

# SAVUNMA SANAYİ BAŞKANLIĞI

Başkan Yardımcısı Sayın Celal Sami Tüfekçi'nin Dikkatine

Proje Fikri Teklifi

---

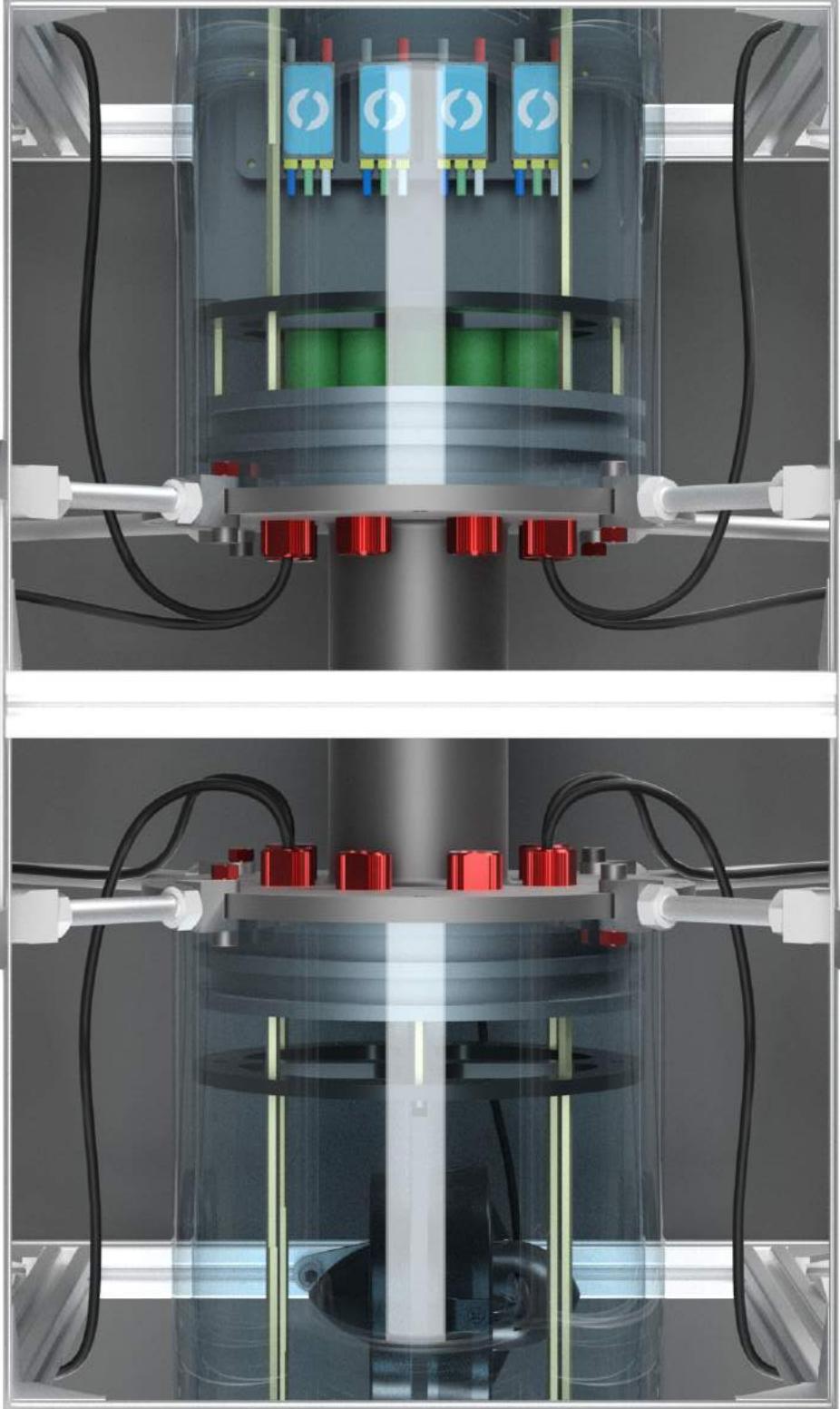
## Otonom Su Altı Aracı Projesi

---

İstanbul Teknik Üniversitesi AUV Takımı

1 Ekim, 2018





# İçindekiler

<b>Kısaltmalar</b>	<b>3</b>
<b>1 Giriş</b>	<b>4</b>
<b>2 Tanıtım</b>	<b>4</b>
<b>3 Teknik Özellikler</b>	<b>6</b>
3.1 Mekanik Tasarım Gerekçeleri . . . . .	6
3.1.1 Ana Elektronik Muhafazası . . . . .	7
3.1.2 Şasi . . . . .	9
3.1.3 Görev Odaklı Aletler . . . . .	10
3.1.4 İticiler . . . . .	11
3.1.5 Ayarlanabilir Sephiye Sistemi . . . . .	11
3.2 Yazılım . . . . .	12
3.2.1 Ana Hareket Sistemi . . . . .	12
3.2.2 Benzetim (Simülasyon) . . . . .	13
3.2.3 Görüntü İşleme . . . . .	13
3.2.4 Haberleşme . . . . .	15
3.3 Elektronik Tasarım Gerekçeleri . . . . .	16
3.3.1 Temel Elektronik Sistemi . . . . .	16
3.3.2 Kameralar ve Ek Elektronik Parçalar . . . . .	17
3.3.3 Torpido . . . . .	18
3.3.4 Bataryalar ve Düşük Enerji Modu . . . . .	19
<b>Ek-1: Bütçe Planı</b>	<b>19</b>
<b>Kaynakça</b>	<b>22</b>

