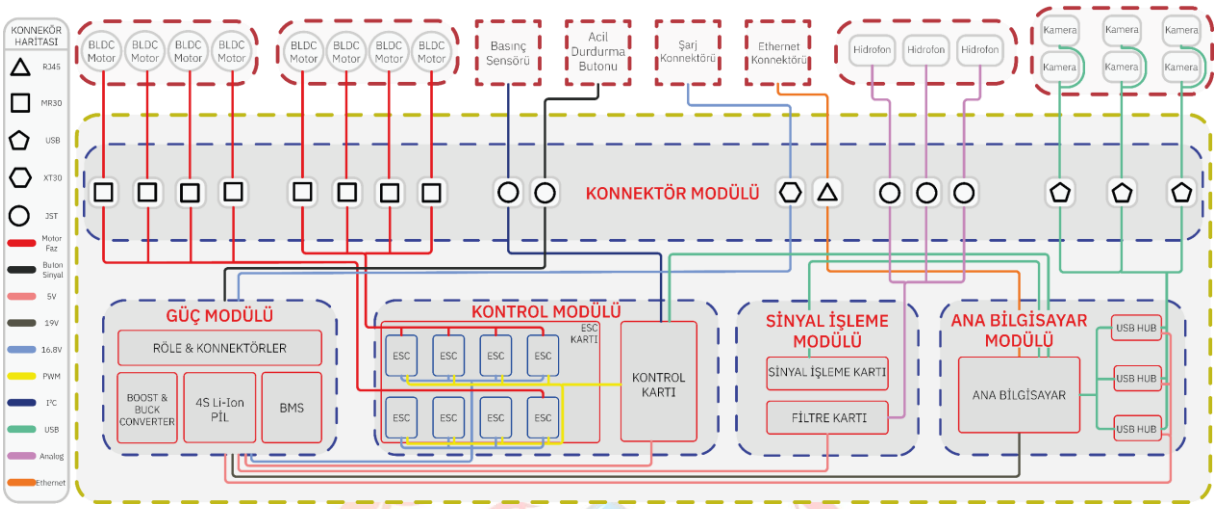


Şekil 12 Aracın fiziksel ölçüleri

Aracın yüzerliği ile alakalı 3 farklı görüş bulunmaktadır. Araç batar, yüzer ya da askıda kalır şekilde tasarlanmaktadır. Yapılan hesaplamalar sonucunda aracın özkütlesinin sudan yüksek olduğu ve bu yüzden suda batacağı öngörülmüştür. Bu durumun dezavantajı olası bir sistem arızasında aracın suyun dibinde kalmasıdır. Bu yüzden aracın son halinin yüzdürücü köpükler yardımı ile yüzerliğine katkı sağlamak ve olası sistem arızasında su yüzeyine çıkması hedeflenmiştir.

4.3. Elektronik Tasarım, Algoritma ve Yazılım Tasarımı

4.3.1. Elektronik Tasarım Süreci



Şekil 13 Elektronik Sistem Tasarımı

Aracın elektronik bileşenleri modüler olarak tasarlanmıştır. Her bir modül, bağlantısı gereken diğer modüllerle özel kablaja sahiptir. Kablajlar Konnektör Modülü üzerinde toplanmaktadır. Böylece araç içi ve araç dışı gerçekleşen güç ve veri aktarımı optimize bir şekilde sağlanmaktadır. Güç Modülü buton tarafından aldığı anahtarlama sinyali vasıtasıyla diğer modüllere enerji verir. Çalışmaya hazır hale gelen Ana Bilgisayar, Kontrol ve Akustik Sinyal İşleme Modülleri dahillerinde bulunan mikroişlemci, kamera, sensör, sürücü, motor bileşenleri kendileri arasında gerekli veri ve güç aktarımını gerçekleştirir.

4.3.1.1. Ana Bilgisayar Modülü

- **Ana Bilgisayar**

Şekil 14 Nvidia Jetson AGX Xavier

Yarışma görevleri esnasında aracın karar mekanizması olan, bu kararları alırken diğer modüllerle sürekli olarak iletişim kuran birim Ana Bilgisayar olarak adlandırılmıştır. Görevlerin başarı koşulu için gereken performans kriterleri düşünüldüğünde NVIDIA Jetson AGX Xavier (32GB) bilgisayarı tercih edilmiştir. Örnek olarak, çalışmalar süresince yapılan birçok görüntü işleme, model eğitimi ve genel algoritma testleri ilk olarak takım üyelerinin kişisel bilgisayarlarında doğrulanmaktadır. Fakat aynı çalışmaların su altı aracının kısıtlı hacmi içerisinde gerçekleşmesi için gereken işlem gücü ve enerji ihtiyacı düşünüldüğünde asgari bir fiyat & performans standardı oluşmaktadır. Bu yüzden geliştirilen yapay zekâ algoritmasının su altı aracına entegre edilebilmesi için seçilen ana bilgisayar; boyut, performans ve güç verimliliği kriterleri değerlendirildiğinde belirlenen standardı karşılamaktadır.

- **Kamera**

Görüş, otonom bir aracın sahip olduğu kritik yeteneklerden birisidir. Araştırma ve geliştirme sürecini üstlendiğimiz 6 kamera ile 360° görüş tasarımının gerçeklenebilmesi için OV2710 180° Mini USB Kamera tercih edilmiştir.

Şekil 15 OV2710 Mini USB Kamera

- **USB Hub**

Şekil 16 USB Hub

Seçilen ana bilgisayarın minimal tasarımı, beraberinde 3 adet USB giriş imkânı sunmaktadır. Aynı zamanda diğer modüllerden ve dahilinde olan 6 kameradan gelen bağlantılar düşünüldüğünde her port, USB Hub kullanılarak eşit bir şekilde çoğaltılacaktır. Ayrıca USB Hub'lar seviye 1 anahtarlardır. Bu yüzden portun sahip olduğu bant genişliği var olan bağlantılar arasında bölünür. İsterler göz önüne alındığında Ugreen 4 Portlu USB 3.0 Hub ürünü tercih edilmiştir.

4.3.1.2. Kontrol Modülü

Sistemde farklı modüller tarafından oluşturulan karar niteliği taşıyan her sinyalin nihai amacı aracın güvenli, dengeli ve değişken şartlara uyumlu otonom hareket edebilmesidir. Bu hareketi sağlayan bileşenler motorlardır. Motorları doğrudan ana bilgisayar veya dolaylı olarak oto kontrol kararlarıyla sürebilmek için kontrol kartı, motor sürücü (ESC) ve kontrol edilmesine ihtiyaç duyulan eksen verilerini ölçen dahili ve harici sensörler, modülün sahip olması gereken alt bileşenlerdir. İlgili alt bileşenler aşağıda detaylı olarak incelenmiştir.

- **Kontrol Kartı**

Kontrol kartı olarak Pixhawk The Cube Orange tercih edilmiştir. Seçilen kontrol kartı, yön ve konum bilgilerinin hassas bir şekilde belirlenebilmesi için 2'si izole 3 adet dahili IMU (Inertail Measurement Unit) sensörü ve 1 adet dahili manyetometreden aldığı verileri Genişletilmiş Kalman Filtresi'nden geçirerek dengeli bir sürüş gerçekleştirir. Aynı zamanda yüksek çalışma frekansına sahip ARM Cortex®-M7 ailesinden mikroişlemciyle çalışarak hem sensör çözünürlüğünü hem de 8 motorun aynı anda ihtiyaç duyduğu PWM frekansını sağlayabilmektedir.

Şekil 17 Pixhawk The Cube Orange

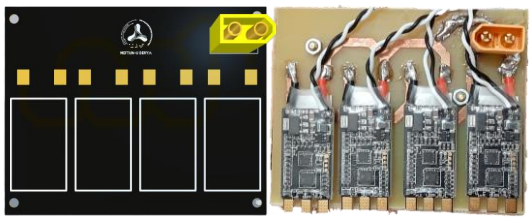
- **Basınç Sensörü**

Şekil 18 MS5837 30BA

Derinlik bilgisinin hassas bir şekilde tespit edilebilmesi için, kontrol kartı ile hem donanımsal hem de yazılımsal olarak uyumlu çalışabilen MS5837-30BA basınç sensörü tercih edilmiştir. 2mm'lik çözünürlüğe sahip bu sensör kullanılarak, araç, istenilen derinlik değerinde otonom bir şekilde sabit tutulabilmektedir.

- **ESC Kartı**

Aracın iç hacmi, ağırlığı, motor başına düşen ortalama güç ihtiyacı düşünüldüğünde 30A bir ESC'nin yeterli olduğu tespit edilmiştir, aynı zamanda araç içerisinde BEC'e (Battery Eliminator Circuit) ihtiyaç olmadığı için minimalist tasarıma sahip olması, motorları çift yönlü sürebilme imkânı sunması ve yerli marka olması nedeniyle Degz Blu 30A ESC tercih edilmiştir.



