TEKNOFEST

HAVACILIK, UZAY VE TEKNOLOJİ FESTİVALİ

İNSANSIZ SU ALTI SİSTEMLERİ YARIŞMASI

KRİTİK TASARIM RAPORU

TAKIM ADI: AKÇA 1892

TAKIM ID: T3-19122-166

YAZARLAR: Furkan Yılmaz, Halid Çetinkaya, Uygar Osman Gül, Ahmet Cengiz

DANIŞMAN ADI: Dr. Öğr. Üyesi Zeynep Garip

İÇİNDEKİLER

İÇİNDEKİLER i
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ ii
ŞEKİLLER LİSTESİ iii
TABLOLAR LİSTESİ v

1. RAPOR ÖZETİ 1

2. TAKIM ŞEMASI 2
2.1. Takım Üyeleri 2
2.2. Organizasyon Şeması ve Görev Dağılımı 3

3. PROJE MEVCUT DURUM DEĞERLENDİRMESİ 4

4. ARAÇ TASARIMI 6
4.1. Sistem Tasarımı 6
4.2. Aracın Mekanik Tasarımı 7
4.2.1. Mekanik tasarım süreci 7
4.2.2. Malzemeler 10
4.2.3. Üretim yöntemleri 12
4.2.4. Fiziksel özellikler 12
4.3. Elektronik Tasarım, Algoritma ve Yazılım Tasarımı 16
4.3.1. Elektronik tasarım süreci 16
4.3.2. Algoritma tasarım süreci 24
4.3.3. Yazılım tasarım süreci 28
4.4. Dış Arayüzler 29

5. GÜVENLİK 33

6. TEST 35

7. TECRÜBE 38

8. ZAMAN, BÜTÇE VE RİSK PLANLAMASI 39

9.ÖZGÜNLÜK 44

KAYNAKÇA 48
ÖZGEÇMİŞ 50

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

x, y, z,	: Koordinat sistemi eksenleri
RPM	: Dakikadaki devir sayısı
KV	: Fırçasız motorun, 1 volt için 1 dakikada çevireceği devir
kg	: Kilogram
m	: Metre
m^3	: Metre küp
mm	: Milimetre
mm^3	: Milimetre küp
GPa	: Basınç birimi (Gigapascal)
MPa	: Basınç birimi (Megapaskal)
g	: Kütle çekimi ivmesi
s^2	: Saniye kare
N	: Newton
F_K	: Kaldırma kuvveti
W	: Cismin havadaki ağırlığı
T	: Cismin sudaki ağırlığı
ρ_a	: Akışkan yoğunluğu
ρ_c	: Cismin yoğunluğu
$\forall_b$	: Cismin suda batan hacmi
$\forall_b$	: Cismin hacmi
W	: Güç birimi (Watt)
V	: Potansiyel birimi (Volt)
A	: Amper
DC	: Doğru akım
AC	: Alternatif akım
STM32	: 32 – bit mikrodenetleyici entegre devreler ailesi
PWM	: Sinyal genişlik modülasyonu
ROS	: Robot Operation System

TEKNOFEST HAVACILIK, UZAY VE TEKNOLOJİ FESTİVALİ

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Organizasyon şeması 3
Şekil 3.1. Tasarımlar (a) eski tasarım (b) yeni tasarım 4
Şekil 4.1. Araç tasarım blok şeması 6
Şekil 4.2. Sistem tasarımı blok şeması 6
Şekil 4.3. İtici konfigürasyonları [1]: a) 3 iticiye sahip; b) 4 iticiye sahip; c) 6 iticiye sahip; d) 8 iticiye sahip 7
Şekil 4.4. Su altı aracı motor konfigürasyonu 7
Şekil 4.5. Kontrol birimi iskeleti sabitleme sistemi 8
Şekil 4.6. Prototip tasarım 9
Şekil 4.7. Su altı aracı tasarımı deformasyon analizi 9
Şekil 4.8. Prototip tasarım 11
Şekil 4.9. Su altı aracı tasarımı boyutları: a) ön görünüş; b) ön görünüşün tutucu kol ekli durumu, c) yan görünüş; d) yan görünüşün tutucu kol ekli durumu; e) üst görünüş; f) üst görünüşün tutucu kol ekli durumu 14
Şekil 4.10. Statik durumdaki su altı aracının su içerisindeki durum 15
Şekil 4.11. Su altı aracı elektronik şeması 16
Şekil 4.12. Güç birimi 17
Şekil 4.13. Kumanda birimi 17
Şekil 4.14. Kontrol birimi 18
Şekil 4.15. Raspberry pi 4 19
Şekil 4.16. 16-kanal pwm / servo motor kontrol kartı 19
Şekil 4.17. Dc-dc konvertör modülü 20
Şekil 4.18. Raspberry pi kamera modülü gece görüşlü 5mp 20
Şekil 4.19. Adafruit bno055 ımu 21
Şekil 4.20. Bme280 nem, sıcaklık ve basınç sensörü 21
Şekil 4.21. Goolrc 45a esc (elektronik hız kontrolcüsü – motor sürücü) 22
Şekil 4.22. Jsn-sr04t su geçirmez ultrasonic mesafe ölçer sensörü 23
Şekil 4.23. Ana algoritma akış diyagramı 24
Şekil 4.24. Kontrol algoritması akış diyagramı 25
Şekil 4.25. Navigasyon algoritması akış diyagramı 26
Şekil 4.26. Güdüm algoritması akış diyagramı 27
Şekil 4.27. Guı – dış arayüz tasarımı 30
Şekil 4.28. Su altı aracı ve kumanda birimi prototipi 31
Şekil 6.1. Su altı aracı simülasyon tanıtımı: a) urdf; b) rviz sensör eklenmesi, c) motor tanımlama; d) motor kontrolü 35
Şekil 6.2. Su altı aracı gazebo ve rviz simülasyon: a) gazebo; b) rviz, c) kamera bilgisi; d) sonar bilgisi 36
Şekil 6.3. Su altı aracı simülasyon düğüm bağlantısı 37
Şekil 7.1. Kameranın 3 farklı çembersel cismi aynı anda algılaması 38
Şekil 8.1. Yarışma zaman çizelgesi 39
Şekil 9.1. Özgün tutucu kol tasarımı prototipi 44
Şekil 9.2. Özgün pervane tasarımı prototip çalışmaları 44
Şekil 9.3. Kontrol birimi ve hazırlanan tek parça kontrol kartı 45
Şekil 9.4. Sonar bilgi ekranı 45

Şekil 9.5. Kumanda birimi prototipi..... 46
Şekil 9.6. Kumanda biriminin bileşenlerine ayrılmış görüntüsü..... 47
Şekil 9.7. Kumanda biriminin kullanım dışı durumu..... 47

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 2.1. Görev dağılım çizelgesi 3
Tablo 3.1. Raspberry pi teknik özellik karşılaştırması [14] 5
Tablo 4.1. Goolrc yükseltme 3930kv fırçasız motor özellikleri [6] 10
Tablo 4.2. Su altı araç yapılarında kullanılan bazı metal ve bazı plastiklerin özellikleri [9] 12
Tablo 4.3. Su altı aracı maksimum boyut bilgileri 12
Tablo 4.4. Su altı aracı ağırlık bilgileri 13
Tablo 4.5. Su altı aracı hacim bilgileri 13
Tablo 4.6. Raspberry pi 4 teknik özellikleri [14] 19
Tablo 4.7. Raspberry pi kamera modülü teknik özellikler [14] 20
Tablo 4.8. Goolrc 45a esc (elektronik hız kontrolcüsü – motor sürücü) özellikleri [6] 22
Tablo 4.9. Kamera ve sonar cihazı servo motor özellikleri 22
Tablo 4.10. Gripper servo motor özellikleri 23
Tablo 4.11. Jsn-sr04t su geçirmez ultrasonic mesafe ölçer sensörü özellikleri 23
Tablo 8.1. Zaman planlaması 40
Tablo 8.2. Bütçe planlaması 41
Tablo 8.3. Risk planlaması 42

TEKNOFEST
HAVACILIK, UZAY VE TEKNOLOJİ FESTİVALİ

1. RAPOR ÖZETİ

Anahtar kelimeler: İnsansız su altı aracı, su altı aracı, uzaktan kumandalı su altı aracı, otonom su altı aracı, ROV, AUV

Dünyanın dörtte üçünü denizlerin ve okyanusların oluşturmasına rağmen insanlar tarafından kara ve atmosfer kadar ilgi görmemektedir. Bunun bir sonucu olarak okyanus, deniz ve göllerin derinlikleri hakkında hala daha yeterli bilgilere sahip olunamamaktadır. Derinliklerde saklı olan farklı organizmalar ve doğal kaynaklar keşfedilememekte ve gün yüzüne çıkarılamamaktadır.

Su altında ulaşılamayan yerlere güvenliği de göz önünde bulundurarak ulaşmak ve incelemelerde bulunmak amacı ile uzaktan kumandalı su altı keşif araçları geliştirilmiştir. Geçen zaman, geliştirilen bu insansız araçların insan bulunduran araçlardan daha güvenli olduğunu ve zaman içinde daha gelişeceğini ortaya çıkarmaktadır.

Bu çalışmada, okyanus, deniz, göl gibi yerlerde suyun altında görev yapacak uzaktan kumandalı ve otonom su altı aracı çalışması gerçekleştirilmiştir.