## Kısaltmalar

**AUV** Otonom Su altı aracı / *Autonomous Underwater Vehicle*

**AUVSI** Association for Unmanned Vehicle Systems International

**CNC** Computer Numerical Control

**DVL** Doppler Hız Kaydı / *Doppler Velocity Log*

**ESC** Electronic Speed Controller

**LED** Light Emitting Diode

**MATE** Marine Advanced Technology Education

**PCB** Printed Circuit Board

**PMMA** Akrilik Cam / *Poly[methyl methacrylate]*

**PWM** Sinyal Genişlik Modülasyonu / *Pulse Width Modulation*

**ROS** Robot İşletim Sistemi / *Robot Operating System*

**SCR** Tristör / *Silicon Controlled Rectifier*

**USB** Universal Serial Bus

**YOLO** You Only Look Once

## **1 Giriş**

İstanbul Teknik Üniversitesi bünyesinde çeşitli mühendislik yarışmalarında yer alan takımlara ev sahipliği yapmış ve yapmakta olan İTÜ Robotik Kulübü çatısı altında 2016 yılında kurulmuş olan takımımız, 2017 ve 2018 yıllarında Amerika Birleşik Devletleri’nde düzenlenen MATE ROV yarışmasına Türkiye de düzenlenen ön elemelerde galip gelerek finallere katılmış ve finalerde sırasıyla 23. ve 11. olmuştur. Takımımız, su altı araç yarışmalarını tecrübe edinilecek birer fırsat olarak değerlendirmektedir ve nihai hedefini savunma sanayi sahasında kullanılabilecek, kabiliyetli araçlar üretmek olarak belirlemiştir. AUV, su altında herhangi bir kontrol veya komuta sistemine bağlı kalmadan, yüksek çözünürlüklü algılayıcılar ve kameralar yardımı ile hareket sistemini kullanarak önceden belirlenmiş görevleri, daha önce tanımadığı bir ortamda otonom bir şekilde gerçekleştirebilen bir su altı aracıdır. Tasarım sürecinde olan aracımızın tasarım gereklilikleri teknik özellikler kısmında açıklanacaktır. Aracın tasarlanacak olan parçalarının mümkün olduğu kadar yerli kaynaklarla, ülkemizde üretilmesi amaçlanmaktadır. Dış ticarete bağımlı kalmadan üretim aşamasına geçebilmemiz için tasarımlarımıza özellikle dikkat edilmekte ve seçilen ürünlerin ülkemizde üretiminin uygunluğuna dikkat edilmektedir.

## **2 Tanıtım**

Ekip olarak uzun süredir içinde bulunduğumuz su altı alanı ülkemizde günden güne artan bir ilgiye sahiptir. İki senedir tasarlamış olduğumuz uzaktan kumandalı su altı araçları(ROV) ve şu anda üstünde çalıştığımız otonom su altı araçları(AUV) konusunda ülkemizin askeri, endüstriyel uygulamalar, bilimsel su altı araştırmaları gibi birçok konuda ihtiyacını karşılamak için fikirler üretmeye ve çalışmalarımıza başlamış bulunmaktayız. Motivasyonumuz; ülkemizi, yeni yeni gelişen su altı teknolojisinde uluslararası alanda temsil etmek, bu konuda yeterliliğimize dikkat çekmek ve de yerli üretim sürecine teşvik etmektir. Uzun vadeli planlarımız arasında her yanı sularla çevrili Türkiye’yi bu piyasada yer etmiş, su altı araçları ihracatında önemli yere ulaştırmış olmaktadır.

Öncelikle RoboSub yarışması için üreteceğimiz aracımıza yarışma dışında da, gerçek hayat görevleribicmek ve kendimizi geliştirdikçe savunma sanayinde kullanılabilecek profesyonellikte araçlar üretmek istemekteyiz. Böylece yerli ve milli imkanlarla araçlar üretip ülkemizi hem askeri hem de ticari anlamda sektördeki kalıpların dışına çıkmak istemekteyiz. Bu ana amaç dışında uygulamak istediğimiz projelerden birkaçı mayın tespit ve imha aracı, sarf malzemeden üretilmiş patlayıcı taşıyan robotlar, denizaltı eskort robotları, silahlı su altı araçları ve su altı manyetizma temelli atesleme sistemleri örnek verilebilir.

Sizlerin de desteği ile artık gelişmiş ülkelerin yarıştığı bu yarışmada kendimizin ve ülkemizin gücünü göstermek ve en iyi şekilde temsil etmek istemekteyiz.

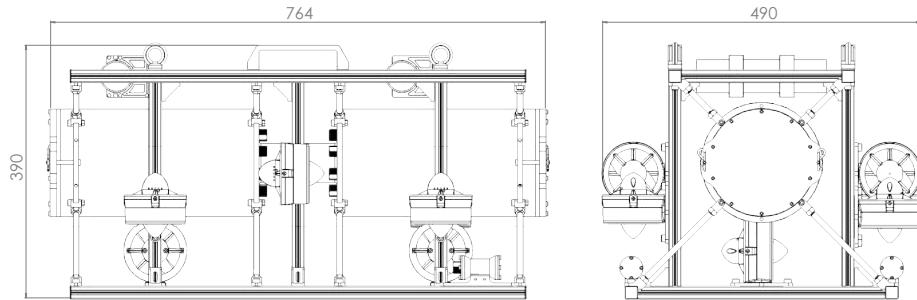
## 3 Teknik Özellikler

### 3.1 Mekanik Tasarım Gerekçeleri

Bir otonom veya kablo kontrollü su altı aracı ana hatlarıyla:

- Şaşı
- Elektronik muhafazası
- İticiler
- Göreve özgü aletler(ışık, robot kol, kamera muhafazaları vb.)

gibi unsurlardan oluşmaktadır. Aracımızın mekanik tasarımını halen devam etmektedir, şu ana kadar şasinin ve ana elektronik muhafazasının tasarımını bitmiş ve görevlere özgü aletlerin tasarımlarına halen devam edilmektedir. Kullanacağımız iticiler olarak BlueRobotics marka T100 model iticiler belirlenmiştir. Araçtaki diğer tüm öncelikli parçaların tasarımlarının ve üretimlerinin sonlanmasının ardından korozyona karşı dayanıklı ve su altı kullanımına uygun iticiler tasarlamayı ve üretmeyi amaçlamaktayız. Aracın çizimlerinde Dassault Systèmes SOLIDWORKS bilgisayar destekli tasarım uygulaması kullanılmaktadır. Aracın mekaniksel özelliklerinden olan ağırlık, ağırlık merkezi, hacim(dolayısıyla yüzeylik) ve yüzeylik merkezi gibi verilerin takibi bilgisayar ortamındaki çizimde yapılmakta ve aracın kontrolünde, bahsedilen mekanik değerlerden etkilenecek olan yazılım ekibimizle koordine olarak çalışmaktadır. Yarışmanın kurallarında bulunan ağırlık ve boyut sınırlamalarının dahilinde tasarladığımız aracımızla tasarım sınırlamaları kulvarında tam puan almayı hedeflemekteyiz. Aracın şu ana kadar tasarlanan haliyle ağırlığı 18.75kg olup yarışma kuralları gereği 22kg ve altı hedeflenmektedir. Aracın boyutları ise uzunluk 76.4cm genişlik 49cm yükseklik 39cm olup yarışma boyut sınırlarının dahilindedir.