Şekil 19 ESC Kartı ve ESC'ler

4.3.1.3. Akustik Sinyal İşleme Modülü

Hedef tespiti ve imhası görevi için tam puan hedeflenmektedir. Bunun için pasif akustik yöntem ile hedef tespit edilmelidir. Bu yüzden modül tasarımına akustik sinyalleri dinleyebilmek için hidrofon eklenmiştir. Aracın hareketleri ve motorlar gürültü üretmekte olup ve Pinger'in hidrofona olan uzaklığına bağlı olarak sinyalin gücü de azalmaktadır. Hem gürültüyü azaltmak hem de sinyali güçlendirmek için analog filtre ve yükselteç devresi, modüle dahil edilmiştir. Elde edilen sinyallerden, sinyalin geliş yönünün elde edilebilmesi için matematiksel işlemlerin yüksek frekansla gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Bunun için modüle bir mikrokontrolcü eklenmiştir. Modül içerisinde bulunan ilgili üç bileşen detaylı olarak aşağıda incelenmiştir.

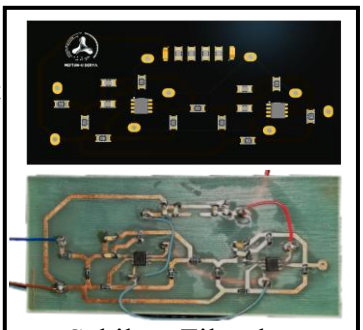
- **Hidrofon**

Şekil 20 Aquarian H1A

Akustik vericinin konumunun tespiti için sadece sinyalin okunması yeterli değildir. Sinyalin hangi yönden geldiğinin anlaşılması için üç adet hidrofon kullanılacaktır. Çünkü her bir hidrofona gelen sinyal farklı gecikme değerlerine sahiptir. Bu gecikmeler vasıtasıyla okunan sinyaller karşılaştırılabilecek ve yön bilgisi elde edilebilecektir. İsterlere göre AQUARIAN H1A serisi hidrofon tercih edilmiştir. Seçilen hidrofonun ölçüm aralığının, yarışmadaki hedef Pinger'in (akustik vericinin) frekansını (45 kHz) kapsaması, minimal ve güvenilir bir ticari ürün olması, tercih sebebidir.

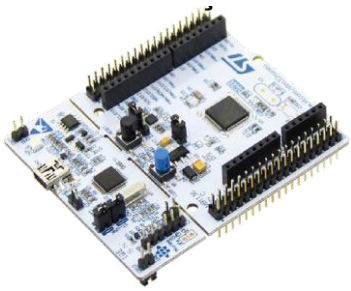
- **Filtre Kartı**

Her hidrofondan gelen sinyal, takım tarafından tasarlanan bir bant geçiren filtreden geçirilmekte ve yükseltme işlemine tabii tutulmaktadır. Bu sayede Pinger'den çıkan 45kHz'lik sinyal, gürültülerden arındırılarak ve yükseltilerek hedef sinyalin tespiti kolaylaşmaktadır. Filtrelenen sinyale 40dB'lik bir kazanç sağlanmaktadır. Çıkış sinyalinin tek yönlü olması için besleme geriliminin yarısı kadar bir referans sinyali oluşturulmaktadır. Çıkış sinyali bu referans etrafında salınım yapmaktadır. Prototip devre üretilerek tasarım doğrulaması gerçekleştirilmiştir.



Şekil 21 Filtre kartı tasarım ve prototip aşamaları

- **Sinyal İşleme Kartı**



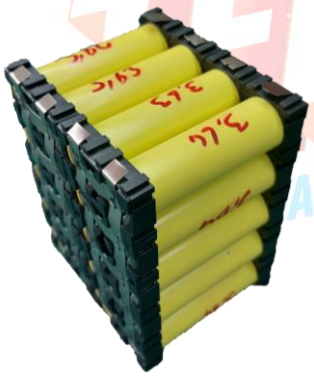
Şekil 22 STM32 F4 Nucleo Geliştirme Kartı

Filtrelenen ve yükseltilen sinyal STM32F411RE mikrodenetleyicisi kullanılarak yön tespiti yapılacaktır. Kullanılacak algoritma Şekil 31'de verildiği gibidir. ADC (Analog Digital Converter) vasıtasıyla okunan veriler DMA (Direct Memory Access) ile hızlıca belleğe alınmaktadır. Okunan veriler sırasıyla ilgili algoritmaya sokulduktan sonra UART arayüzü üzerinden ana bilgisayara aktarılmaktadır.

4.3.1.4. Güç Modülü

Araç içerisindeki ve dışarısındaki bileşenlerin güç ihtiyacı 18650 Li-Ion pil hücrelerinden oluşan bataryadan sağlanmaktadır. Batarya konfigürasyonu pil hücrelerinin dörtlü seri gruplarının beşli paralel bağlanmasıyla inşa edilmiştir. Böylece 16V(4S) gerilim değeri ve 12500 mAh batarya ömrü sağlanmıştır. Aynı şekilde, 12500 mAh pil ömrü tercihi, yapılacak testlerin süresi ve sistem güç tüketimi parametreleri hesaba katılarak yapılmıştır. Güç modülü içerisine yerleştirilen batarya yönetim sistemi (BMS) ile bataryanın kontrollü bir biçimde şarj ve deşarj olması sağlanmaktadır. BMS ile kontrol edilen ana hat voltajı röle kartına bağlanmaktadır. Röle sayesinde ana voltaj hattı üzerinde dijital olarak anahtarlama yapılmaktadır. Anahtar kontrolü, araç dışarısındaki buton vasıtasıyla gerçekleşmektedir. Elektronik modüller, farklı voltaj seviyelerine ihtiyaç duyabilmektedir. Bu yüzden modül içerisine buck ve boost olmak üzere iki adet DC-DC voltaj dönüştürücü eklenmiştir.

- **Batarya**



Şekil 23 4S Li-Ion Pil Grubu

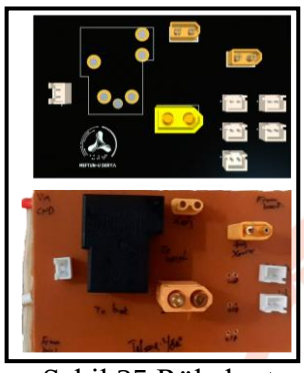
18650 PowerXtra 18650 Li-Ion pillerinden oluşur. Bu pillerin tercih edilmesindeki ana kriter hücre başına 30A deşarj olma kapasiteleri bulunmaktadır. Hücreler paralel olarak pil ömrünü ve maksimum akım dayanımı arttırırken, seri olarak bağlandığında voltaj değerini arttırmaktadır. Bu hücrelerin montajı puntalama ile gerçekleştirilmiştir. Puntalanan Li-Ion piller, hem hazne içerisindeki hacmin verimli kullanımı ön plana çıkarken, hem de fiyat/performans açısından diğer muadillerine kıyasla üstün gelmektedir.

- **BMS**

WellBatt firmasına ait 4S/50A Batarya Yönetim Sistemi kullanılmaktadır. Çünkü BMS sayesinde bataryanın her bir seri hattındaki gerilim sürekli olarak ölçülerek pil hücrelerinin dengeli bir şekilde şarj/deşarj olmasına olanak sağlanır.

Şekil 24 BMS

- **Röle**

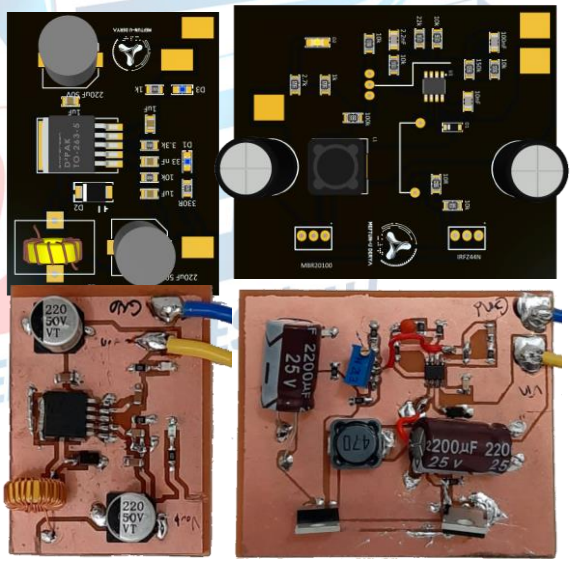


Şekil 25 Röle kartı tasarım ve prototoip aşamaları

BMS kontrolünden geçen ana hat voltajı HLS-T90 12V 30A röleye bağlanarak kontrol edilmektedir. Rölenin anahtarlama modu sayesinde araca iki çalışma modu eklenmiştir. Röle anahtarı, buton ile açıldığında batarya voltajı elektronik modüllere aktarılır ve araç çalışır moda geçer. Eğer röle anahtarı kapatılırsa sistem modüllerine giden voltaj kesilir ve ana voltaj hattı araç dışarısına giden kablaja bağlanır. Böylece araç şarj moduna geçmiş olur.