Su altı aracının mekanik, elektronik ve yazılım süreçleri tasarlanmış ve gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen su altı aracında tasarımının alt kısmına istenen görevlerin yerine getirilmesini sağlayacak olan tutucu kol eklenmiştir. Gerçekleştirilen su altı aracı joystick veya arayüz yardımıyla uzaktan kumandalı veya otonom seçeneğine göre çalışarak belirli bir açıya yönelme, belirli bir derinliğe inme, yanaşma ve seyir gibi temel dinamik hareketleri yapabilmektedir

Su altı aracının mekanik tasarımı üç boyutlu tasarım programı CATIA ortamında gerçekleştirilmiştir. Çalışmada kontrol kartı olarak çalışmanın amacına uygun olacak Raspberry Pi 4 tercih edilmiştir.

Su altı aracının bileşenlerini uzaktan kontrol etmeyi sağlamak amacıyla kontrol kartı Raspberry Pi 4 üzerine açık kaynak kodlu ROS (Robot Operation System) yazılımı yüklenmiştir. Katılacağımız insansız su altı sistemleri yarışmasının uzaktan kontrolü görevler ve otonom kontrolü görevler olmak üzere iki kategorisi vardır. Uzaktan kontrollü görevlerde su altı aracından alınacak olan kamera ve sensör verileri ROS yazılımı kullanılarak ethernet haberleşme protokolü aracılığı ile kontrol bilgisayarına gönderilmiştir. Otonom kontrollü görevde ise veriler Raspberry Pi 4 kontrol kartında işlenerek gerçekleştirilmiştir. Aracın hareket kabiliyetini veren ve denge kontrolünü sağlayan iticiler 6 adet fırçasız DC motorla sağlanmıştır. Ayrıca denge sensöründen alınan bilgiler aracın denge kontrolünde itici hareketlerinde referans olarak kullanılmıştır.

Su altı aracından istenen hareketleri sağlayabilmek amacıyla geliştirilen algoritmalar OpenCV kütüphanesi kullanılarak Python dilinde gerçekleştirilmiştir. Araç uzaktan kontrol ediliyor ise kontrol kartından, kontrol bilgisayarına motor hızını belirleyen PWM ve motorların çalışma yönünü belirleyen değerler gönderilmiş ve ekranda gösterilmiştir.

2. TAKIM ŞEMASI

2.1. Takım Üyeleri

1. Dr. Öğr. Üyesi Zeynep Garip – Takım Danışmanı
    - Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi
    - Teknoloji Fakültesi
    - Bilgisayar Mühendisliği Bölümü

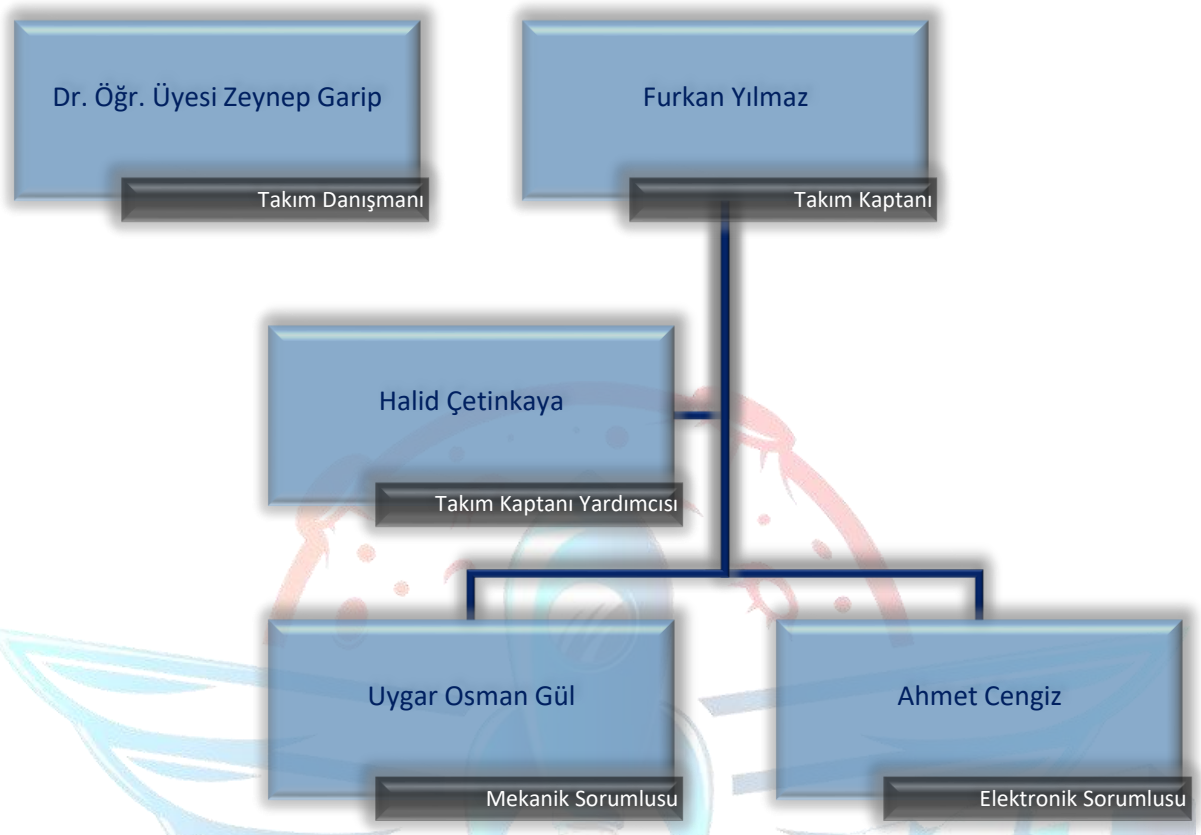
2. Furkan Yılmaz – Takım Kaptanı
    - Sakarya Üniversitesi
    - Teknoloji Fakültesi
    - Mekatronik Mühendisliği
    - Lisans – 4. Sınıf

3. Halid Çetinkaya – Takım Kaptanı Yardımcısı
    - Sakarya Üniversitesi
    - Teknoloji Fakültesi
    - Mekatronik Mühendisliği
    - Lisans – 4. Sınıf

4. Uygar Osman Gül – Mekanik Sorumlusu
    - Sakarya Üniversitesi
    - Siyasal Bilimler Fakültesi
    - Çalışma Ekonomisi ve Endüstri İlişkileri
    - Lisans – 4. Sınıf

5. Ahmet Cengiz – Elektronik Sorumlusu
    - Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi
    - Teknoloji Fakültesi
    - Mekatronik Mühendisliği
    - Yüksek Lisans – 1. Sınıf

2.2. Organizasyon Şeması ve Görev Dağılımı



Şekil 2.1. Organizasyon şeması

Tablo 2.1. Görev dağılım çizelgesi

No	Kişi	Ünvanı	Görevi
1	Furkan Yılmaz	Takım Kaptanı	Raporların düzenlenmesini gerçekleştirmektedir. Kumanda ünitesi başında bulunmaktadır. Dış arayüz üzerinden algılayıcılardan gelen bilgileri kontrol eder.
2	Halid Çetinkaya	Takım Kaptanı Yardımcısı	Dış kurumlara karşı takımı temsil eder. Malzeme tedarikini sağlamaktadır ve satın alımları gerçekleştirmektedir. Havuz başında bulunmaktadır.
3	Uygar Osman Gül	Mekanik Sorumlusu	Yarışma ve duyuru takibi yapmaktadır. Kumanda ünitesi başında bulunmaktadır. Aracın manuel kontrolünden sorumludur.
4	Ahmet Cengiz	Elektronik Sorumlusu	Raporların düzenlenmesini gerçekleştirmektedir. Havuz başında bulunmaktadır. Acil durum ekibinde bulunur.

3. PROJE MEVCUT DURUM DEĞERLENDİRMESİ

Hazırladığımız ön tasarım raporunu kendi aramızda değerlendirdiğimiz zaman su altı aracının mekanik tasarımda ve kontrol kartında değişiklikler yapılmasına karar vermiş bulunmaktayız.

Mekanik değişiklik kısmında ana gövde tasarımı ve kontrol birimi iskeleti birlikte değerlendirilmiştir. Değerlendirme sonrasında aşağıdaki nedenlerden dolayı tasarım değişikliğine gidilmiştir.

- Araç gövdesine kontrol birimi iskeletinin eklenmesi sonucunda dik yüksekliğin fazla olması ve dik yüzeye çarpan suların aracın dengesini bozabilme ihtimali.
- Araç hareketi sırasında su direncinin fazla olması ile enerji kaybına sebep olması.
- Aracın yerden nesne alması için yere sabitlenmesi gerektiği durumlarda, aracın üzerinde duracağı ayakların araç gövdesine konumlandırılamaması.
- Kontrol birimi iskeleti içerisinde kullanılmaz alanların oluşması.
- Aracın üç boyutlu baskı yöntemi ile üretileceği düşünüldüğünde dairesel tasarımlarda baskı sırasında oluşabilecek sıkıntıların bulunması ve araç dayanımını ve dengesini bozabilmesi.

Aracın ön tasarım raporunda ortaya konan mekanik tasarımı ve yeni tasarım Şekil 3.1.'de gösterilmektedir.

a b

Şekil 3.1. Tasarımlar (a) eski tasarım (b) yeni tasarım

Şekil 3.1.'de kontrol birimi iskeleti silindir prizma tasarımından dikdörtgenler prizması şeklinde değiştirilmektedir. Şekil 3.1b'de gösterilmekte olan tasarım hakkında detaylı bilgiler raporda bulunan "Mekanik Tasarım Süreci" başlığı altında anlatılmaktadır.