Şekil 1: Boyutlar

### 3.1.1 Ana Elektronik Muhafazası

Aracın bilgisayarı, motor kontrolcüleri, bazı kameraları ve pili gibi elektronik bileşenleri sudan korunmuş bir muhafaza içerisinde bulunması gerekmektedir. Ana muhafaza:

- Su ile direk temasta bulunan duvar kısmı
- Kablo girişleri ve çıkışları
- Su ile temasta bulunan sensörlerin montajı için gerekli delikleri bulunduran kapaklar
- Ön-arka kapakların ana muhafaza duvarına montajını ve sızdırmazlığını sağlayacak olan flanşlardan

oluşmaktadır. Aracın tasarımında iki adet muhafaza duvarı görevini üstlenen silindirik PMMA tüp, iki tüpün ortasında bulunan orta flanş, ön-arka kapak ve flanşlarından oluşmaktadır. İki adet silindir:

- Elektronik bileşenlerin ve pilin kaplayacağı hacmin tek bir silindire sızmaması
- Hassas elektronik bileşenlerin elektromanyetik enterferansdan korunabilmesini sağlaması

gibi sebeplerden ötürü tercih edilmiştir. Orta flanşın merkezinden iki ana tüpü birbirine bağlayacak silindirik bir koridor açılmış olup, iki tüp arası geçiş sağlanmıştır. Orta flanş üzerindeki kablo geçişleri endüstriyel su altı konektörleriyle yapılması planlanmaktadır.



Şekil 2: Ana Elektronik Muhafazası

Ana muhafaza çeper kısmı:

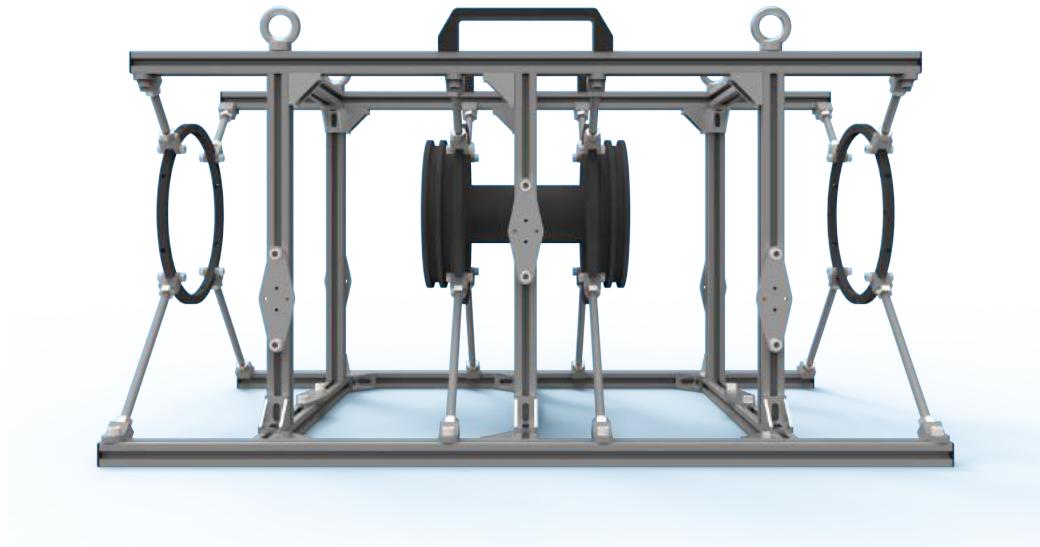
- Silindir geometrik şeklinin yüksek dayanım sağlaması
- Muhafaza kapaklarının ve sızdırmazlık elemanlarının dairesel şekilde en iyi mekanik performansı göstermesi
- O kesitli conta kanalları bulunduran flanşların torna tezgahında işleme kolaylığı
- Contaların temas edeceği yüzey kalitesi

gibi sebeplerden dolayı döküm PMMA bir silindir seçilmiştir. Silindir malzemesinin akrilik cam olarak seçilmesinde aracın ilk aşamada çalışması planlanan derinliklerde yeterli dayanım göstermesi ve aracın geliştirme aşamasında elektroniklerin çiplak göz ile kontrol edilebilmesi gibi unsurlar yön verici olmuştur. Muhafaza silindirinin malzemesinin, aracın çalışması istenilen derinliklerin değişmesi ve aracın istikrarlı bir performans göstermesinin ardından daha yüksek dayanımlı malzemelere geçilmesi planlanmaktadır.

Sızdirmazlık sistemimiz bir orta ve iki ön-arka olmak üzere toplam 3 flanştan oluşmaktadır. Muhofazanın çeper kısmını oluşturan iki silindirin birbiri ile, ayrıca ön ve arka kapakların silindirler ile aralarındaki bağlantıyı ve sızdirmazlığı sağlayacak olan bu flanşlar O kesitli conta kanalları bulundurmaktadırlar. Conta kanallarının boyutlarının kararında contaların kanal doldurma miktarları, sıkışma oranları ve esneme oranları dikkate alınarak tasarım yapılmıştır. Flanşlar alüminyum 7000 serisi alaşımından torna tezgahında üretilicektir [1].

Ön ve arka kapaklar kameralara görüş alanı sağlamaları için 10mm kalınlığında PMMA'dan üretildi. Aracın dalması planlanan derinliklere uygunluğu İTÜ Ata Nutku Gemi Deney ve Test Laboratuari'ndaki basınç tanklarında dayanım testleriyle kontrol edildi.

### 3.1.2 Şasi



Şekil 3: Şasi

Aracın üzerindeki tüm bileşenlerin monte edilmesi için gerekli, aracın omurgasını oluşturacak olan şasinin ana malzemesi olarak montaj olukları içermesi, hazır olarak alınabilmesi ve ekonomik olusundan dolayı 20x20mm ölçülerinde T-oluklu alüminyum sigma ekträzyon profil tercih edildi. Ana elektronik muhafazasının şasi ile montajı için özel bağlantı parçaları tasarlandı ve CNC torna tezgahı, CNC freze tezgahı ve tel erozyon tezgahı yardımıyla alüminyum malzemesinden üretildi. Silindirlerin orta flanş sabitlenmesi için uç halkalar ve kapaklar arasına kolay sökülp takılabilen pimler ve pimplere geçen R firketeler kullanıldı. Şasiye monte edilmesi gereken diğer itici, LED ışık, kameralar ve DVL sensörü gibi harici sensörlerin montajı için özel bağlantı parçaları 3D plastik baskı ve alüminyum lazer kesim gibi yöntemlerle üretildi.