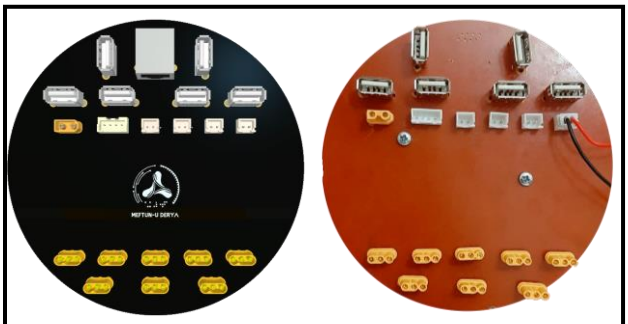
- **Voltaj Dönüştürücüleri**

Elektronik modüller arasında ana bilgisayar 19V; Kontrol Kartı, Sinyal İşleme Kartı ve kameraların veri aktarımı için kullanılan USB Hub'lar 5V gerilime ihtiyaç duymaktadır. Bu değerler batarya voltajından hem daha yüksek hem de daha düşüktür. Bu yüzden gerilimin ayrı birimler içerisinde yükseltilmesine ve düşürülmesine ihtiyaç vardır. Her iki birim için de akım üst limiti 5A olarak yapılan performans testlerinde yeterli bulunmuştur. Sırasıyla voltaj yükseltme işlemi için UC3843A entegresi ve voltaj düşürme işlemi için XL4015 entegresi, [1] ve [2] dokümanları incelenerek uygun bulunmuştur. Bu şekilde bir adet voltaj düşürücü ve bir adet voltaj yükseltici devre tasarlanmıştır. Prototip devreler üretilerek tasarım doğrulaması gerçekleştirilmiştir.



Şekil 26 Voltaj düşürücü (solda) , voltaj yükseltici (sağda) kartları tasarım ve prototip aşamaları

4.3.1.5. Konnektör Modülü



Şekil 27 Konnektör modülü tasarım ve prototip aşamaları

Aracın dış kablajı ile hazne içerisindeki elektronik sistemin kablajını kontrol etmek amacıyla tasarlanmıştır. Şekil 27'te görüldüğü üzere prototip PCB üretilerek tasarım doğrulanmıştır. Aracın içinin açılması esnasında gerçekleşen ani çekme, germe veya kopma etkileri minimize edilmiştir. Ortasında bulunan boşluk ESC Kartı'nın distans kullanarak sabitlenmesi için ayrılmıştır. Böylece araç iç hacmi daha verimli kullanılmıştır.

4.3.1.6. Kablaj Haritası

Aracın modüller ve birimler arası kullanılan kablolar ve bu kabloların bağlı olduğu konnektörlerin çeşitleri Tablo 2'de verilmiştir.

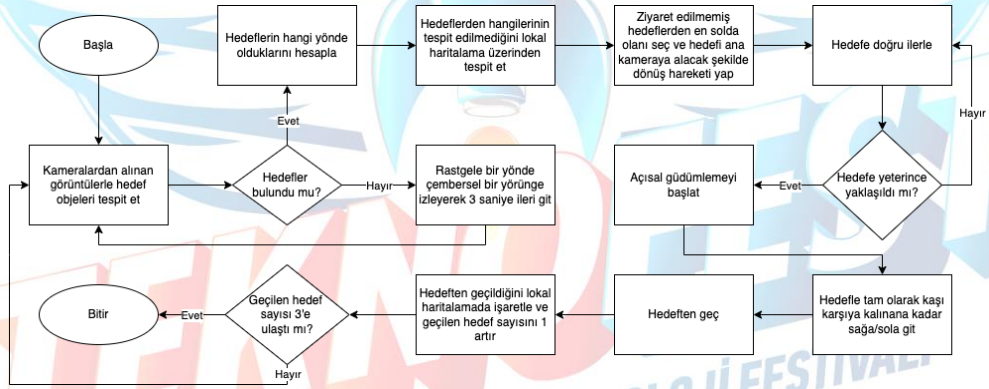
Tablo 2 Kablaj Haritası

Kablaj		Açıklama
Kablo Tipi	**Konnektör Tipi**	
14 AWG	**XT60**	• 14 AWG kablolar sürekli 20A dayanıma sahiptir. • Güç aktarımı için kullanıldığı için yanmaz silikon kaplamalı ürünler tercih edilmiştir. • XT60 konnektörler sürekli olarak 60A dayanıma sahiptir. • Güç modülünden, ESC Kartında bulunan 8 ESC'ye bağlanan, yüksek akım taşıyan hattın kablajıdır.
16 AWG	**XT30**	• 16 AWG kablolar sürekli 20A dayanıma sahiptir. • Güç aktarımı için kullanıldığı için yanmaz silikon kaplamalı ürünler tercih edilmiştir. • XT30 konnektörler 30A dayanıma sahiptir. • Voltaj dönüştürücü devreler ve ana bilgisayar arasında bulunan kablajdır.
18 AWG	**MR30**	• 18 AWG kablolar sürekli 20A dayanıma sahiptir. • Güç aktarımı için kullanıldığı için yanmaz silikon kaplamalı ürünler tercih edilmiştir. • MR30 konnektörler 30A dayanıma sahiptir. • Motor faz akımlarını taşıyan kablajdır.
26 AWG	**Tunik-JST, USB, RJ45**	• 26 AWG kablolar sürekli 20A dayanıma sahiptir. • Veri aktarımı için zırhlı ürünler tercih edilmiştir. • 18 AWG kablolar sürekli 20A dayanıma sahiptir. • 18 AWG kablolar sürekli 20A dayanıma sahiptir. • Mikrokontrolcü devrelerin güç beslemeleri ve ilgili tüm sinyal hatları için kullanılan kablajdır. Bağlanacağı kartın tipine göre değişen, optimize konnektörler tercih edilmiştir.

4.3.2. Algoritma Tasarım Süreci

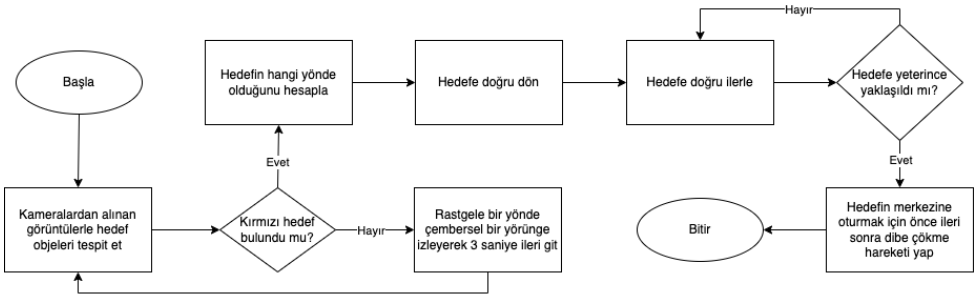
Algoritmalar aracın hareket ve yazılımsal kabiliyetleri göz önünde bulundurularak tasarlanmıştır. Tasarlanan algoritmalar takım tarafından hazırlanan simülasyon ortamlarında test edilerek doğrulanmıştır.

- 6 kameralı bir sistem kullanmamız ve eşzamanlı çalışması gereken işlemler sebebiyle gecikme problemi yaşanmaması için paralel programlama tekniklerinden yararlanılacaktır.
- Hedef tespiti ve geçişi görevinde aracın konumunu bir haritadan takip etmek gerekmektedir. Bu amaçla, navigasyon sistemi olarak takımımızın geliştirdiği lokal haritalama sistemi kullanılacaktır. Lokal haritalama 4.3.3.5 Yazılım Tasarım Süreci başlığında anlatılmıştır.
- 6 kameralı bir sistem olduğundan aracın tam olarak bir önü/arkası bulunmamaktadır. Her yönde hareket yapılabilmektedir. Güdüm esnasında kameralardan biri ana kamera olarak kullanılacak ve ana kameranın olduğu yön aracın önü olarak kabul edilecektir.
- Hedef tespiti ve geçişi görevinde kullanılacak algoritma Şekil 28'de gösterilmiştir. Araç her zaman bulunduğu konumu referans noktası olarak kabul edip kendisine göre en solda kalan geçilmemiş çemberi hedef olarak seçip güdümlenecektir. Bir çember geçilip geçilmediği lokal haritalama sistemi üzerinde canlı olarak işaretlenmektedir. Araç çemberlerin hepsinden geçtikten sonra hareketsiz kalacaktır.