Aracın kontrol kartındaki değişiklik nedeni ise "Ön Tasarım Süreci"nde su altı aracında kullanılması planlanan Raspberry Pi 3 B+ ürününün 1GB RAM bulundurmasının işlem sürelerinde gecikmelere yol açabileceği değerlendirilmiştir. Görüntü işleme ve verilerin işlenmesi su altı aracı üzerinde yapılacağı için kartın yetersiz kalmaması ve oluşabilecek gecikme sorunlarını ortadan kaldırmak için daha hızlı CPU ve GPU desteği ile de dikkat çeken Raspberry Pi 4 4GB ürününe geçilmesi kararlaştırılmıştır.

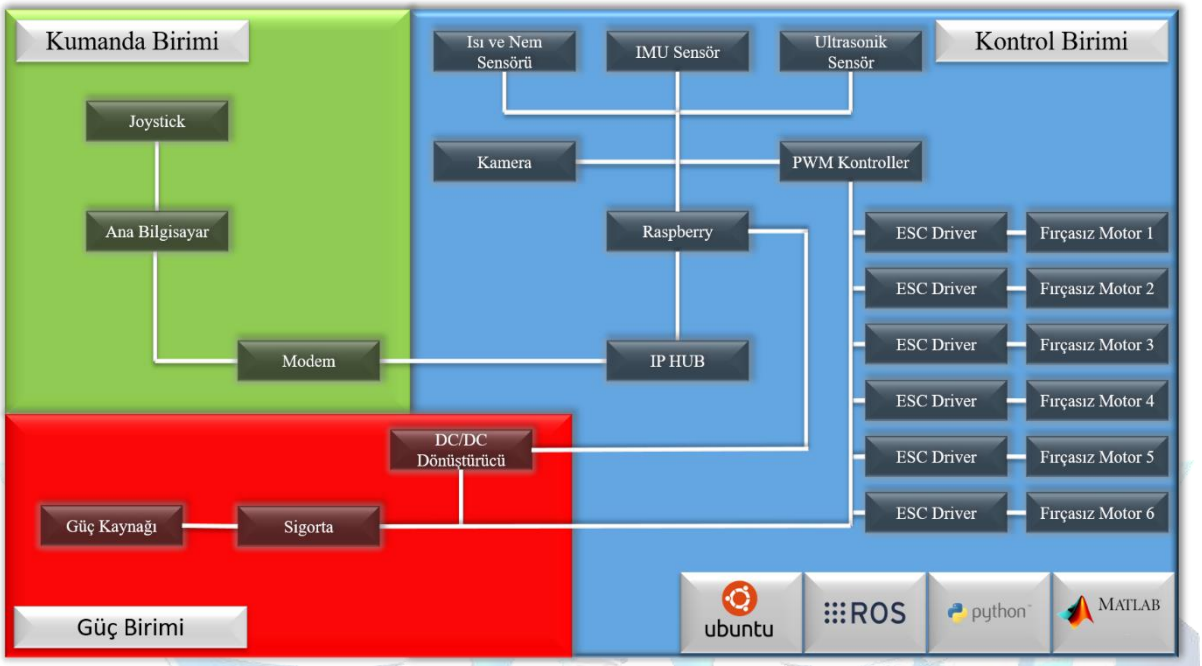
Tablo 3.1. Raspberry Pi teknik özellik karşılaştırması [14]

Özellik	Raspberry Pi 3 B+	Raspberry Pi 4
İşlemci	Dört Çekirdek 64-bit 1.4GHz A53/ARMv8	1.5 GHz dört çekirdekli ARM Cortex-A72 CPU
Ram	1GB LPDDR2 SDRAM	4GB LPDDR4 SDRAM
Wireless LAN	2.4GHz/5.0GHz IEEE 802.11.b/g/n/ac	2.4GHz/5.0GHz IEEE 802.11.b/g/n/ac
Ethernet	Gigabit Ethernet over USB2.0 (max. 300MPS)	True Gigabit Ethernet
Bluetooth	Bluetooth 4.2, BLE	Bluetooth 5.0, BLE
GPIO	Genişletilmiş 40-pin GPIO başlığı	Genişletilmiş 40-pin GPIO başlığı
Hafıza	Micro SD Port	Micro SD Port
Video	HDMI(x1), DSI ekran portu(x1), CSI kamera portu(x1)	HDMI(x2), DSI ekran portu(x1), CSI kamera portu(x1)
Ses	4 kutuplu 3.5mm ses + kompozit video portu	4 kutuplu 3.5mm ses + kompozit video portu
USB	4 adet USB 2.0 + MikroUSB 5V/2,5A güç girişi	USB 2.0 (x2), USB 3.0 (x2)
Multimedya	1080p30, OpenGL 2.0	4kp60, OpenGL 3.0
Güç Girişi	5V/2,5A	5V/3A
Boyutlar	(68,63 x 94,09 x 26,63) mm	(68,63 x 94,09 x 26,63) mm

TEKNOFEST
HAVACILIK, UZAY VE TEKNOLOJİ FESTİVALİ

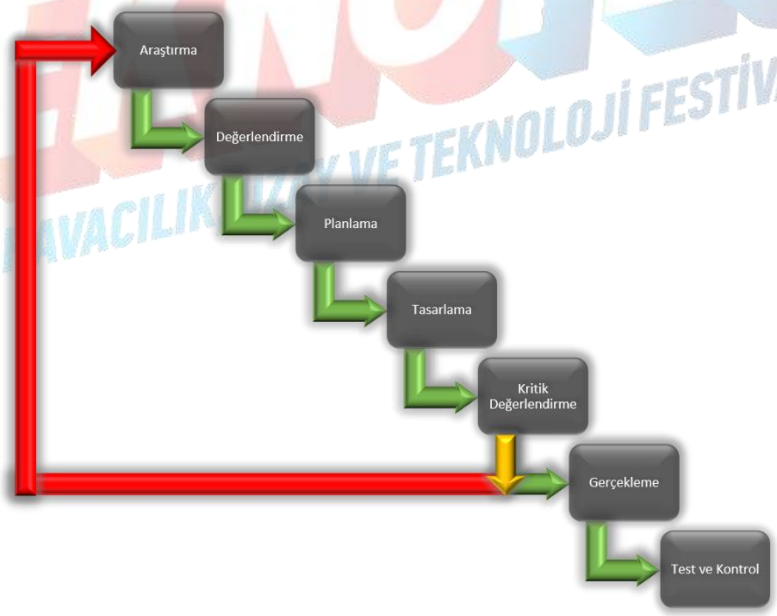
4. ARAÇ TASARIMI

Aracın mekanik tasarımı, elektronik tasarımı, algoritma ve yazılım tasarımı olmak üzere iki başlıkta incelenmektedir. Aracın tasarım sürecini içeren bileşenler tek bir blok şema içerisinde Şekil 4.1.'de gösterilmektedir.



Şekil 4.1. Araç tasarım blok şeması

4.1. Sistem Tasarımı



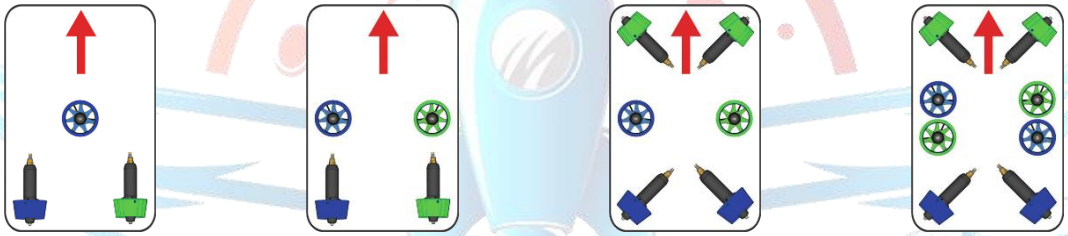
Şekil 4.2. Sistem tasarımı blok şeması

4.2. Aracın Mekanik Tasarımı

4.2.1. Mekanik tasarım süreci

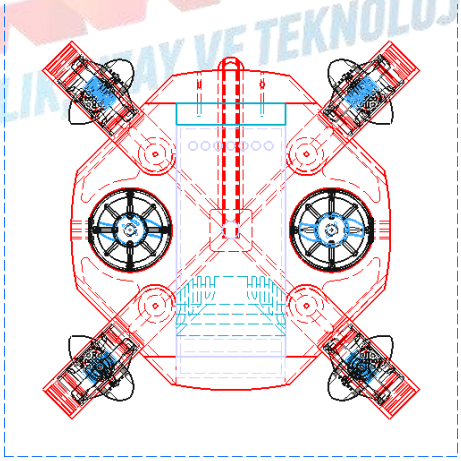
Su altı araç sistemleri üzerinde önceden gerçekleştirilen araştırmalar ve tasarımlar üzerinde yapılan incelemeler sonrasında, tasarlayacağımız su altı aracı için alternatif örnekler değerlendirmeye alındı. Su altı aracının yönlendirilmesi konusunda motorların yerleştirileceği noktalar ve çalışma prensipleri üzerinde incelemeler gerçekleştirildi.

Şekil 4.3.'te bulunulan konfigürasyon incelemelerinde mavi renkli iticiler saat yönünde, yeşil renkli iticiler ise saat yönünün tersine iş yapmaktadır. Şekil 4.3a.'da x ve z doğrultularında hareket sağlamakta ve z etrafında moment oluşturmaktadır. Şekil 4.3b.'de Şekil 4.3a.'ya ek olarak x ekseni etrafında moment oluşmaktadır. Şekil 4.3c.'de y etrafında tork bulunmadığı için araç mekaniksel olarak tam verimli çalıştırılamamaktadır. Şekil 4.3d.'da araç hem tam tahrikli hem de yedeklidir [1].