### 3.1.3 Görev Odaklı Aletler

Takımımızın katılmayı amaçladığı yarışma olan RoboSub otonom su altı aracı yarışmasının her sene farklı konseptleri olan bir yarışma olması sebebi ile, katılımcılar her yeni yarışma dönemi için görevler etrafında aletler tasarlamak durumundalar. Bu proje raporunun yazıldığı zaman itibarıyle 2019 yarışmasının konsepti ve görevleri açıklanmamış olsa dahi takımımız önceki yılların yarışma görevlerini inceleyip yeniden karşılaşılma ihtimali yüksek olan görevler ve onların gerektirdiği aletlerin tasarımına başlama kararı almıştır. Tasarımına başlama kararı aldığımız aletler: su altında hedef isabet ettirmeye yönelik tasarlanacak olan bir adet torpido sistemi ve su altındaki nesnelerin manipüle edilmesinde kullanılacak olan bir adet tutucu içeren robot koldan oluşmaktadır<sup>1</sup>.

Torpido sistemi için takımımız tarafından düşünülen sistemler arasında: yay enerjisi ile tetik sistemi ve bobin tahriki ile ateşleme gibi sistemler bulunmaktadır. Torpido sistemi yarışmada bulunan su altı hedeflerini vurma amacı üzerine tasarlanmaktadır. İki sistemin de prototip çalışmalarına başlanmıştır. En uygun sistem test edilip arańta kullanılabaktır.

Robot kol sistemi için takımımız birden fazla eklemden oluşan modüler bir tasarım üzerine çalışmalarını yürütmektedir. Eklemler ve uç elemanı istenilen kombinasyonda kullanılabilecek ve ihtiyaca göre değiştirilebilecektir.

---

<sup>1</sup> Robosub 2018 Mission and Scoring

Tüm eklem elemanları su geçirmez bir muhafaza, motor, motor sürücü, motora bağlı enkoder ve motora bağlı sonsuz salyangoz dişlisinden oluşan ve sızdırmazlık, pozisyon kontrolu ve motorların sağlayacağı yüksek tork bu tasarımla sağlanabilecektir.

### 3.1.4 İticiler

Aracımız üzerinde 8 adet BlueRobotics marka T100 model fırçasız doğru akım motorlu iticiler tercih edilmiştir. Bu motorlar 4 adet z-ekseni, 2 adet x-ekseni ve 2 adet y-ekseni olacak şekilde konumlandırılmıştır. Bu motorların tercih edilmesindeki en büyük neden ise su altındaki yüksek itki güçleri ve verimlidir. Yapılan hesaplamalarda motor modeli ve sayısının araç için yeterli hız ve kabiliyeti vereceği görülmüştür. Aracın yapacağı otonom hareketi ko-  
laylaştırmak için motor pozisyonları bu şekilde belirlenmiştir.

### 3.1.5 Ayarlanabilir Sephiye Sistemi

Aracımızın şasisinin alüminyum temelli olmasından ve üzerindeki parçalar- dan dolayı aracımızın hacim ve ağırlık değerlerini inceledikten sonra yüzelilik için daha fazla hacme ihtiyacı olacağını tespit etti. Aracın tamamının montajı bittikten sonra aracın yüzdürülüğü için gerekli hacmi hesapladık. Yapılan hesaplardan sonra aracın üst kısmında bir arkaya bir öne gelecek şekilde 2 adet 30mm çaplı, 20cm uzunluğunda akrilik tüpün bize yeterli sephiyeyi vereceğini tespit etti. Bu akrilik tüplerin her iki tarafını kapatmak yerine mekanik ekibimiz tarafından tüpün iç yüzeyinde hareket edebilecek flanslar tasarlandı. Tüpün sızdırmazlığını sağlamak için çift O-ring ve flans sistemi kullanıldı. O-ring yuvaları için gerekli hesaplamalar yapıldıktan sonra tüpün iç yüzeyinde hareket edebilecek şekilde flanslar yerleştirildi. Bu flanslar üzerine 10 mmlik delikler açılıp hava giriş-çıkışını sağlayacak hava vanaları konuldu. Bu hava vanaları açıldıktan sonra flans tüp iç yüzeyinde istenilen pozisyonda sabitlenmektedir. Böylece aracımızın sephiyesi dinamik bir hal almıştır.