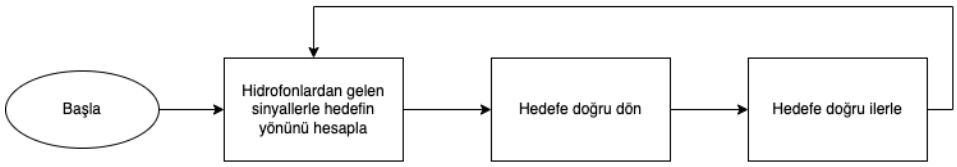
Şekil 28 Dairelerden geçiş algoritması

- Renk tespiti ve konumlanma görevi için hazırlanan algoritma Şekil 29'da gösterilmiştir. Araç hedefi bulana kadar havuzu rastgele bir şekilde tarayacaktır. Araç hedef bölgeye oturduktan sonra bütün sistemler kapatılacak ve hareketsiz kalacaktır.



Şekil 29 Hedefe konumlanma algoritması

- Hedef tespiti ve imhası görevinde pasif akustik sinyal işleme biriminden gelen açı verisine göre araç hedef objeye yönelecektir. Algoritma akış şeması Şekil 30'da gösterilmiştir. Araç hedefe çarptıktan sonra hedef objenin yanından ayrılmayıp çarpmaya devam edecektir.

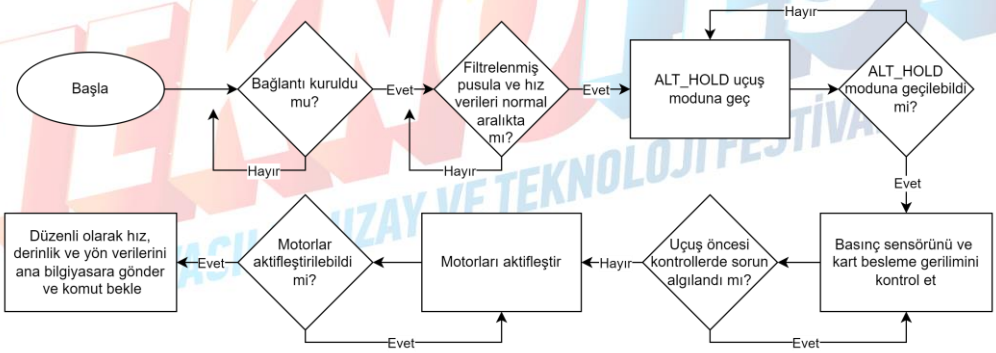


Şekil 30 Akustik hedef tespiti ve imhası algoritması

- Akustik sinyal işleme modülünde bulunan sinyal işleme kartı filtre devresinden geçirilen sinyali okuyarak yüksek hızda FFT analizi gerçekleştirmektedir. FFT işlemi sonrası 45kHz'lik sinyalin algılanması durumunda üç farklı sinyal arasındaki faz farklarından snyalin geliş yönü hesaplanacaktır. Buna ilişkin algoritma Şekil 31'de gösterilmiştir.

Şekil 31 Akustik sinyal işleme algoritması

- Aracın stabilizasyonunu sağlayan ve ana bilgisayar tarafından gönderilen hareket emirlerini yerine getiren, ana bilgisayara gerekli sensör verilerini yollayan kontrol kartı algoritma akış şeması Şekil 32'de gösterilmiştir. Burada bahsedilen "ALT_HOLD" modu, aracın belirli bir derinlikte sabit ve diğer açısal eksenlerde dengeli hareket ettiği mod anlamına gelmektedir.



Şekil 32 Kontrol sinyal işleme algoritması

4.3.3. Yazılım Tasarım Süreci

4.3.3.1. Yazılım Tasarım Süreci Genel Bakış

Aracın ana bilgisayar birimi tarafından gerçekleştirilecek haberleşme, navigasyon ve güdüm yazılımları Python dilinde geliştirilmektedir. Bu dilin seçilme nedeni çoklu ortamlara uygun, programlanması kolay ve işlevsel olmasıdır. Kamera yoluyla elde edilen görüntülerin işlenmesinde OpenCV ve Numpy, derin öğrenme modelinin ekran kartı üzerinde çalıştırılmasında DNN, Pixhawk üzerinden gelen verilerin okunması sırasında PySerial, yapılacak testleri gözlemlenebilir kılmak adına geliştirilecek ara yüz için PySimpleGUI, tüm

yazılım mimarisinin efektif ve hızlı çalışabilmesi için de paralel programlamaya yarayan Multiprocessing kütüphaneleri; derin öğrenme modellerinin ekran kartı üzerinde paralel çalışmasını sağlayan CUDA arayüzü aktif olarak kullanılmaktadır. Son olarak, havuz içerisindeki nesnelerin tanınması ve güdüm algoritmasına referans pozisyon vermesi için derin öğrenme ile nesne tespiti yöntemi kullanılmaktadır.

Ana bilgisayar ile sürekli etkileşim halinde olan kontrol ve akustik sinyal işleme kartları C++ dili ile geliştirilmektedir. Gömülü yazılım için, işlevsel kütüphanelerden ziyade karta bağlı olan sensörlere, giriş çıkış adreslerine ve kapalı döngüsündeki işlemlere müdahale edebilmek birincil önceliktir. Yüksek çalışma frekansında bu işlemleri gerçekleştirebilmek için seçilen dil optimum tercih haline gelmektedir.

Takip eden başlıklar altında kullanılan ve geliştirilen yöntemler üzerine detaylı inceleme bulunmaktadır.

4.3.3.2. Derin Öğrenme ve YOLO Algoritması

```
layer     filters    size              input                output
    0 conv      8  3 x 3 / 1   416 x 416 x   3   ->   416 x 416 x   8  0.075 BFLOPs
    1 conv     12  3 x 3 / 2   416 x 416 x   8   ->   208 x 208 x  12  0.075 BFLOPs
    2 conv     16  3 x 3 / 1   208 x 208 x  12   ->   208 x 208 x  16  0.150 BFLOPs
    3 conv     24  3 x 3 / 2   208 x 208 x  16   ->   104 x 104 x  24  0.075 BFLOPs
    4 conv     32  3 x 3 / 1   104 x 104 x  24   ->   104 x 104 x  32  0.150 BFLOPs
    5 conv     48  3 x 3 / 2   104 x 104 x  32   ->    52 x  52 x  48  0.075 BFLOPs
    6 conv     64  3 x 3 / 1    52 x  52 x  48   ->    52 x  52 x  64  0.150 BFLOPs
    7 conv     96  3 x 3 / 2    52 x  52 x  64   ->    26 x  26 x  96  0.075 BFLOPs
    8 conv    128  3 x 3 / 1    26 x  26 x  96   ->    26 x  26 x 128  0.150 BFLOPs
    9 conv    256  3 x 3 / 2    26 x  26 x 128   ->    13 x  13 x 256  0.100 BFLOPs
   10 conv    284  3 x 3 / 1    13 x  13 x 256   ->    13 x  13 x 284  0.221 BFLOPs
   11 conv    256  1 x 1 / 1    13 x  13 x 284   ->    13 x  13 x 256  0.025 BFLOPs
   12 conv    128  1 x 1 / 1    13 x  13 x 256   ->    13 x  13 x 128  0.011 BFLOPs
   13 conv     64  1 x 1 / 1    13 x  13 x 128   ->    13 x  13 x  64  0.003 BFLOPs
   14 conv     32  1 x 1 / 1    13 x  13 x  64   ->    13 x  13 x  32  0.001 BFLOPs
   15 conv     18  1 x 1 / 1    13 x  13 x  32   ->    13 x  13 x  18  0.000 BFLOPs
   16 yolo
   17 route  11
   18 conv    128  1 x 1 / 1    13 x  13 x 256   ->    13 x  13 x 128  0.011 BFLOPs
   19 upsample            2x    13 x  13 x 128   ->    26 x  26 x 128
   20 route  19 8
   21 conv    192  3 x 3 / 1    26 x  26 x 256   ->    26 x  26 x 192  0.598 BFLOPs
   22 conv    128  1 x 1 / 1    26 x  26 x 192   ->    26 x  26 x 128  0.033 BFLOPs
   23 conv     64  1 x 1 / 1    26 x  26 x 128   ->    26 x  26 x  64  0.011 BFLOPs
   24 conv     32  1 x 1 / 1    26 x  26 x  64   ->    26 x  26 x  32  0.003 BFLOPs
   25 conv     18  1 x 1 / 1    26 x  26 x  32   ->    26 x  26 x  18  0.001 BFLOPs
   26 yolo
```