Şekil 4.3. İtici konfigürasyonları [1]: a) 3 İticiye sahip; b) 4 İticiye sahip; c) 6 İticiye sahip; d) 8 İticiye sahip

Ana tasarım olarak 6 iticiden oluşacak şekilde, Şekil 4.4.'te belirtildiği gibi gerçekleştirilmektedir. Ana tasarım ölçütleri kararlaştırılan su altı aracının iskelet tasarımı CATIA programı yardımı ile yapılmaktadır.



Şekil 4.4. Su altı aracı motor konfigürasyonu

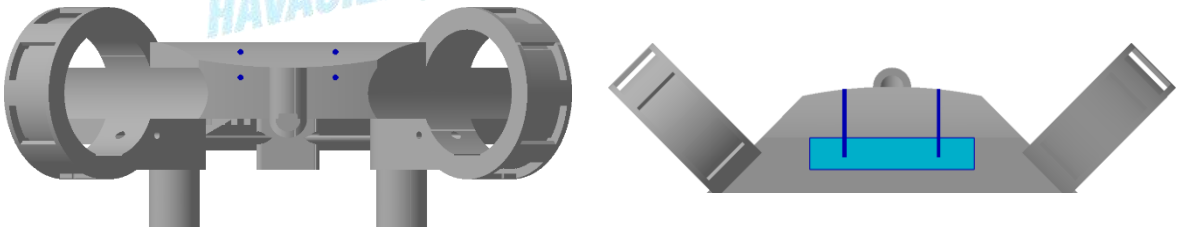
Su altı aracının kontrol birimini içerisinde bulunduracak modül tasarımı için ana gövde üzerine sızdırmazlık durumu da göz önünde bulundurularak dikdörtgenler prizması şeklinde pleksi malzeme kullanılmaktadır. Kullanılan pleksi malzemelerin dikdörtgenler prizması şekline getirilmesi sırasında parçalar arasında su sızdırmaz kauçuk malzeme kullanılmakta ve akvaryum silikonu ile parçalar birleştirilmektedir. Aracın güç kablosu girişi, haberleşmeyi sağlayacak veya iticilere gidecek kablo giriş – çıkışları aracın üst kısmına konumlandırılmaktadır. Gerekli konnektör sayısına göre üst kapak tasarlanmakta ve CNC kesim ile üretilmektedir.

Pinyon dişli olarak adlandırılan bir silindirik dişli ile beraber çalışarak, genellikle dairesel hareketi doğrusal harekete dönüştürme amaçlı olarak kullanılan, üzerine düz veya helis dişler açılmış çubuklara kremayer dişli denmektedir [3].

Aracın verilen görevleri gerçekleştirmede kullanılacak tutucu kol tasarımı kayış – kasnak mekanizması ve pinyon dişli – krameyer dişli mekanizmasından oluşmaktadır. Tahriki servo motordan alarak, kayış – kasnak mekanizması ile mile hareket aktarımı sağlanmaktadır. Diğer ucu pinyon dişli görevi gören mil, kremayer dişliye hareket yaptırmaktadır. Gerçekleşen hareket aktarımları ile dairesel hareket, doğrusal harekete çevrilmektedir. Hareket sağlanan tutucu kol cismi tutacak yere gelene kadar kapanarak, mevcut cismi tuttuktan sonra hareketi sonlanacaktır.

Pervane tasarımı Emre Güngör'ün tez çalışmasından [4] ve Fahri Çelik ve diğ. [5] makalesinden faydalanılarak incelenen farklı tasarımlar sonucunda araçta kullanılmakta olan pervane tasarımları tarafımızdan gerçekleştirilmektedir.

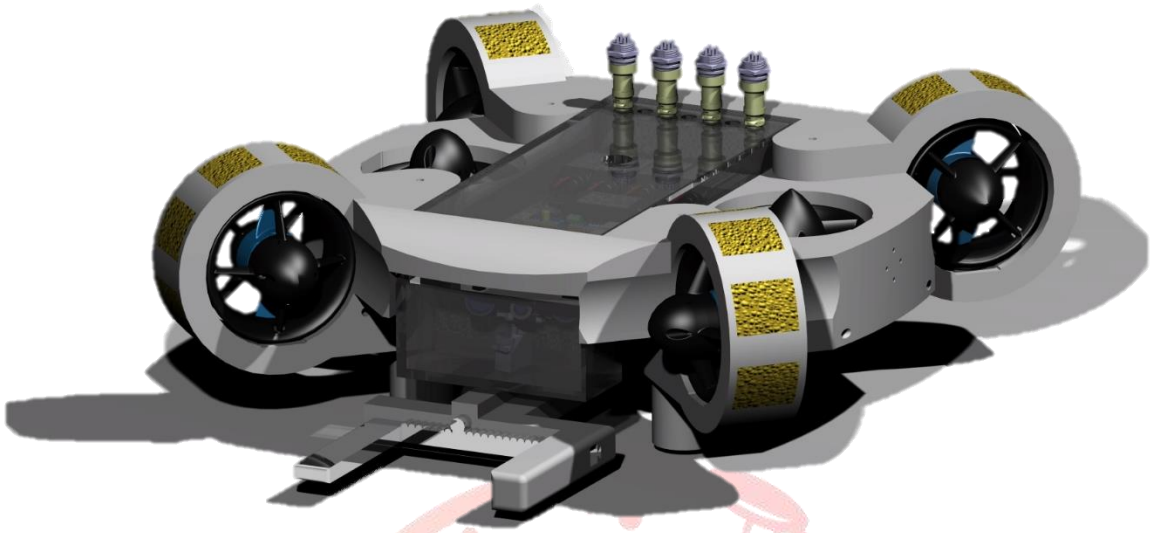
Tasarım sürecinde geliştirilen ve hazır olarak alınan parçaların montaj sürecinde kontrol birimi iskeletini, ana gövdeye sabitlemek için üç boyutlu yazıcıdan sabitleme parçası üretilmektedir. Şekil 4.5.'da açık mavi renk ile gösterilen birinci parça, kontrol birimi yerine yerleştirildikten sonra temsili olarak lacivert renk ile gösterilen vidalar ile gösterildiği gibi kontrol birimi iskeletinin arka tarafına yerleştirilerek kontrol birimi iskeleti yerine sabitlenmektedir. Herhangi bir su sızıntısı veya arıza durumunda prizmatik olarak tasarlanan kontrol birimi iskeletinin modüler ve yerinden kolay çıkarılabilen yapıda olması sağlanmaktadır.



Şekil 4.5. Kontrol birimi iskeleti sabitleme sistemi

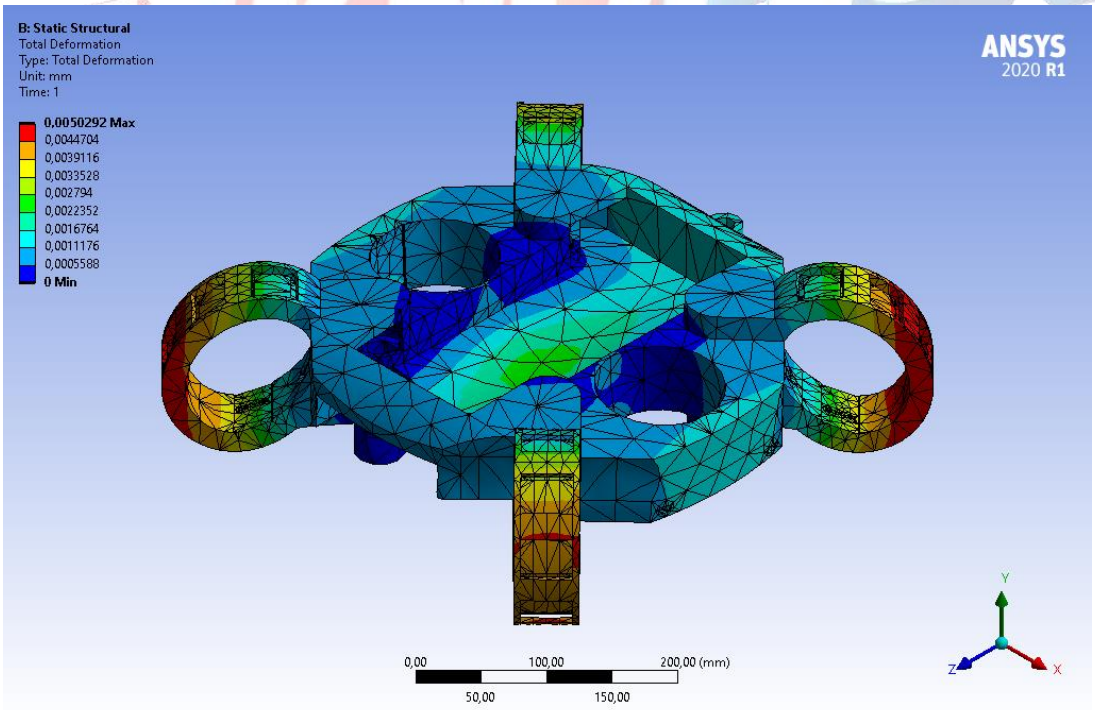
Motor ve pervanelerin montajı aşamasında pervaneler içerisinde hareketini gerçekleştireceği yuvalara sabitlenmektedir. Yuvalarına sabitlenen pervaneler, motor montajının tamamlanmasının sonrasında itici yuvalarına yerleştirilmektedir.

Montaj işlemi sonucunda Şekil 4.6.'de bulunan prototip tasarım elde edilmektedir.