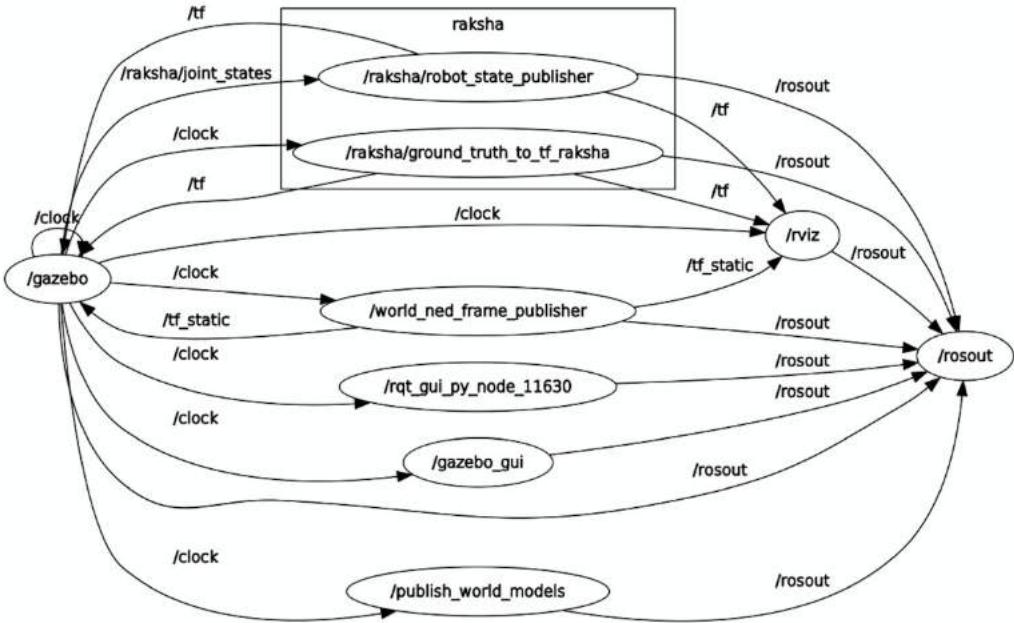
## 3.2 Yazılım

Yazılım ekibi, ilk olarak aracın otonom bir şekilde, yüksek çözünürlüklü atalet ölçüm üniteleri, Doppler hız kaydı, stereo kameralar vb. gibi algılayıcılar ve kameralar ile hareket etmesini amaçlar. Aracın düşük seviye matematiksel modellenmesinden sorumlu olan ve bu modellere dayanarak çalışacak kontrol algoritmalarının geliştirilmesinde görev alır. Ayrıca bu modeller ile bilgisayar ortamında simülasyon(benzetim) yaparak aracın su altındaki davranışlarını yüksek işlem gücü bilgisayarlarında hesaplar ve görevlerin su altında gerçekleştirilmesinden önce bilgisayar ortamında test eder. Bu sayede algoritmalar ve kontrolünde, görev esnasında oluşabilecek hataların önüne geçilmiş olup, istikrarı sağlanmıştır. Ayrıca aracın üzerinde, ana hareket sisteminin yanısıra ayrı modüller olarak torpido fırlatma sisteminin üst seviye yazılımını geliştirir. Aracın üzerindeki işlem gücü yüksek olan bilgisayarlarda görüntü işleme algoritmalarının çalıştırılması ile çevresindeki nesneleri tarayabilecek, stereo kameralar sayesinde bu nesnelerden kaçabilecek ve çarpışmanın önüne gecebilecek yazılımlar geliştirir. Bunun yanında aracın üzerindeki her bir yazılım modülünün yer istasyonuyla hızlı bir şekilde veri kaybını önleyerek haberleşmesini sağlayan iletişim modüllerini geliştirir.

### 3.2.1 Ana Hareket Sistemi

Aracın matematiksel modellenmesi ve algılayıcıların doğru bir şekilde filtrelenmesinden sonra, elde edilen bu verileri baz alarak, üst seviye yazılımlar ile rota hesaplanması, yörünge oluşturulması ve çarpışma önleme sistemlerinin derinlik ölçebilen kameralar ile geliştirilmesi, günümüzün son teknoloji yazılım sistemlerinden biri olan ROS platformu üzerinde yapılmaktadır. Bu platformda, aracın hareketini ve rotasını hesaplayacak olan, ekibimiz tarafından yazılan modüller birbirleri ile topic(başlıklar) üzerinden haberleşerek şekil 4 üzerinde görüldüğü gibi bir ağ oluşturmaktadır.

İşlenecek olan nokta bulutları, bu ağ haritası üzerinden paylaşılarak araç üzerinde çalışan her bir modül için erişilebilir olacaktır. Bu sayede her bir yazılım modülü aracın etrafında bulunan nesnelerden ve çarpışma gerçekleşme riski taşıyan tüm objelerden haberdar olacaktır. Bu temel özelliklerin yanısıra, yazılımımız aracın pil seviyesini kontrol ederek, başlangıç pozisyonuna en kısa şekilde dönebileceği rotayı hesaplayarak, kritik seviyeye yaklaşığında başlangıç pozisyonuna dönmektedir.



Şekil 4: Örnek modül ağı

### 3.2.2 Benzetim (Simülasyon)

Matematiksel modellemeleri bilgisayar ortamında denemek üzere ROS platformu ile verimli çalışabilen ve fizik simülasyonlarını gerçekleştirebilen Gazebo programı üzerinde geliştirilen su altı simülatörlerini kullanarak, aracın gerçek dünyadaki davranışlarını hesaplayıp simüle eder. Bu programlarda, geliştirilen algoritmalarımız test edilir ve olası hatalar bilgisayar ortamında görülmüş olunur. Örnek bir simülasyon ortamı aşağıdaki figürdeki gibidir.

### 3.2.3 Görüntü İşleme

Araç üzerinde görüntü elemanı olarak bir adet sonar, bir adet stereo kamera ve birkaç adet yüksek çözünürlüklü USB kamera kullanılmaktadır. Su altında mesafe ölçümü zorlu bir işlemidir, bu işlem sıkça rastlanan ve genellikle lazer ışınları veya radyo dalgaları kullanan sensörler ile gerçekleştirilemez. Bu nedenle sonar kullanımı tercih edilmiştir. Sonar çarpışma önleme ve rota planlama gibi sistemlerde kullanılacaktır. Stereo kamera'dan elde edilen 3 boyutlu nokta bulutu aracın navigasyonuna yardımcı olacak ve ayrıca zemin haritalamasında kullanılacaktır. Kullanılacak yüksek çözünürlüklü kamer-

alardan gelen görüntüler derin öğrenme modelimize aktarılır ve gerçek zamanlı olarak nesne tanıma sonuçları elde edilir.

Sonar<sup>2</sup> kullanılarak kamera ile tespit edilemeyen uzaklıklardaki nesneleri tanımlamak mümkündür. 100 metre mesafeye kadar ileriye inceleyerek çarpışmayı öngörecek sistem gerçek zamanlı olarak rota planlamasını güncelleyecektir. Ayrıca görüş mesafesi dışındaki nesnelerin takibinin yapılmasını mümkün kılmaktadır. W

Yapay Sinir ağları kullanılarak geliştirdiğimiz derin öğrenme[2] modeli eğitilerek su altında torpido, mayın vb. tehditlerin, ayrıca su altında bulunan enkazların yüksek doğrulukta nesne tanıma algoritmaları kullanılarak tespit edilmesi sağlanır. Stereo kamera ve Sonar'dan gelen nokta bulutu verileri gerekli filtrelerden geçtikten ve kullanılabilir hale getirildikten sonra, aracın taradığı çevrenin ve zeminin haritalandırılması sağlanacak, bu bilgiler hem kaydedilerek hemde gerçek zamanlı bir şekilde yer istasyonu ile paylaşarak incelenebilecektir.

En başarılı ve hızlı yapay sinir ağı kütüphanelerinden biri olan Darknet kütüphanesi üzerinde geliştirilmiş YOLO[3] gerçek zamanlı nesne tanıma sistemi kullanarak geliştirilen yapay sinir ağı modelimiz su altı mayın, torpido, denizaltı ve deniz canlıları görselleri içeren veri kümeleri ile eğitilecektir. Araç üzerindeki yüksek çözünürlülük kamera görüntüleri nesne tanıma sisteminden geçirilerek elde edilen veriler aracın kontrol algoritmasına katkı sağlayacaktır.

Araç üzerindeki stereo kamera<sup>3</sup>'dan elde edilen görüntü işlenerek 20 metre mesafeye kadar ortamın derinlik haritası oluşturulacaktır. Aracın önünde bulunan engellere olan uzaklık hesaplanacaktır. Bu sayede araç gerçek zamanlı olarak rota planlamasını güncelleyecek ve böylelikle çarisma engellenecektir. Elde edilen nokta bulutu verisi filtrelenerek gürültüden arındırılacak ve zemin haritası oluşturulacaktır. Görüntü üzerinde eksen pozisyon takibi ile elde edilen görsel odometri verisi aracın navigasyonuna ve konumlandırılmasına destek sağlayacaktır.