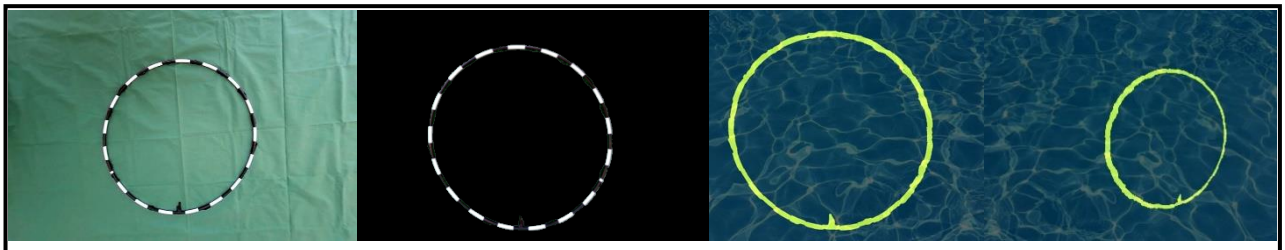
Prune Miktarı (%)	Süre (s)
%0	0,120
%10	0,083
%20	0,075
%30	0,070
%40	0,064
%50	0,058
%60	0,050
%70	0,040
%80	0,029

Şekil 33 Derin öğrenme model mimarisi ve prune hız değeri

Derin öğrenme ile nesne tanıma yöntemleri arasında en yaygın olanları Faster R-CNN [3], SSD [4] ve YOLO [5] olarak sıralanmaktadır. Yapılan araştırmalar [6] ve testler, gerçek zamanlı nesne tanıma problemlerinde YOLO'nun en yüksek performans ve doğruluğa sahip olduğunu göstermektedir.[7] Ayrıca, algoritmanın ağ yapısı kolayca manipüle edilebiliyor olmaktadır. Bu sayede hız ve obje tahmini arasında takas yapılabilmektedir. Bu yüzden YOLO algoritmasının kullanımına karar verilmiştir. Orijinal "Yolov3_tiny" modeli, ağ yapısı ihtiyaçlarımız doğrultusunda değiştirilmiş ve daha başarılı ve daha hızlı çalışan bir model yapısı inşa edilmiştir. Oluşturulan mimari Şekil 33'te gösterilmiştir. Sonrasında "Filter Pruning" yöntemiyle etkisiz filtreler elimine edilmiş ve modelin başarı oranı korunarak elde edilebilecek en yüksek hıza erişilmiştir.

Model Veri Seti

Derin öğrenme modelinin eğitilmesi için görev odaklı bir veri setine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu nedenle takım tarafından özel bir veri seti oluşturulmuştur. Yarışma komitesi tarafından paylaşılan hedef objeler üretilip görseller alınmıştır. Elde edilen görseller veri çeşitlendirme yöntemleri kullanılarak arttırılmıştır.



Şekil 34 Veri seti oluşturulurken uygulanan aşamalar

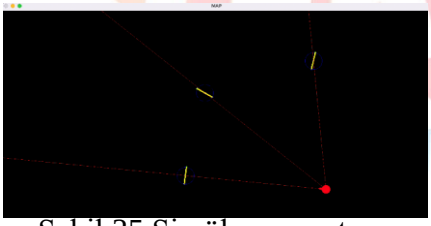
4.3.3.3. 360° Görüş Sistemi

360° Görüş Sisteminin geliştirilmesinde öncelikle kameraların balık gözü görüntüsü düzeltilmektedir. Ardından, SIFT algoritması ile görüntüler silindirik panorama görüntüsü oluşturacak şekilde birleştirilmektedir. Bu raporun yazım aşamasında takım envanterinde 3 kamera olduğu için testler bu şartlara göre sürdürülmüş ve optimizasyon çalışmaları yapılmıştır. Yapılan kamera testlerinden Test başlığı altında bahsedilmiştir.

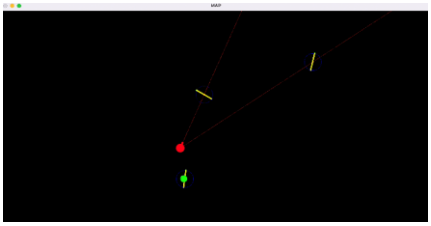
4.3.3.4. Görüntü işleme

Derin öğrenmenin yanı sıra nesne tespitini keskinleştirmek adına, obje renklerini algılayan görüntü işleme yöntemleri de kullanılacaktır. OpenCV kütüphanesiyle yapılacak olan görüntü işlemenin sonucunda elde edilen sonuçlar derin öğrenmenin ürettiği sonuçlarla karşılaştırılacak ve çift doğrulama yöntemiyle kararlar alınacaktır.

4.3.3.5. Navigasyon Algoritması ve Simülasyonu



Şekil 35 Simülasyon ortamı



Şekil 36 Simülasyon ortamı

Aracın navigasyon algoritmasında kullanılacak olan lokal haritalama sistemi Python dilinde OpenCV kütüphanesi kullanılarak takım tarafından programlanmıştır. İki boyutlu bir harita olan bu simülasyon sayesinde geçilen çemberlerden tekrar tekrar geçme probleminin çözülmesi hedeflenmektedir. Bir çemberden geçildiğinde bu nokta hata payı da gözetilerek işaretlenir. Sonrasında aynı çember hala kameralarda görülüyor olsa bile çemberin araca göre bulunduğu açı tespit edilebildiğinden çembere doğru bir çizgi çekilir. Eğer çizgi işaretlenen noktayı kesiyorsa çemberden geçildiği anlamına gelir ve o çember hedef olarak seçilmez. Şekil 35'te hedef çemberler ve araç konumu rastgele oluşturulmuş ve simülasyon çalıştırılmıştır. Şekil 36'da ise ilk hedeften geçtikten sonraki an gösterilmektedir.

4.4. Dış Arayüzler

4.4.1. Kontrol İstasyonu

Araca, Ethernet ve Wi-Fi olmak üzere iki farklı yolla bağlanılmaktadır. Ağ bağlantısı kurulduktan sonra SSH ve SFTP protokolleri ile ana bilgisayara doğrudan erişilebilmekte ve dosya transferi yapılabilmektedir. Bu metotlarla, gereken durumlarda, kontrol kartı ve sinyal işleme kartının yazılımına ana bilgisayar üzerinden erişilebilmektedir.

4.4.2. Şarj İstasyonu

Şekil 37 Imax B6AC şarj aleti

Su üstü kontrol masasında bulunan şarj istasyonu ile aracın şarj konnektöründen batarya şarjı gerçekleştirilebilmektedir. Batarya içerisinde Li-Ion pil hücreleri bulunduğu için ImaxB6AC şarj cihazı kullanılmaktadır. Batarya dahilinde bulunan BMS sayesinde güvenli bir şekilde hızlı şarj kullanılmaktadır.

5. GÜVENLİK

Güvenlik Meftun-u Derya takımının ilk önceliğidir. Takım üyeleri, çalışma ortamında oluşabilecek herhangi bir kazaya karşı bilgili ve tedbirli bir şekilde çalışmalarını yürütmektedirler. Bu konuda ISO 45001:2018 İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetim Sistemi standartları örnek alınmıştır.

Güvenlik önlemlerine aracın tasarım ve üretim aşamalarında ayrı ayrı dikkat edilmektedir. Her aşama için takımın aldığı başlıca güvenlik önlemleri şu şekilde açıklanabilir:

5.1. Mekanik Güvenlik Önlemleri

- İticilerin etrafa zarar vermemesi için pervaneler bir nozul içerisine alınmıştır.
- İtici takımı plastikten üretilmekte ve yarışma sürecinde gerekli dayanımı göstermesi için gerekli et kalınlıklarına sahiptir.
- İticilerde kullanılan motorlar suya dayanıklı motorlardan seçilmiştir.
- Araç üzerinde bulunan kesici ve sivri uçlar yumuşatılmıştır.
- Ana ve kamera haznelerinin sızdırmazlığı epoksi reçine ve o-ringler ile sağlanmıştır.
- Ana haznenin dış basınca ve darbelere karşı dayanıklı olması için üretiminde PVC malzemesi seçilmiştir.
- İticiler, kamera haznesi ve hidrofon modülü ana tüpe yardımcı elemanlar ile sabitlenmektedir. Bu noktalarda paslanmaz somun ve cıvatalarla gevşek olmayacak şekilde sabitlenmiştir.

5.2. Elektriksel Güvenlik Önlemleri

- Aracın bataryalı olmasından dolayı acil durumlarda gücünü kesebilmek için dışında kolay ulaşılabilir bir bölgede acil durdurma butonu konumlandırılmıştır.
- Aracın gücünü sağlayan bataryaya BMS entegre edilmiştir. Bu sayede yüksek akım çekilmesi durumunda veya yüksek batarya sıcaklığında aracın gücü kesilmektedir.
- Batarya aleve dayanıklı izolasyonlar ile kaplanmış ve bir kutu içerisinde haznenin içerisine yerleştirilmiştir.