Şekil 4.6. Prototip tasarım

Su altı aracı gövde üzerine etkiyen kuvvetler sonucunda oluşan deformasyon Şekil 4.7.'de gösterilmektedir. Araç üzerine; yer çekimi kuvveti, aracın iç bölgesine kontrol birimi ünitesi ağırlığı, itici yuvalarının her birinde iticilerin montajlandığı noktalara iticilerin ağırlığı etki etmektedir. Ayrıca aracın alt bölgesine ise tutucu kolun montajlandığı noktaya tutucu kol ağırlığı etki etmektedir. Araca uygulanan analiz sonucunda araçtaki maksimum deformasyonun itici yuvalarında olduğu gözlemlenmektedir. Gözlemlenen maksimum deformasyon 0,005 milimetre olmaktadır. 0,005 milimetre deformasyon değeri göz ardı edilebilir bir değer olduğu düşünüldüğünde deformasyon sonucuna göre su altı aracı montaj işlemlerinin ardından herhangi bir bozulma göstermeyeceği düşünülmektedir.



Şekil 4.7. Su altı aracı tasarımı deformasyon analizi

4.2.2. Malzemeler

Su altı aracının iskelet tasarımında kullanılan malzemeler aşağıda belirtilmektedir.

- Araç gövdesi
- Kontrol birimi dış iskeleti
- Tutucu kol
- Pervane
- Motorlar

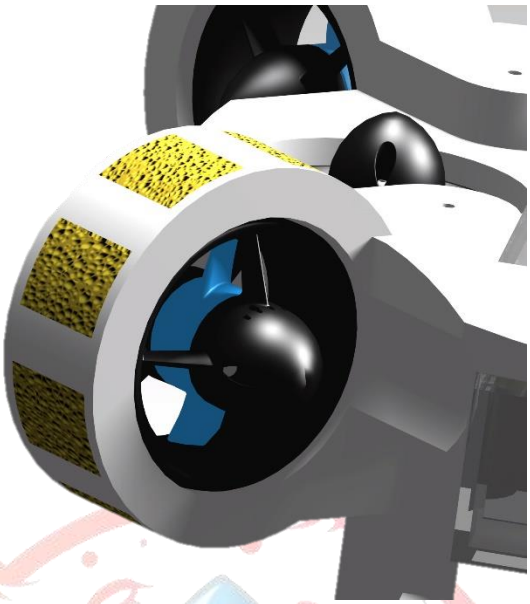
Kullanılması planlanan malzemelerden, araç gövdesinde bulunmakta olan görevleri gerçekleştirmeyi sağlayacak tutucu kol ve hareketi sağlayacak pervanelerin tasarımları tarafımızdan gerçekleştirilmektedir.

Araç gövdesi, kontrol birimi dış iskeleti, tutucu kol ve pervane üretimleri "4.2.3. Üretim Yöntemleri" başlığı altında detaylı olarak anlatılmaktadır. Su altı aracı tasarımında iticilerde kullanılması için motor seçimi olarak "GoolRC Yükseltme 3930KV Fırçasız Motor" tercih edilmektedir. Motor özellikleri Tablo 4.1.'de gösterilmektedir.

Tablo 4.1. GoolRC yükseltme 3930KV fırçasız motor özellikleri [6]

Özellikler	Değerler
Güç	820 W
Maksimum Gerilim	<13 V
Maksimum Akım	60 A
KV (RPM/Volt)	3930 KV
Maksimum Devir	5000 RPM
Çap	35,8 mm
Uzunluk	50 mm
Mil Uzunluğu	15 mm
Mil Çapı	3,175 mm
Su Geçirmezlik	Var

Su altı aracı tasarımlarında genel olarak, eklenen birimlerin araç gövdesine bağlantı noktalarının uygun olmaması sonucu, aracın çalışması esnasında dinamik denge problemleriyle karşılaşılabilmektedir [7].



Şekil 4.8. Prototip tasarım

Su altı aracının mekanik üretimi tamamlanarak; kontrol kartı, kamera ve diğer elektronik bileşenlerin tamamlanıp araç içine yerleştirilmesi ile aracın ağırlık merkezi göz önüne alınarak dengenin ayarlanabilmesi ve yüzerliğin sağlanabilmesi için itici yuvalarının çevresine yüzer malzemeler (sünger) monte edilmektedir. Açılmış yuvalar sayesinde araç üzerinde çirkin görüntülerden de kaçınılmaktadır.

Su altı aracının ağırlık merkezinde oluşabilecek sapmanın büyük olması durumunda ise aracın ihtiyaç duyulan yerlerine ağırlık veya itici etrafına konduğu gibi yüzer malzeme (sünger) eklenmektedir. Bu eklemelerin aracın dış görünüşünü bozmaması için dikey hareketi sağlayan araç gövdesinde bulunan iticilerin yanlarında kalan ve dışarıdan bakılınca kapalı gözüken kısımlar boşluk şeklinde üretilmektedir.

Hareket halinde yüzdürücülerin dengeyi stabil olarak sağlayamadığı gözlemlendiği takdirde [7] kontrol birimi içerisinde yer alan denge sensöründen alınan veriler kontrolcüde işlenerek z ekseninde hareket gerçekleştirmekte olan dikey motorların çalışmasını düzenlemektedir.

4.2.3. Üretim yöntemleri

Üç boyutlu yazıcı teknolojisi kullanılarak BlueRobotics firması tarafından üretilen ürünler kullanılarak, firma eğitimlerinde Bartell ve diğ. [8] tarafından su altı aracı projesi gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmadan yola çıkılarak su altı aracının geliştirilmesi sürecinde, tasarlanan gövde ve diğer malzemelerin üretiminde üç boyutlu yazıcı teknolojisinden faydalanılmaktadır. Üç boyutlu yazıcılar ile üretilen malzemelerde mekanik özelliklerine göre ABS model filament kullanılmaktadır.

Su altı aracının gövde tasarımda tek parça halinde çizilmiş olan modelin ve pervanelerin üretilmesi üç boyutlu yazıcı ile yapılmaktadır. Bu iki parça haricinde tutucu kol tasarımında ise üç boyutlu yazıcı teknolojisi dışında CNC ile alüminyum malzeme işlenerek tutucu kol hareketini sağlayacak pinyon dişli – kremayer dişli mekanizması geliştirilmektedir. İkinci bir durumda ise pinyon dişli – kremayer dişli mekanizması hazır olarak alınmaktadır.

4.2.4. Fiziksel özellikler

Tablo 4.2. Su altı araç yapılarında kullanılan bazı metal ve bazı plastiklerin özellikleri [9]

Malzeme	Çekme Kuvveti (MPa)	Elastikiyet Modülü (GPa)	Yoğunluk (kg/cm^3)	Korozyon Direnci
Orta Karbon Çeliği	500	200	7860	Kötü
Paslanmaz Çelik (316)	550	195	8000	İyi – Mükemmel
Alüminyum (6061)	310	70	2700	İyi
Titanyum (Ti-6Al-4V)	1000	110	4430	Mükemmel
Deniz Pirinci (485)	430	100	8440	Makul – Mükemmel
Bronz (316, Temperli)	450	115	8860	İyi – Mükemmel
PVC	46	1.9	1360	Mükemmel
ABS	40	2.2	1050	Mükemmel
Polikarbonat	67	2.4	1200	Mükemmel
Asetal	60	3.1	1420	Mükemmel
Akrilik	80	3.3	1200	Mükemmel

Su altı aracının boyut bilgileri Tablo 4.3.'te verilmektedir.

Tablo 4.3. Su altı aracı maksimum boyut bilgileri

Uzuv	En (mm)	Boy (mm)	Yükseklik (mm)
Ana Gövde Tutucu Kol Mevcut Değil	449,01	449,01	172,5
Ana Gövde Tutucu Kol Mevcut	449,01	499,51	172,5

Yarışma sırasında kullanılacak nesnelerin yerden bulunacakları yüksekliğe göre önceden hazırlıklı olmak amacı ile uzatma ayakları, üç boyutlu yazıcı ile üretilmekte ve aracın ayaklarının kısa kalması durumunda ek ayaklar ile uzatma yapılmaktadır. Yapılabilecek ayak yükseltmesi aracın mevcut boyutları düşünüldüğünde 300 mm'ye kadar da ulaşabilmektedir.