---

<sup>2</sup>[http://www.teledynemarine.com/Lists/Downloads/m900\\_series\\_2d\\_product%20leaflet.pdf](http://www.teledynemarine.com/Lists/Downloads/m900_series_2d_product%20leaflet.pdf)

<sup>3</sup>[https://www.stereolabs.com/zed/docs/ZED\\_Datasheet\\_2016.pdf](https://www.stereolabs.com/zed/docs/ZED_Datasheet_2016.pdf)

### **3.2.4 Haberleşme**

Aracın su altından yer istasyonu ile haberleşmesi bir kaç farklı şekilde gerçekleşebilmektedir. Bunlardan biri kablolu bir şekilde aracın yer istasyonuna bağlı olmasıyla mümkün olur. Bu şekilde aracın bataryaları bir yandan şarj olurken, güç kablosu üzerinden sağlayacak haberleşme bağlantısı gerçekleşen aracın, yer istasyonu ile arasındaki veri akışı hızlı bir şekilde gerçekleşir.

Ayrıca araç yer istasyonu ile direkt bağlantı haricinde, uzun mesafeli görevlerde kullanım kolaylığı açısından yüzeydeki bir şamandıra ile kriptolu akustik dalgalar ile veya kablolu şekilde haberleşebilir, ve ayrıca bu şamandırının sayısı artırılarak şamandıraların birbirleri üzerinden MESH ağının yapısı ile yer istasyonuna veri taşımı sağlanır.

### 3.3 Elektronik Tasarım Gerekçeleri

Elektronik ekibinin temel amacı, aracımızın kontrol sisteminin ve görevlere yönelik parçaların elektronik bakımından hazır hale gelmesini sağlamak ve bu parçaların çalışabilirliğini kontrol etmektir. Aracımızın elektrik aksamı, aracımızda mevcut olan tüm sensörlerin, motorların ve işlemsel parçaların aralarındaki iletişimini sağlamak ve onlara gerekli gücü vermekten sorumludur.

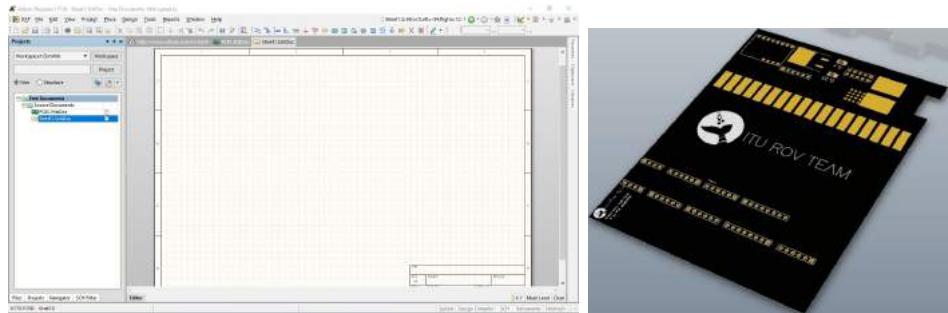
Tablo 1: Pixhawk Özellikleri

Ana işlemcisi 32 bit Arm Cortex M4 tabanlı STM32F427	
ST Micro L3GD20 3 eksenli 16-bit jiroskop	+-(250/500/2000) dps hassasiyet
ST Micro LSM303D 3 eksenli 14-bit ivmeölçer/manyetometre	+-(2/4/8/12) gauss manyetik ve +-(2/4/6/8/16) g ivme hassasiyeti
Invensense MPU 6000 3 eksenli ivmeölçer/jiroskop	+-(250/500/1000/2000)dps hassasiyette ölçüm
MEAS MS5611 barometre	+ - 1.5 milibar hassas ölçüm
14 Adet PWM Çıkışı	

#### 3.3.1 Temel Elektronik Sistemi

Aracımızda kontrolü sağlamak için Pixhawk uçuş kontrol kiti ve hem yüzey ile hem de araç içindeki sistemlerin haberleşmesi ve kontrolü için Nvidia Jetson TX2 kullanılması planlanmaktadır. Pixhawk akademisyenlerden ve profesyonellerden oluşan geniş bir geliştirici kütlesi bulunun açık kaynak kodlu 2009 yıldan beri geliştirilen, hem kara hem hava hem de sualtı araçlarında kullanabilen bir kontrol kitidir. Pixhawk, tablo 1'de de görüldüğü gibi üzerinde bulunan hassas sensörler ve bu sensörlerden elde ettiği verileri anlaşılarak aracın otomatik kontrolünde sağladığı avantajlar ile bir AUV'de kullanılması son derece elverişli bir kontrolcüdür [4]. Aynı zamanda Pixhawk ile üzerinde bulunan sensörlerin haricinde ek olarak üzerinde bulunan diğer sensör ve haberleşme portları ile kullanımına yönelik olarak özelleştirilebilme imkanı da sunuluyor. Aynı zamanda aracımızın elektronik parçalarının düzenli bir şekilde bağlantılarını sağlamak için gerekli olan baskı devreleri (PCB)

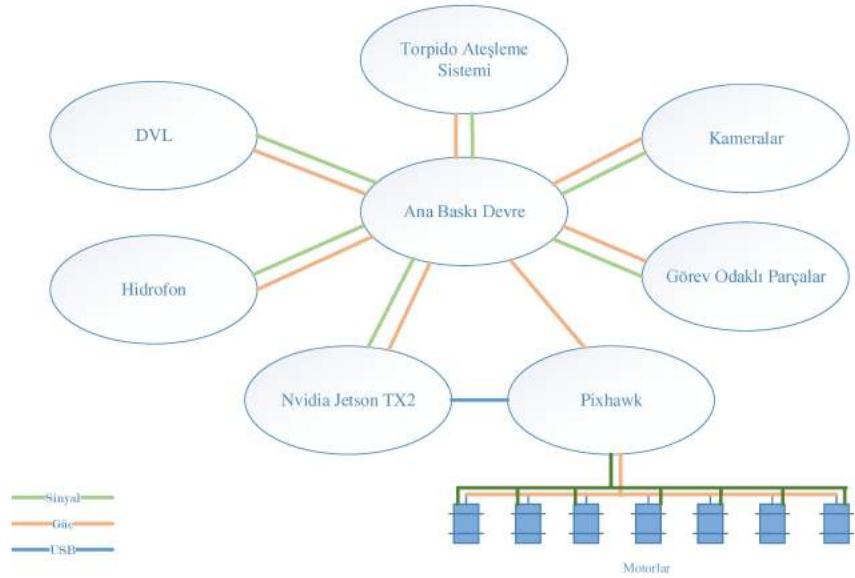
tasarlamak ve bu devrelerin üretimini sağlayarak testlerini yapmak da elektronik ekibinin başlıca görevlerindendir. Devre tasarım programı olarak sağladığı avantajlar sebebi ile Altium kullanılması planlanmaktadır.