- Araç kablolarını birbiri ile temasını engellemek için bağlantı noktalarında ısı ile daralan makaronlar kullanılmıştır.
- Aracın dışında bulunan kabloların bağlantı noktalarında izolasyonunu sağlamak için epoksi reçine kullanılmıştır.
- Aracın iç ve dış kabloları gergin olarak bırakılmamaktadır. Bu sayede ani hareketlere karşı esneklik sağlanmıştır.

6. TEST

- **Sızdırmazlık Testi**

o Ana Haznenin içerisinde elektronik bileşenler olmadan gerçekleştirilen testlerin bütünüdür. Haznenin içerisine suya batması için ağırlık ve suyun tespit edilebilmesi için kuru pamuk koyulmuştur. Hazneye kör kapaklar takılarak suyun dibine daldırılmış ve 1 gün beklenmiştir. Bu aşamada flanş ve kapaktan su sızmadığı gözlemlenmiştir. Daha sonra bu test konnektörlü kapaklar ile yapılmıştır. Bu noktada da konnektörlerin su sızdırmadığı gözlemlenmiştir. Bu testler adım adım yapılmaktadır çünkü hazne tek bir parçadan oluşmamaktadır. Herhangi bir su geçirme durumunda sorunlu parçayı tespit etmek için sağlama yapılarak ilerlenmiştir.

- **İtici Takım Testi**

o İtici Takım Testi, araçta kullanılacak olan itici takımın suyun içerisinde çalıştırılarak ne kadar itki (thrust) sağlandığının gram cinsinden ölçüldüğü testtir. Takım tarafından tasarlanmış olan test sisteminde sigma profil, mil, rulman ve loadcell bulunmaktadır. Akvaryumun üzerinde cama baskı uygulayarak sabitlenen sigma profil çerçevesinin üzerine 2 tane yataklı rulman yerleştirilmiştir. Sistemde L bir parça vardır. Bu parçanın dış köşesine bir yataklı rulman sabitlenmiştir. L parçanın uzun kolu suyun içerisinde kalacak şekilde yataklı rulmanların yataklarına mil takılır. Parçanın kısa kolu ile sabit profilin arasına loadcell montajlandıktan sonra gerekli elektronik işlemler yapılır. L parçanın uzun kolunun ucuna itici takım bağlandıktan sonra suyun içerisindeki itici takım çalıştırılır. L parça mil ve yataklı rulman sayesinde gelen itkiyi loadcell'e aktararak itici takımın sağladığı itki ölçülmüştür.

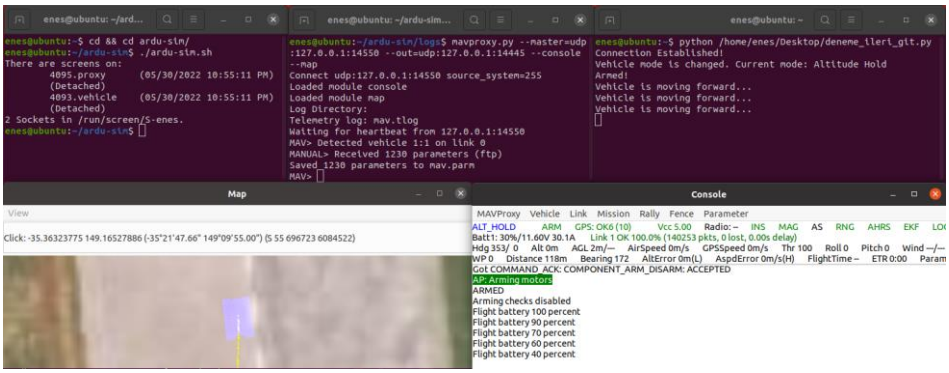
- **Güç Modülü Testleri**

o Güç modülü içerisinde bulunan voltaj yükseltici ve düşürücü devreler pilin farklı şarj durumlarında test edilmiş ve çıkış voltajının istenilen seviyede korunduğu gözlemlenmiştir. Bu test sonuçlarına göre elektronik donanımlar bu dönüştürücüler ile sıkıntısız bir şekilde beslenebilecektir.

o 4S 12500mAh olarak tasarlanan bataryanın şarj kapasitesi ve sürekli akım çekme durumunda ısıl değerleri sürekli olarak 10A çeken bir motor ile test edilmiştir. Bu koşullar altında batarya grubu datasheet verileri ile benzer sonuçlar vermiştir.

- **Aracın Temel Hareket Fonksiyonu Testi**

o Aracın ileri-geri, dönme, yükselme-alçalma gibi temel hareket fonksiyonlarını yerine getirirken hedef yönden ne kadar saptığının tespit edilmesi gerekmektedir. Bu test, aracın mekanik aksamının üretimi süresince yazılımsal olarak Ubuntu üzerinde SITL (Software In The Loop) simülatörü ile gerçekleştirilmiştir. Hazırlanan Python komut dosyalarıyla aracın stabil hareket edebilme gerekliliği doğrulanmıştır gözlemlenmiştir. Üretim tamamlandıktan sonra, araç havuz ortamındayken kontrol kartına gönderilen manuel komutlarla aracın istenen doğrultuda hareket edip etmediği test edilecektir.

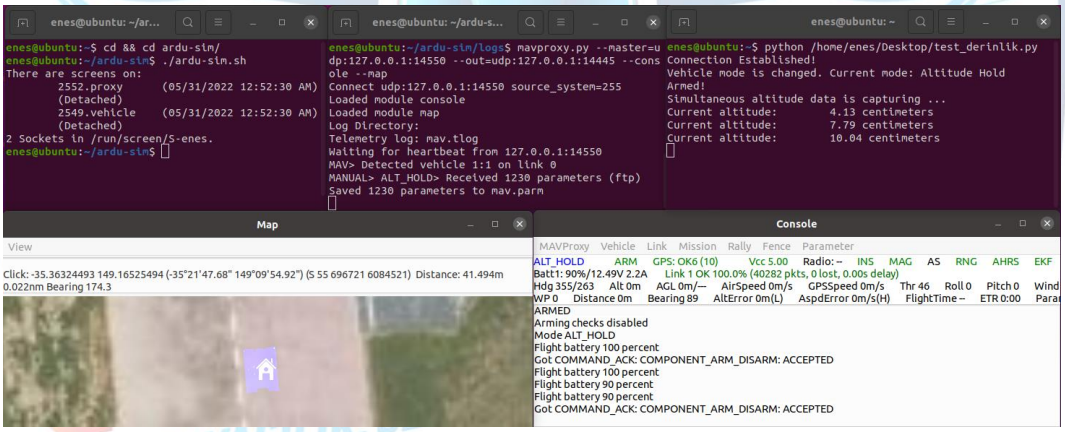


Şekil 38 PID ile stabilizasyon testleri

- **Sensör Testleri**

○ Kontrol kartına bağlı çalışarak aracın konum ve yön bilgisinin elde edilmesinde kullanılan sensörlerin yarışma öncesinde kontrol kartına bağlı çalışan sensörlerle ölçülen basınç, 3 eksendeki eğim, manyetik yön değerlerinin test edilmesi gerekmektedir. Basınç değeri, derinlik değerindeki değişimin takibiyle; 3 eksendeki eğim değeri, kontrol kartının açıölçerle her bir eksendeki değişiminin takibiyle; manyetik yön değeri ise pusula yardımıyla teyit edilmektedir.

○ Basınç sensörünün ortam şartlarına göre kalibrasyonu yapıldıktan sonra, 10cm derinliğe kadar istenen çözünürlükte ölçüm yapıp hassas bir şekilde derinlik bilgisinin elde edildiği doğrulanmıştır. Bu teste ilişkin görüntüler Şekil 39'da verilmiştir.



Şekil 39 Basınç sensörü testleri

- **Kamera Testleri**

○ Bu raporun yazım aşamasında elimizde 3 kamera olduğundan 3 kamera ile testlerimizi sürdürmekte ve optimizasyon çalışmaları yapmaktayız. Şekil 40'da 3 kameranın SIFT algoritması ile birleştirilmiş yaklaşık 240 derecelik görüş açısına sahip bir çıktısı gösterilmiştir.

Şekil 40 Görüntü birleştirme testleri

- **Performans Testleri**

○ Gömülü bilgisayar üzerinde takım tarafından önceden eğitilmiş derin öğrenme modelleri çalıştırılarak FPS testleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan optimizasyonlar ve geliştirmeler ile test sürecine devam edilmiştir.