Tablo 4.4. Su altı aracı ağırlık bilgileri

Uzuv	Ağırlık (kg)
Ana Gövde	4,173
Kontrol Birimi İskeleti	0,955
Sabitleyici	0,168
Tutucu Kol	0,485
Motorlar	1,128

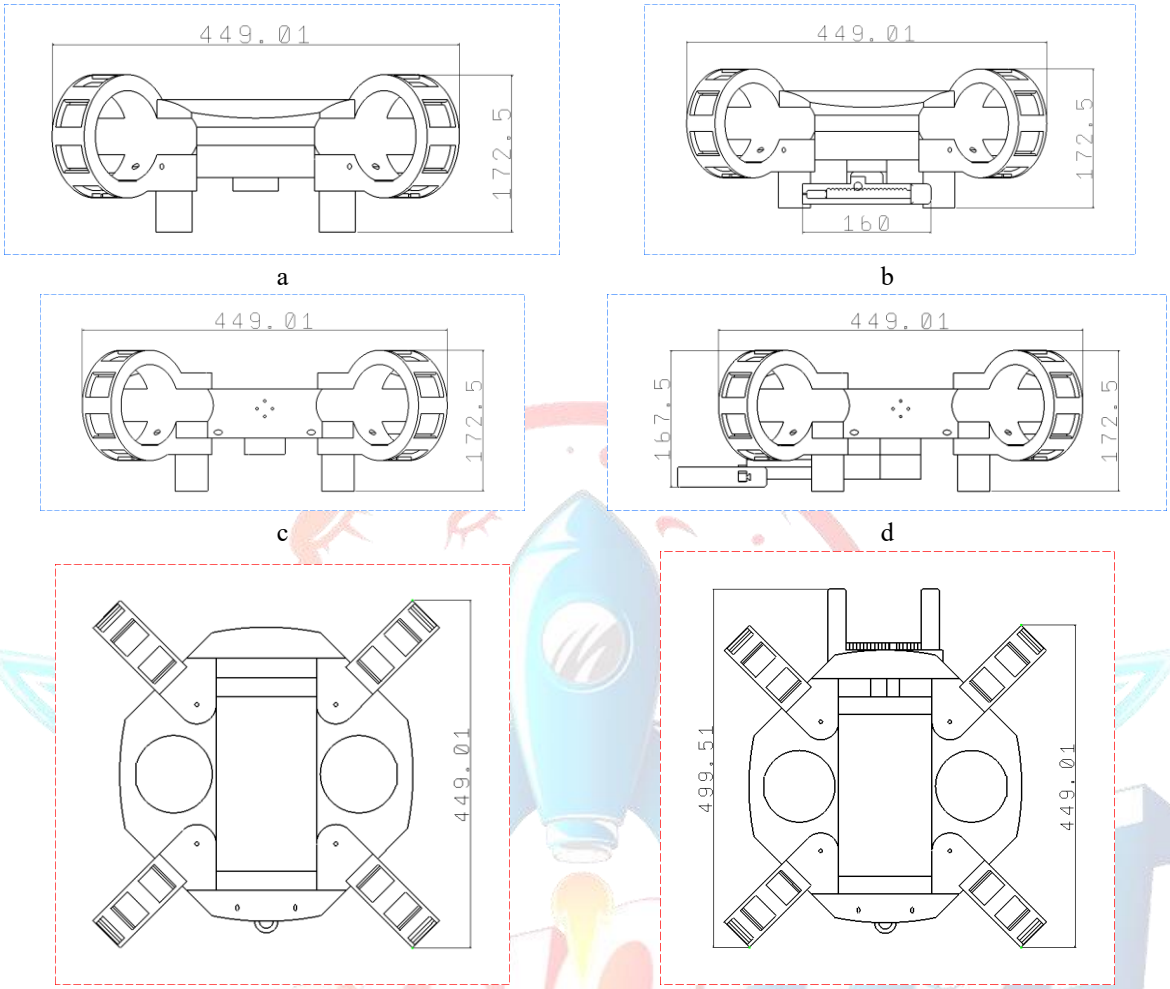
Tablo 4.4.'te belirtilen ve araç iskeletinin temelini oluşturan ana gövde, kontrol birimi iskeleti ve tutucu kol haricinde motorlar, pervaneler ve elektronik parçaların da ağırlıkları toplandığı zaman ortaya çıkacak su altı aracının ağırlığı yaklaşık 7 kilogram olmaktadır.

Tablo 4.5. Su altı aracı hacim bilgileri

Uzuv	Hacim (mm^3)
Ana Gövde	4012000
Kontrol Birimi İskeleti	796181
Sabitleyici	161747
Tutucu Kol	366541

TEKNOFEST
HAVACILIK, UZAY VE TEKNOLOJİ FESTİVALİ

Tablo 4.3.'te belirtilen uzunluklar Şekil 4.9.'de gösterilmektedir.



Şekil 4.9. Su altı aracı tasarımı boyutları: a) Ön görünüş; b) Ön görünüşün tutucu kol ekli durumu, c) Yan görünüş; d) Yan görünüşün tutucu kol ekli durumu; e) Üst görünüş; f) Üst görünüşün tutucu kol ekli durumu

TEKNOFEST HAVACILIK, UZAY VE TEKNOLOJİ FESTİVALİ

Sıvı içerisine bırakılan bir cismin havada olduğundan daha hafif hissedilmesi veya bazı cisimlerin suda yüzmesi gibi benzer gözlemler bir akışkan içerisine bırakılan cisme yerçekiminin tersi yönünde yani yukarı doğru bir kuvvet uygulandığını göstermektedir. Cismi kaldırmaya çalışan bu kuvvete kaldırma kuvveti denir ve F_K ile simgelenir [10]. Kaldırma kuvveti, F_K, akışkan içine tamamen veya kısmen batmış bir cismin ötelediği yani cisim tarafından yeri değiştirilen veya cismin batan hacminin kapsadığı akışkanın ağırlığına eşittir ve yönü yerçekimi ivmesinin tersinedir, yani düşey doğrultuda yukarıya doğrudur. Kaldırma kuvvetinin, cismin sıvının serbest yüzeyinden olan mesafesinden yani derinliğinden ve cismin yoğunluğundan bağımsızdır [10].

Sudan daha yoğun bir cisim olan su altı aracı sıvıya daldırıldığında dibe batmaması için cisim üzerinde Newton'un ikinci kanununu uygularsak cisim hareketsiz olduğundan ivmesi sıfırdır ve cisim üzerindeki kuvvet dengesi Denklem 3.1.'deki gibi olmaktadır.

Yarışma şartlarındaki sıvı ortam su olduğu için sıvı yoğunluğu 997 kg/m^3 alınmaktadır. Su altı aracının üretimi ABS filamentten üç boyutlu yazıcı ile yapılmaktadır ve Tablo 4.2.'de açıklandığı gibi filament yoğunluğu 1040 kg/m^3 ve pleksiglas yoğunluğu 1200 kg/m^3'tür.

Aracın toplam kütlesi 7 kilogram ve toplam hacmi 0,0055 m^3 olduğuna göre aracın yaklaşık olarak yoğunluğu 1081 kg/m^3 alınabilmektedir. Denklemde düzenlemeler yapıldığında cismin su içerisindeki ağırlığı olan T aşağıdaki gibi elde edilmektedir.

$$T = 0{,}0055\ (m^3) \times 9{,}81 \left(\frac{m}{s^2}\right) \left[1081\ \left(\frac{kg}{m^3}\right) - 997 \left(\frac{kg}{m^3}\right)\right] = 4{,}532\ (N) \qquad (3.1)$$

Şekil 4.10. Statik durumdaki su altı aracının su içerisindeki durum

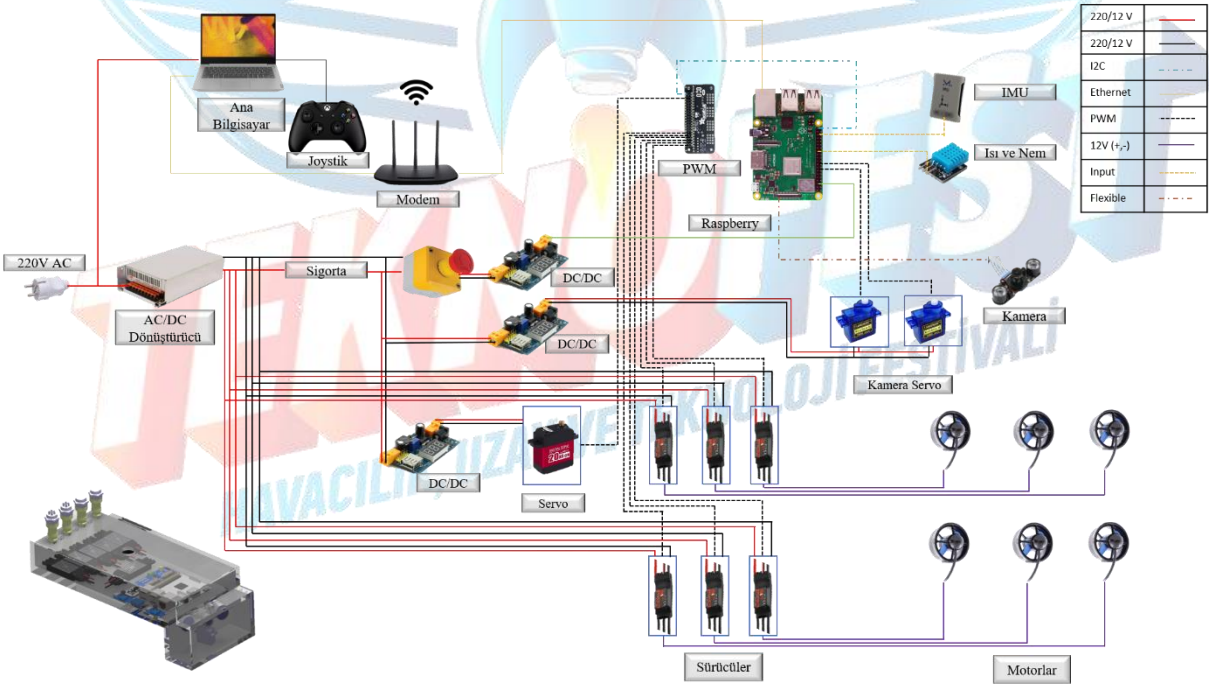
Verilen görevlerin gerçekleştirilebilmesi için öncelikle yüzme, asılı kalma ve batma işlemlerinin gerçekleştirilebilmesi gerekmektedir. Bu işlevlerin gerçekleştirilebilmesi, yüzdürücü olarak kullanılacak 2 motorla yapılabilmektedir. Motorların taşıma kapasitesi 5 kg'dır. Aracın beklenenden ağır olması durumunda ise yoğunluğu düşük yüzdürücü malzemeler kullanılarak aracın yüzerliği sağlanmaktadır. Aracın asılı kalma durumu için ise motorların PWM değeri denge sensörü aracılığıyla ayarlanmaktadır. Batma işlemi için yüzdürücü motorlarının kapatılması yetmektedir.