Şekil 5: Altium Ekran Görüntüsü ve Örnek Baskı Devre Tasarımı

### 3.3.2 Kameralar ve Ek Elektronik Parçalar

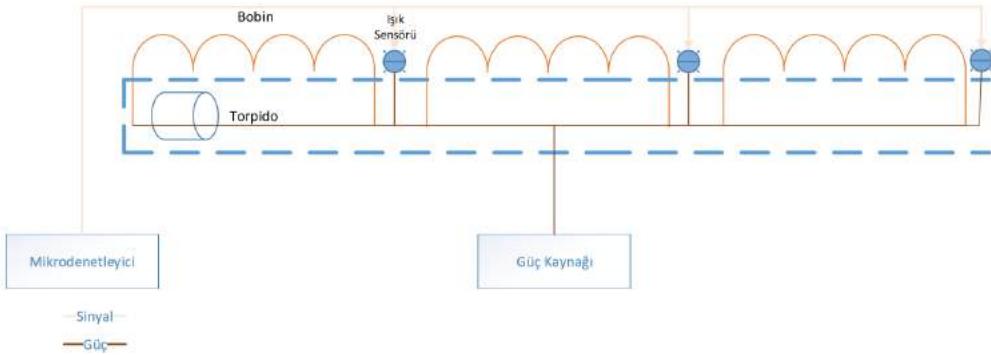
Araçta görevlerin daha kolay bir şekilde yapılmasını sağlamak ve araç üzerindeki kontrolü mümkün olduğunda üst düzeye çıkarmak için stereo kameralanın yanı sıra birden fazla USB kamerasının da kullanılması hedeflenmektedir. Benzer amaçla su içindeki derinlik hesabı için 0.2mBar hassasiyetinde BlueRobotics firmasının bar30 sensörünü ve su altında sıcaklık hesabı için 0.1 santigrat derece hassasiyete sahip aynı firmanın Celsius Fast-Response sensörünün kullanılması planlanmaktadır. Aynı zamanda araçta, otonom su altı araçları için doppler efektinden yararlanarak su altındaki navigasyonu kontrol etmede son derece yüksek bir öneme sahip olan DVL sensörü kullanılması olmazsa olmazlardandır.[5] Araçta kullanılacak DVL sensörü için kompakt bir model olan ve bizim aracımız gibi görece küçük araçlar için daha uygun olan ve bize yeterli hassasiyeti sağlayabilecek Teledyne firmasının Pathfinder modelinin kullanılması diğer alternatiflerine uygun fiyatı sebebi ile kararlaştırılmıştır.



Şekil 6: Elektronik Eleman Şeması

### 3.3.3 Torpedo

Araç için belirlediğimiz hedeflerden bir başkası da aracın küçük boyutlarda torpidoları istediği hedefe ateşleyebilmesidir. Bu amaç doğrultusunda, bize su altında istenilen gücü ve isabet oranını sağlayabileceğini düşündüğümüz sistemler olan bobin temelli ateşleyici ve yay gücüyle çalışan ateşleyicinin çalışmalarına elektronik ekibimiz tarafından başlanmıştır. Ateşleyici, toplamda 40 metre bobin telinin arka arkaya gelen 3 adet bobin oluşturacak şekilde küçük bir alanda sarılması ile oluşturulması planlanmaktadır. Ateşleme sistemi, içinde bulunan alüminyumdan üretilen torpidoya sırasıyla manyetik alan uygulayıp, kullandığımız optik sensörlerden aldığı konum verileri doğrultusunda bu manyetik alanı kapatarak torpidoya hedeflediğimiz ivmeyi kazandırabilecek şekilde tasarlanmıştır. Ateşleyicide istenilen yüksek akım ve gerilimlere ulaşmak için 400 Volt'luk kapasite, anlık akımı 300 Amper'e kadar çıkabilen SCR kullanılması planlanmaktadır. Ateşleyicide kontrolcü olarak ise STMicroelectronics'in gereklili işlem hızını sağlayabildiği düşünülen 72 MHz'lik saat hızına sahip STM32F103C8T6 kontrolcüsü kullanılmaktadır [6].



Şekil 7: Torpedo Şematiği

### 3.3.4 Bataryalar ve Düşük Enerji Modu

Aracın üzerindeki batarya sistemi, 16 V gerilim 40.8 Ah kapasiteye sahip olup, 3840 W çıkış gücüne sahiptir. Yüksek güç çıkışına sahip olan batarya sistemimizin durumunu takip ederek kontrol altında güvenli bir şekilde kullanmasını sağlayan batarya yönetim sistemi geliştirilmiştir [7]. Bu sistem ile birlikte, bataryadan çekilecek olan akımların regüle edilmesi, bataryanın kritik seviyeye ulaşması halinde aracı güvenli bir şekilde uyku moduna geçerek bu modda haftalarca kalarak yer istasyonu ile haberleşmesi sağlanmıştır. Bu sayede bataryanın bitmesi durumunda yer istasyonu ile araç arasındaki bağlantı kesilmez ve eşzamanlı olarak konum verisi alınmaktadır. Batarya yönetim sistemimiz ayrıca bataryayı güvenli bir şekilde şarj ederek, harici bir şarj aletine ihtiyaç duymamaktadır. Şarj işlemi esnasında sıcaklığını ve akımını kontrol edip olası bir tehlikeyi önune geçerek, hem çevreyi hem de sistemi korur. Aracın kalbini oluşturan bu sistem, araç çalışmaması dahi sürekli aktif olup, çok düşük bir güç harcayarak 7/24 aralıksız batarya durumunu kontrol etmektedir. Günümüzün son teknoloji ürünü ve verimi en yüksek olan Li-Ion piller, kullanıldıkça kimyasal davranışlarının değişmesinden ötürü, 7/24 çalışan batarya yönetim sistemimizin, bataryadan çekilen akımı %100 den %0 a kadar ölçmesi ile birlikte, bataryanın kapasitesinin azalıp azalmadığını kontrol ederek, verimsizlemeye başlaması durumunda değişim için sinyal verir. Çevre dostu olan batarya sistemimiz, uzun yıllar kullanılabilir, en güvenli ve uzun ömürlü olması için özellikle seçilmiştir.