- **Simülasyon Testleri**

○ 4.3.3'te bahsedilen lokal haritalama sistemi aynı zamanda bir simülasyon ortamı olarak da kullanılabilmektedir. Böylece algoritmalar havuza gitmeden de test edilebilmektedir.

- **Havuz Testleri**

○ Yarışma şartnamesinde belirtilen hedef objeler takımımız tarafından üretilmiştir. Objeler kullanılarak havuz testleri yapılacaktır.

7. TECRÜBE

- **3D Baskı Tecrübesi**

○ Aracın mekanik aksamının büyük bir kısmı 3B yazıcı kullanarak üretilmiştir. Kullanılan 3B yazıcı ortalama hassasiyete sahip bir üründür dolayısıyla bastırılan parçaları belirli bir hata toleransı ile basmaktadır. Yapılan test baskıları ile bu tolerans değeri öğrenilmiş, mekanik tasarımlar bu tolerans değerine göre güncellenmiştir.

- **Parça Mukavemet Tecrübesi**

○ Mekanik parçalardan bazılarının yüke bindiğinde veya üzerine delik açıldığında çatlama yaptığı gözlenmiştir. Bu parçaların et kalınlıkları aracın emniyeti sağlanacak seviyeye kadar artırılmıştır.

- **Epoksi Kaplama Tecrübesi**

○ 3B baskı ile üretilen parçalar katmanlı imalatın dezavantajı nedeniyle bir süre sonra suyu geçirmeye başlamaktadır. Bu sorunu çözmek için epoksi kaplama kullanılmıştır. Epoksi, reçine ve sertleştirici malzemeler belirli oranda belirli bir kıvama gelene kadar karıştırılarak üretilmektedir. Epoksi kaplama yapılan denemelerle belirlenen oran ve kıvamdan sonra uygulanmıştır.

- **PCB Üretim Tecrübesi**

o Tasarlanan PCB'lerin final üretim aşamasından önce birkaç defa test üretimleri gerçekleştirilmiş, endüstriyel olarak üretilen PCB'ler ile elde basılan PCB'ler arasındaki farklar tespit edilmiş ve bu farklara göre üretimi kolaylaştırmak adına güncellemelere gidilmiştir.

- **Kablaj Tecrübesi**

o Yapılan kablo bağlantı testlerinde, özellikle aracın kapak bölgesinde kabloların çok yoğun olmasından dolayı karışıklar olduğu tespit edilmiştir. Bu karışıklığı çözmek adına araçtan dışarı çıkan kablolar için 12 damarlı kablo kullanımına gidilmiştir. Aracın kapak bölgesinden gelen kabloların elektronik malzemelerin kendi aralarındaki kablajla birleşmesiyle elektronik hazne içinde de bağlantılarda karışıklıklara sebebiyet verdiği görülmüş, çözüm olarak kapakla elektronik hazne arasına konnektör modülü yerleştirilmesi uygun görülmüştür. Böylece aracın kablo bağlantılarına modülerlik kazandırılmış ve oluşabilecek bağlantı problemlerinde hızlı bir şekilde problem tespiti imkânı kazanılmıştır.

Şekil 41 Görev objeleri

- **Batarya Üretim Tecrübesi**

o Araçta kullanılan batarya, Li-Ion pil hücreleri kullanılarak elektronik ekip üyeleri tarafından üretilmiştir. Üretim süreci boyunca batarya puntalama ve izolasyon tecrübeleri kazanılmıştır.

- **Prototip Tasarım Doğrulama Testleri/Tecrübesi**

o Araçta kullanılan mekanik ve elektronik parçaların araca yerleştirilmeden önce prototipleri üretilmiştir. Üretilen bu prototipler üzerinde ölçülerinin doğruluğu ve beklenildiği gibi çalışıp çalışmadığı gözlemlenmiş, tasarımda var olan eksiklikler giderilmiştir.

o **Yazılımsal Tecrübe**

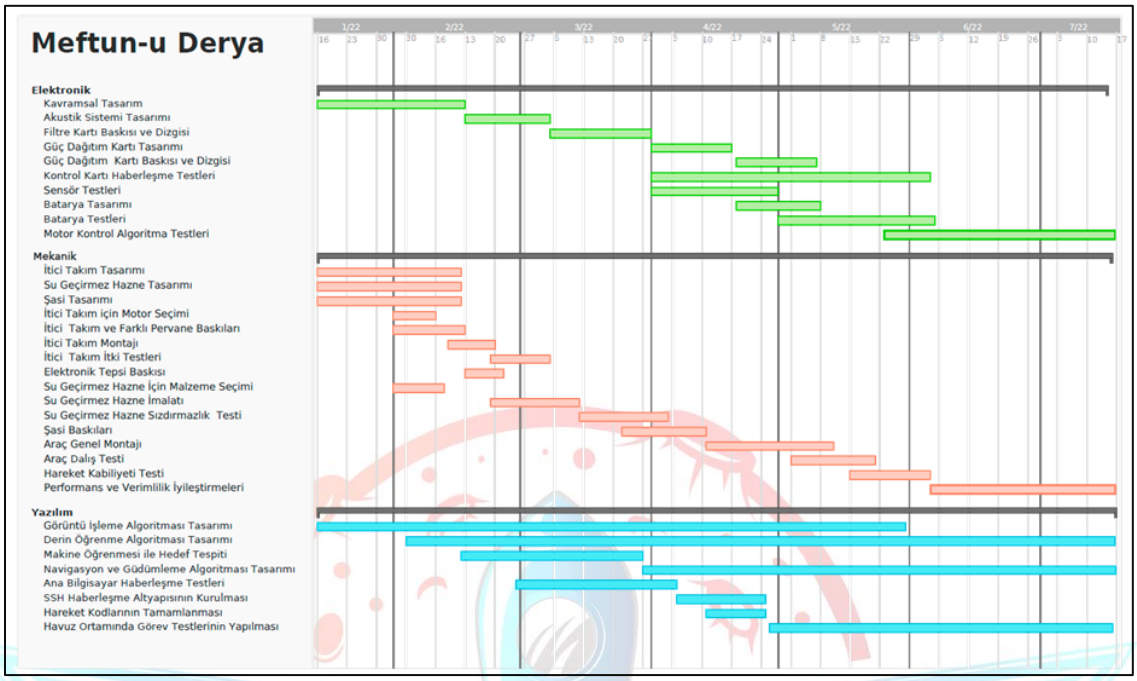
o Bir önceki yılın yarışma süreci de göz önünde bulundurulduğunda havuzlardaki kir, ışık gibi problemler ve fayansların üzerindeki çeşitli renk ve şekiller nedeniyle çok fazla görsel gürültü oluştuğu gözlemlenmiş ve bu yüzden de karar mekanizmasının derin öğrenme ile desteklenmesine karar verilmiştir. Ayrıca dar açılı bir kamera kullanmanın tarama algoritmasını daha kompleks hale getirildiğinin farkına varılmış ve bu sebeple 360 derece görüşe sahip bir sistem geliştirilmiştir.

8. ZAMAN, BÜTÇE VE RİSK PLANLAMASI

8.1. Zaman Planlaması

Yapılan zaman planlamasının amacı, proje esnasında gerçekleşen işlerin aksamadan ve verimli bir şekilde gerçekleştirilebilmesine ortam sağlamaktır. Bu amacın gerçekleşebilmesi için kavramsal tasarım süreci, ayrı disiplinler altında ilerleyen ürün tasarımları, malzemelerin temini, üretim süreleri, raporlama süreçleri ve takım üyelerinin sahip olduğu eğitim

sorumlulukları göz önünde bulundurulmuştur. Şekil 42'de görülen zaman planlaması bu değerlerin gözetilmesiyle ortaya çıkarılmıştır.



Şekil 42 Zaman Planlaması

8.2. Bütçe Planlaması

Ar-Ge hedefleri ve sahip olunan sponsor desteği çerçevesinde seçilen ürün kalemleri, önceki yıllarda elde edilen tecrübe ve ekonomik şartların değerlendirilmesi altında kesinleştirilmiştir. Sponsor desteği ile alınan ürünler Tablo 3'te turuncu olarak işaretlenmiş olup, bütçe toplamı içerisine dahil edilmemiştir.