4.3. Elektronik Tasarım, Algoritma ve Yazılım Tasarımı

4.3.1. Elektronik tasarım süreci

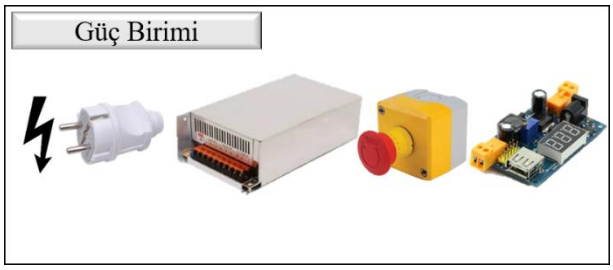
Konuyla ilgili olarak Russell Buchanan ve diğ. [11] RoboSub 2016 yarışması için STM32 ve Arduino tabanlı bir su altı robotu tasarlamışlardır. Yaptıkları tasarımda sonar sensörü, basınç sensörü, ısı ve nem sensörü kullanmışlardır. Başka bir çalısmada Samuel Bartell ve diğ. [8] Su altı aracında kullanılacak mekanik ve elektronik bileşenlerin maliyet ve kullanılabilirlik karşılaştırmasını yapmışlardır. Yapılan karşılaştırmalar sonucunda mekanik tasarımı üç boyutlu yazıcı ile üretip su altı robotunda kontrolcüsü olarak ise Raspberry ve PWM artıcı kartından yararlanmışlardır. Prakhar Agarwal ve diğ. [12] su altı aracının sümilasyonunu ve uygulamasını gerçekleştirmişlerdir. Su altı aracının uygulamada kontrolü için Arduino ve Intel® NUC Mini PC kitini kullanmışlardır. Simülasyon uygulaması için ROS destekli Gazebo yazılımını kullanmışlardır. Simülasyonda sensör verilerinin kontrolü, görüntü işleme ve motor hareketi gibi olaylar gerçekleştirilmiştir.

Elektronik ön tasarım süreci sistemin enerjisini sağlayacak güç birimi, sistemin uzaktan kumanda edilmesini sağlayacak kumanda birimi ve sistemin hareket eylemini oluşturan kontrol birimi olmak üzere üç başlıkta incelenmektedir.



Şekil 4.11. Su altı aracı elektronik şeması

Sisteme enerji sağlayacak olan güç birimi AC/DC dönüştürücü olarak güç kaynağı, DC/DC dönüştürücü, acil stop butonu, ethernet kablosu ve güç kablosundan oluşmaktadır. Güç biriminde kullanılması belirlenen birleşenler Şekil 4.12.'de gösterilmektedir.



Şekil 4.12. Güç birimi

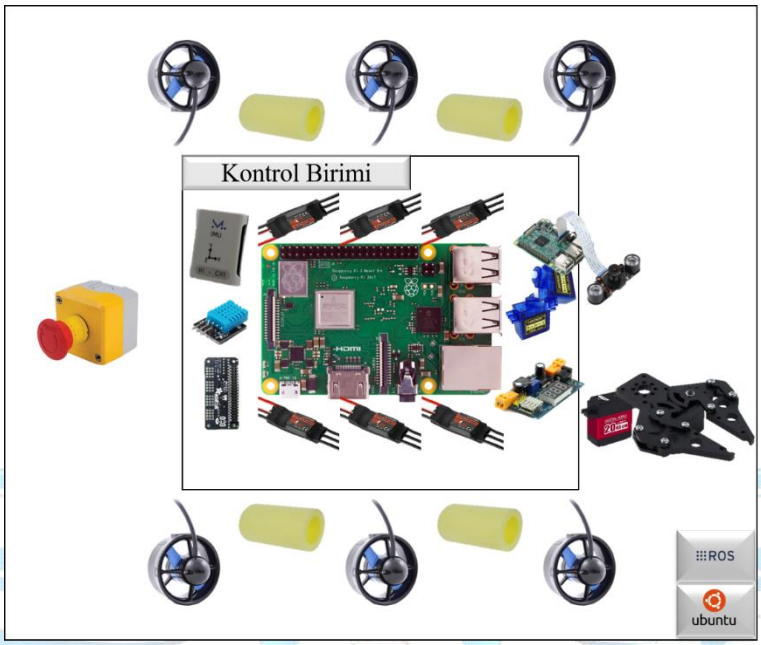
Sistemin uzaktan kontrolünü sağlayacak olan kumanda birimi 220V/12V-40A AC/DC güç kaynağı, kontrol bilgisayarı, joystik ve modemden oluşmaktadır.

Yarışma sırasında tedarik edilecek 220VAC gerilimi 220V/12V-40A AC'den DC'ye güç kaynağı kullanılarak 12V gerilim elde edilmektedir. Güvenlik amacıyla 220V/12V-40A AC/DC dönüştürücünün su altı aracına giden çıkışına acil stop butonu eklenmektedir. Su altı aracının kumanda ünitesi ile haberleşmesini sağlayacak ethernet kablosu ve araca enerji sağlayacak güç kablosunun en az 25 metre uzunluğunda olmasına dikkat edilmektedir. Su altında bulunan kontrolcü 5V-3A ile çalışmaktadır. 12V-5V DC/DC ayarlanabilir voltaj dönüştürücü ile kontrolcü beslenmektedir.

Kumanda biriminde su altı aracını uzaktan yönlendirilmesini sağlamak için Linux işletim sistemine sahip bir bilgisayar kullanılmaktadır. Yarışmanın birinci aşaması olan, uzaktan kumandalı görevler, için su altı aracından alınacak olan kamera ve sensör verileri ROS yazılımı kullanılarak ethernet haberleşme protokolü aracılığı ile ana bilgisayara gönderilmektedir [13]. Ana bilgisayara gönderilen verilerin kontrolü arayüz programı veya joystick ile kontrol edilmektedir. İkinci aşama olan, otonom görevler, ise su altı aracı kamera ve sensör verilerini kendi kontrolcüsünde işleyerek belirli bir açıya yönelme, belirli bir derinliğe inme, yanaşma ve seyir gibi temel dinamik hareketleri yapabilmektedir [7]. Kumanda biriminde kullanılması belirlenen birleşenler Şekil 4.13.'de gösterilmektedir.

Şekil 4.13. Kumanda birimi

Sistemin hareket eylemini oluşturan kontrol birimini oluşturan ekipmanlardan kontrol kartı olarak çalışmanın amacına uygun olacak şekilde Raspberry Pi 4 tercih edilmektedir. Birimi oluşturan diğer malzemeler 16 kanal PWM artırıcı, kamera, IMU sensörü, sonar sensörü, basınç sensörü, nem ve sıcaklık sensörü, fırçasız DC motor sürücüleri ve motorlar, servo motor, pervaneler ve yüzdürücülerden oluşmaktadır. Kontrol biriminde kullanılması belirlenen birleşenler Şekil 4.14.'te gösterilmektedir.



Şekil 4.14. Kontrol birimi

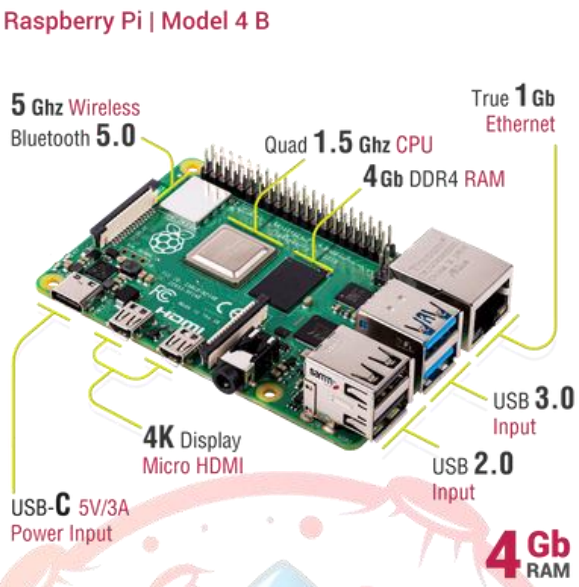
Su altı aracının bileşenlerini haberleşmeyi sağlamak amacıyla kontrol kartı üzerine açık kaynak kodlu ROS (Robot Operation System) yazılımı yüklenmektedir.

Raspberry kartı PWM çıkışları kullanılacak 6 motor için yeterli olmadığından 16 kanal PWM artırıcı kullanılmaktadır.

Robotun hareket kabiliyetini veren özgün pervane tasarımının hareketi ve denge kontrolü 6 adet fırçasız DC motorla sağlanmaktadır. Ayrıca IMU sensöründen alınan bilgiler robotun denge kontrolünde yardımcı birim / eleman olarak kullanılmaktadır. Servo motor ise su altı temizlik görevi ve su altı montaj görevini başarıyla gerçekleştirmek amacıyla tutucu kolun hareketi işleminde kullanılmaktadır. İkinci aşama olan, otonom görevler için kameraya ek olarak boyut algılamada yardımcı olarak sonar sensörü kullanılmaktadır.

– Raspberry Pi 4 4 GB

Bir bilgisayar için gerekli olan işlemci, bellek ve giriş çıkışlar gibi tüm birimleri tek bir kart üzerinde toplayan Raspberry Pi 4 4GB daha hızlı CPU ve GPU desteği ile dikkat çekmektedir. Daha hızlı bir Ethernet portuna da sahip olan ürün 4K ekran desteği ile çok daha iyi bir performans sunmaktadır. 4 çekirdekli işlemciye sahip olan Raspberry Pi 4, H.265 donanım kod çözme yeteneği ve güçlenen USB 3.0 çıkışları ile de öne çıkmaktadır [14].