## Ek-1: Bütçe Planı

MEKANİK İHTİYAÇLARI		
ÜRÜN	KULLANIM YERİ	MALİYET
7 m 20x20 Sigma Profil	Şasi	1.000 TL
1 m <sup>2</sup> Alüminyum Plaka	Motor ve LED montaj parçası(Lazer)	200 TL
Kelebek Somun ve Civatalar	Şasi montaj	500 TL
8 Adet İtici Motor	Araç hareket sistemi	10.000 TL
Alüminyum Blok	Kamera ve LED hazneleri(CNC için)	1.000 TL
2 Adet 6 inç Akrilik Tüp	Piller ve elektronikler haznesi	1.000 TL
3B Baskı Parçalar	Tüp iç-dış montaj elemanları	1.200 TL
Tüp ve Şasi Bağlantı Rodları	Tüp ve şasiyi birleştirme elemanları	1.500 TL
2 Adet 2 inç Akrilik Tüp	Yüzeylilik tüpleri	250 TL
100 Adet Penetrator	Kablo sızdırmazlık parçaları	800 TL
Epoksi	Kablo sızdırmazlık	500 TL
Molykote	Oring yüzeyi sızdırmazlık	1.000 TL
Alüminyum Silindirik Blok	Flanş üretimi	800 TL
Ceşitli Boylarda O-ringler	Flanş ve tüp sızdırmalığı	500 TL
Ceşitli Ölçülerde Somun-Civata	Bağlantı elemanları	500 TL
Lazer Kesim ve CNC	Şasi ve parça üretimi	15.000 TL
Plexiglass	Tüp içi ana montaj parçaları	200 TL
Su Altı Konnektörleri	Tüple dış ortam kablo bağlantıları	12.000 TL
PVC Boru	Torpedo prototip için	50 TL
Alüminyum Levha	Robot kol üretimi için	200 TL
Basınç Tankı	Sızdırmaz kapların testleri için	700 TL
Tüp Soğutma Sistemi	Tüp içi soğutma için	200 TL
TOPLAM MEKANİK MALİYET		49.100 TL

ORGANİZASYON İHTİYAÇLARI		
İHTİYAÇ	KULLANIM YERİ	MALİYET
Uçak Biletleri ve Konaklama	Ulaşım ve Konaklama	150.000 TL
Takım Dosyası ve Brosür	Fuar ve etkinlik alanlarında tanıtım	5.000 TL
Kıyafet Baskısı	Takım Tişörtleri	5.000 TL
Afiş Basımları	Ekip üye alımı ve tanıtım	2.500 TL
Takım Promosyon Ürünleri	Yarışma Sunumu İçin Üretilen İçerikler	2.500 TL
TOPLAM ORGANİZASYON MALİYET		165.000 TL

Ek-1: Bütçe Planı

ELEKTRONİK İHTİYAÇLARI		
ÜRÜN	KULLANIM YERİ	MALİYET
PCB-PDB basıtı	Elektronik bağlantılar	1.200 TL
Akım ve voltajmetre	Akım ve voltaj değerleri ölçümü	500 TL
Elektrik motoru	Torpido ve yerli itici motor	1.000 TL
2 Adet LED ve Sürücüsü	LED üretimi	150 TL
4s12p Pil Bloğu	Aracın güç kaynağı	1.200 TL
Bobin Teli	Torpido prototip için	50 TL
Pil Bloğu	Torpido prototip için	250 TL
Arduino	Torpido prototip için	200 TL
STM Modülü	Araç PID çalışmaları	750 TL
<b>TOPLAM ELEKTRONİK MALİYET</b>		<b>5.300 TL</b>

YAZILIM İHTİYAÇLARI		
ÜRÜN	KULLANIM YERİ	MALİYET
DVL Sensörü	Navigasyon sistemi	117.000 TL
4 Adet Hidrofon	Navigasyon sistemi	5.000 TL
Nvidia Jetson TX2	Ana bilgisayar	7.500 TL
Pixhawk	Sürüş bilgisayarı	1.200 TL
ZED Stereo Kamera	Yüksek verimle görüntü işleme	5.000 TL
4 Adet USB Kamera	Aracın etrafından görüntü alma	2.000 TL
Sıcaklık-Basınç Sensörleri	Su altı sıcaklık-basınç ölçümü	400 TL
<b>TOPLAM YAZILIM MALİYET</b>		<b>138.100 TL</b>

<b>TOPLAM MALİYET</b>	<b>357.500 TL</b>
-----------------------	-------------------

**NOT: TÜM MALİYETLER GÜNCEL DÖVİZ KURLARINA GÖRE HESAPLANMIŞTIR.  
ÖZELLİKLE DÖVİZE DAYALI MALİYET KALEMLERİNDE DEĞİŞİKLİKLER  
MEYDANA GELEBİLECEKTİR.**

Ek-1: Bütçe Planı(Devamı)

## Kaynakça

- [1] Parker, *Parker O-ring Handbook*. Parker Hannifin Corporation, 2007.
- [2] L. Jin and H. Liang, “Deep learning for underwater image recognition in small sample size situations,” pp. 1–4, Jun. 2017. doi: 10.1109/OCEANSE.2017.8084645.
- [3] J. Redmon and A. Farhadi, “Yolov3: An incremental improvement,” *arXiv*, 2018.
- [4] L. Meier, P. Tanskanen, F. Fraundorfer, and M. Pollefeys, “Pixhawk: A system for autonomous flight using onboard computer vision,” in *2011 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, May 2011, pp. 2992–2997. doi: 10.1109/ICRA.2011.5980229.
- [5] C.-m. Lee, S.-W. Hong, and W.-J. Seong, “An integrated dvl/imu system for precise navigation of an autonomous underwater vehicle,” in *Oceans 2003. Celebrating the Past ... Teaming Toward the Future (IEEE Cat. No.03CH37492)*, vol. 5, Sep. 2003, 2397 Vol.5-. doi: 10.1109/OCEANS.2003.178288.
- [6] B. Skala and V. Kindl, “Electromagnetic coil gun – construction and basic simulation,” pp. 87–93, Jan. 2014.
- [7] A. M. Bradley, M. Feezor, H. Singh, and F. Yates Sorrell, “Power systems for autonomous underwater vehicles,” vol. 26, pp. 526–538, Nov. 2001.