Tablo 3 Bütçe Planlaması

Malzeme	Adet	Birim Fiyat (₺)	Toplam Fiyat (₺)
F2838 Fırçasız DC Motor	8	343	2744
Degz Blu 30A ESC	8	325	2600
Pixhawk The Cube Orange	1	6799	6799
STM32F401 Geliştirme Kartı	1	530	530
NVIDIA Jetson AGX Xavier	1	47807	47807
MS5837-30BA Basınç Sensörü	2	168	336
H1A Hidrofon	3	2780	8340
OV2710 Mini USB Kamera	6	385	2310
Power-Xtra 2500 mah Li-Ion Pil	20	81	1702
Baskı Devre Masrafı	1	3000	3000
Kablaj Masrafı	1	500	500
PLA Filament	6	177	1062
Fırat Boru	1	150	150
			Genel Toplam: 77880 ₺ **Nihai Toplam: 15284 ₺**

8.3. Risk Planlaması

Risk yönetimi, projenin içinde bulunduğu durumun gözden geçirilerek, projenin geleceği için risk teşkil eden oluşumların tespit edilmesi ve bunların önlenmesi için gereken tedbirlerin alınmasını içermektedir. Projenin bütün süreci boyunca ortaya çıkabilecek riskler hesaplanıp bunlara karşı öneriler Tablo 4'te gösterilmiştir.

Tablo 4 Risk Planlaması

RİSK	RİSK OLASILIĞI	RİSK ŞİDDETİ	ÇÖZÜM
Gerekli ekipmanların tedarik edilememesi	İhtimal Dışı	YÜKSEK	Malzeme seçiminde tedarikçilerin stoklarına dikkat edilmiştir. Gerekirse alternatif ürün planı uygulanır.
Takım üyelerinin zarar görmesi	İhtimal Dışı	ÇOK YÜKSEK	Bu gibi durumların yaşanmaması için gerekli iş sağlığı ve güvenliği eğitimleri verilir ve önlemler alınır. Gerektiğinde ilk yardım müdahalesi yapılır.
Ana hazne içerisinde bulunan kabloların kısa devreye yol açması	Muhtemel	YÜKSEK	Tasarım kriterleri arasına kablaj tasarımı eklenerek kablolama ve lehim noktalarının güvenliği özel olarak çalışılır.
Pilin ısınması sonucu hazne ve elektronik tepsinin zarar görmesi	İhtimal Dışı	YÜKSEK	Araç üzerinde muhtemel akım testleri yapılarak uygun pil gruplaması yapılır. Ekstra olarak hazne içerisinde bulunan ısı sensörü ile yüksek sıcaklık değerleri algılandığında güç kesimine gidilir.
Robotun havuz duvarını görsel olarak tespit edemeyip duvara çarpması ve fiziksel hasar alması	Muhtemel	ORTA	Havuz boyutları önceden bilindiği için haritalama algoritmalarıyla bulunan konum anlık olarak tespit edilip duvara çarpması önlenir.
Robotun yanlış bir komla rotadan sapması ve doğru rotaya tekrar dönememesi	İhtimal Dışı	DÜŞÜK	Robot güdümleme algoritmasını çalıştırdıktan sonra takip edeceği rota bozulursa tekrardan tarama algoritmasını çalıştırarak, rota düzeltme davranışı sergiler.
Ana haznenin ve kamera haznesinin su almaya başlaması	İhtimal Dışı	ÇOK YÜKSEK	Haznelerin yarışma havuzunun derinliğinden daha yüksek basınçlı ortamda sızdırmazlık testlerine tabi tutulur.
Mekanik bağlantı elemanlarının tahrip olması.	Muhtemel	DÜŞÜK	Su ile teması bulunan tüm mekanik elemanlar korozyona dayanıklı olacak şekilde seçilir veya sonradan epoksi kaplama yapılır.

9. ÖZGÜNLÜK

9.1. Mekanik Özgünlük

- **İtici Takım Özgünlüğü**

o İtici takımlar her iki yönde de eşit itki sağlama hedefiyle özgün olarak tasarlanmıştır. Bu sayede aracın her yönde eşit miktarda hareketi kolaylıkla sağlanabilecektir.

o **Su Geçirmez Hazne**

o Hazne dayanımı yüksek ve maliyeti düşük olan PVC malzeme kullanılarak tasarlamıştır. Hazneye bağlanan kapak yapısı ve konnektörler hazır tasarımlar tercih edilmeden yapılan testler sonucunda başarılı bir şekilde geliştirilmiştir.

9.2. Elektronik Özgünlük

- **Güç Modülü**

o Batarya (Şekil 23), voltaj düşürücü (Şekil 26), voltaj yükseltici (Şekil 26) ve röle (Şekil 25) alt birimlerinden oluşan güç modülü bütün bir şekilde özgün olarak tasarlanmıştır. Modülde bulunan batarya yaygın olarak kullanılan Lityum polimer pillere kıyasla daha makul bir fiyat karşılığında, araç hacmine göre boyutsal tasarım yer kaplayacak şekilde; voltaj dönüştürücüleri ve röle kartları muadillerine kıyasla daha düşük maliyetli ürünler olarak üretilmiştir. Özgün tasarım sayesinde hem hazne içerisinin verimli kullanımı ön plana çıkarken, hem de fiyat & performans açısından optimize edilmiş bir güç modülü ortaya koyulmuştur.

- **Konnektör Modülü**

o Araç içi ve dışı arasındaki kablajı kontrol etmek adına konnektör modülü (Şekil 27) tasarlanmıştır. Bu sayede iç ve dış kablolar birbirinden kolay şekilde ayırılabilmekte ve kontrol edilebilmektedir.

9.3. Yazılımsal Özgünlük

- **360° Kamera Sistemi**

o 360 derecelik görüş sağlayan çoklu kamera sistemi sayesinde gerek yazılımsal gerek donanımsal özgünlük sağlanmıştır. Sistemin detayları 4.3.3.3'te anlatılmıştır.

10. YERLİLİK

Aracın üretimi sürecindeki ana hedeflerden biri de mümkün olduğu kadar yerli imkanlarla aracı üretmektir. Çalışmalar bu düşünce göz ününde bulundurularak geliştirilmiş ve ürünler ortaya konulmuştur. Yerlilik üç başlık altında incelenebilir. Bunlar;

- **Mekanik Yerlilik:**

o İtici takımlar (Şekil 5), şasi ve kapaklar (Şekil 4) takım üyeleri tarafından tasarlanıp 3B yazıcı ile üretilmiştir.

o Ana haznenin gövdesi yerli üretim PVC malzemeden üretilmiştir.

o Kabloların ana hazneye girişinde konnektör olarak kullanılan rakorların tercihi yerli ürünlerden olmuştur ve sızdırmazlık takım üyeleri tarafından epoksi reçine uygulaması yapılarak sağlanmıştır.

o Kamera haznesi (Şekil 6) şeffaf pleksi malzemesi kullanılarak yerli olarak üretilmiştir.

- **Elektronik Yerlilik**

○ Akustik Sinyal İşleme (Şekil 21), Güç (Şekil 25 ve 26) ve Konnektör (Şekil 27) modüllerinde bulunan PCB tasarımlar yerli ürünler tercih edilerek PCB üretimi, komponent dizgisi takım üyeleri tarafından gerçekleştirilmiştir.

○ Araçta kullanılan batarya (Şekil 23), pil hücrelerinin yerli olarak alındıktan sonra takım üyeleri tarafından puntalama, kaplama ve diğer güç bileşenleriyle entegrasyonu takım üyeleri tarafından gerçekleştirilmiştir.

- **Yazılımsal Yerlilik**

○ Kullanılan derin öğrenme modelinin ağ yapısı takımımız tarafından özelleştirilerek yerli hale getirilmiştir. Model detayları 1.1.2.2'de gösterilmiştir.

○ Herhangi bir simülasyon yazılımı kullanmadan tamamen yerli bir şekilde lokal haritalama sistemi geliştirilmiştir. Detaylar 1.1.2.6'da gösterilmiştir.

11. KAYNAKÇA

[1] Texas Instruments, "Current-Mode PWM Controller", UCx84xA datasheet, Sep. 1994 [Rev. Oct. 2017]

[2] Xlsemi, "5A 180KHz 36V Buck DC to DC Converter", XL4015 datasheet, [Rev. 1.3]

[3] Ren, S., He, K., Girshick, R. and Sun, J., 2017. Faster R-CNN: Towards Real-Time Object Detection with Region Proposal Networks. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 39(6), pp.1137-1149.

[4] Liu, W., Anguelov, D., Erhan, D., Szegedy, C., Reed, S., Fu, C. and Berg, A., 2016. SSD: Single Shot MultiBox Detector. *Computer Vision – ECCV 2016*, pp.21-37.

[5] Redmon, J., Divvala, S., Girshick, R. and Farhadi, A., 2016. You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection. *2016 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*,.

[6] Srivastava, S., Divekar, A., Anilkumar, C., Naik, I., Kulkarni, V. and Pattabiraman, V., 2021. Comparative analysis of deep learning image detection algorithms. *Journal of Big Data*, 8(1).

[7] Paperswithcode.com. 2022. *Papers with Code - Real-Time Object Detection*. [online] Available at: <https://paperswithcode.com/task/real-time-object-detection> [Accessed 31 May 2022].