Şekil 4.15. Raspberry Pi 4

Tablo 4.6. Raspberry Pi 4 teknik özellikleri [14]

İşlemci	1.5 GHz dört çekirdekli ARM Cortex-A72 CPU
Ram	4GB LPDDR4 SDRAM
Wireless LAN	2.4GHz/5.0GHz IEEE 802.11.b/g/n/ac wireless LAN
Ethernet	True Gigabit Ethernet
Bluetooth	Bluetooth 5.0, BLE
GPIO	Genişletilmiş 40-pin GPIO başlığı
Hafıza	Micro SD Port
Video	HDMI(x2), DSI ekran portu(x1), CSI kamera portu(x1)
Ses	4 kutuplu 3.5mm ses + kompozit video portu
USB	USB 2.0 (x2), USB 3.0 (x2)
Multimedya	4kp60, OpenGL 3.0
Güç Girişi	5V/3A
Boyutlar	(68,63 x 94,09 x 26,63) mm

– 16-Kanal PWM / Servo Motor Kontrol Kartı

PWM / Servo Motor Kontrol Kartı, Adafruit şirketi tarafından Raspberry Pi için üretilmiştir. Aynı anda 16 adet servo motoru kontrol edebilecek şekilde tasarlanmıştır. I2C haberleşme protokolünü kullanmaktadır [15]. Yarışmada kullanmayı düşündüğümüz motor sayısı Raspberry kontrol kartının PWM çıkışları için fazla olduğundan yardımcı eleman olarak 16 kanal PWM motor kontrol kartını kullanılmaktadır.

Şekil 4.16. 16-Kanal PWM / servo motor kontrol kartı

– DC-DC Konvertör Modülü

LM2596 entegreli led göstergeli ayarlanabilir DC-DC çevirici ürünü 4,5-40 volt arasındaki giriş gerilimini 1,25-37 volt aralığında çıkış olarak almanızı sağlayacaktır. Üzerindeki trimpot ile çıkış gerilimini isteğinize göre ayarlayabilir ve led displey ile çıkış gerilimini görebiliriz [15]. Raspberry kontrol kartının beslemesi DC-DC dönüştürücü kartı aracılığıyla yapılacaktır. Tutucu ve kamera hareketleri için kullandığımız servoların güç beslemesi DC-DC dönüştürücü kartı aracılığıyla yapılacaktır.

Şekil 4.17. DC-DC konvertör modülü

– Raspberry Pi Kamera Modülü Gece Görüşlü 5MP

Raspberry Pi Kamera Modülü, ayarlanabilir odağa sahip bu kamera kızılötesi LEDleri sayesinde gece görüşü imkânı sunmaktadır. Bu kamera Raspberry Pi'nin tüm revizyonlarını destekleyecektir. Üzerindeki OV5647 sensörü ile 5 megapiksel çözünürlük sunacaktır. Üzerinde Kızılötesi kesici filtresi kaldırılabilirdir böylece gece görüşü sağlanabilir. Raspberry Pi Kamera Modülü kullanmamızın genel nedeni Python kütüphanesinin olması ve işlem yükümüzün en aza indirgeyebilmesindendir.

Şekil 4.18. Raspberry Pi kamera modülü gece görüşlü 5MP

Tablo 4.7. Raspberry Pi kamera modülü teknik özellikler [14]

Uyumluluk	CSI (Camera Serial Interface) olan tüm Raspberry Pi modelleriyle uyumludur.
Megapiksel	5 Megapiksel OV5647 Sensör
Odak Uzaklığı:	3,29 mm
Sensör en iyi çözünürlük	1080p
Diyagonal	72,4 derece
Objektif Tipi	1/4 5 M
Diyafram (F)	1.8
LED	Yüksek 3W güçlü 2 adet 850 kızılötesi LED'i destekler.
Boyutlar	(25 x 24 x 6) mm

– Adafruit BNO055 IMU

Bu 9 eksenli sensörle, projelerinizde kullandığınız nesnelerin yerlerini ekstra hesaplama yapmadan üç boyutlu alanda belirleyebilirsiniz. Üzerinde ARM Cortex-M0 mikro işlemci ile normal bir IMU kartı olarak kullanabilirsiniz, ayrıca mutlak konumları queternion veya Euler vektörü olarak belirleyebilirsiniz.I2C arayüzünü kullanır. 3,3 ve 5V seviyelerinde kullanılabilir [16]. Su altında yüzdürücüler haricinde motorların itki kuvvetiyle batma, yüzme ve denge olayı kontrol edilecektir. Motorların uygulayacağı itki kuvvetinin hesaplanması ve dengenin sağlanabilmesi için IMU sensörü kullanılacaktır.

Şekil 4.19. Adafruit BNO055 IMU

– BME280 Nem, Sıcaklık ve Basınç Sensörü

Bu sensör, her türlü hava durumu / çevresel algılama için mükemmeldir ve hem I2C hem de SPI'da kullanılabilir. Nem oranını ±%3 doğrulukla, barometrik basıncı ±1hPa mutlak hassasiyetle ve sıcaklık ile ±1,0 °C doğrulukla ölçmek için en uygun düşük maliyetli algılama çözümüdür [15]. Basınç yükseklik ile değişir ve basınç ölçümleri çok iyi olduğu için ± 1 metre veya daha iyi doğrulukta bir altimetre olarak da kullanabilirsiniz. Kontrol biriminin aşırı ısınması veya sızdırma olaylarına karşı aldığımız güvenlik önemli için gerekli bir algılayıcı sensördür.

Şekil 4.20. BME280 nem, sıcaklık ve basınç sensörü

– ESC (Elektronik Hız Kontrolcüsü – Motor Sürücü)

Kullanılan motorlar maksimum 60 A akım çekmektedir. Motorlar ile aynı marka olan ve sürekli akım değeri 45 A olan ESC kullanılmaktadır. Motor hareketi ve motor güvenliği için sürücüler hazır olarak alınacaktır. Alınan sürücülerin aşırı akım koruması mevcuttur. ESC, fırçasız motorlarınızı rahat ve güvenli bir şekilde sürmenizi sağlar.

Tablo 4.8. GoolRC 45A ESC (elektronik hız kontrolcüsü – motor sürücü) özellikleri [6]

Devam Akımı	45 A
Burst Akımı	180 A
Pil	2 – 3S Li-Po 4 – 9 Ni-Mh Ni-Cd
BEC Çıkışı	5,8 V / 3 A
Güç Kaynağı Fişleri	T Fiş Erkek
Motor Fişler	4 mm Banana Plug Kadın
Boyutlar	(50 x 35 x 34) mm

Şekil 4.21. GoolRC 45A ESC (elektronik hız kontrolcüsü – motor sürücü)

– Servo motor

Servo, mekanizmalardaki açısal – doğrusal pozisyon, hız ve ivme kontrolünü hatasız bir şekilde yapan tahrik sistemi olarak tanımlanır. Yani hareket kontrolü yapılan bir düzenektir. Servo motorlar, robot teknolojilerinde en çok kullanılan motor çeşidi olmakla birlikte, RC (Radio Control) uygulamalarda da kullanılmaktadırlar. Kameranın açısal kontrolü ve su altı aracının alt kısmında bulunan tutma ve montaj görevlerini yerine getirecek tutucu kolda servo motor kullanılacaktır.

Tablo 4.9. Kamera ve sonar cihazı servo motor özellikleri

Modülasyon	Analog
Tork	4,8V: 138,9 oz-inç (10,00 kg-cm)
Hız	4,8V: 0,20 sn / 60 °
Ağırlık	14 oz (55 g)
Boyutlar	Uzunluk: 1,60 inç (40,6 mm)
Genişlik	0,78 inç (19,8 mm)
Yükseklik	1,69 inç (42,9 mm)
Motor Tipi	Çekirdeksiz
Dişli Tipi	Metal
Dönme / Destek	İkili Rulmanlar
Dönme Aralığı	180 °
Darbe Döngüsü	20 ms
Darbe Genişliği	1000-2000 µs
Soket Tipi	JR

Tablo 4.10. Gripper servo motor özellikleri

Gerilim	4.8V	6.6V
Hız	0.18sn/60°	0.16sn/60°
Tork	16.5kg-cm	20kg-cm
Akım (Yüksüz)	400mA	500mA
Boşta Akım	4mA	5mA
Durma Akımı	2480ma	2710mA
Dişli Tipi	Bakır & Alüminyum	
Motor Tipi	DC Motor	
Rulman	2 x Top Rulman	
Ağırlık	63g±1g	
Ebat	40.7x20.5x39.5mm	
Motor Açısı	180°±10°	
Redüktör Oranı	1/306	

– Ultrasonik Sensör

Yüksek frekanslı ses dalgaları göndererek temassız algılama yapan cihazdır. Ultrasonik sensörlerde, önemli olan sesin yüksekliğinde belirleyici etken frekanstır. Su geçirmez olan ultrasonik sensör monte edildiği alandan ses dalgaları yardımıyla mesafe bilgilerini kontrol birimine iletmektedir. Ultrasonik sensör sayesinde istenilen yönde hesaplama yapılabilmektedir. Kamera ünitesine sabitlenmiş bir servo motora bağlı olarak kullanılması planlanan ultrasonik sensör, sualtı aracının etrafında bulunun nesnelerin uzaklığını hesaplamak için kullanılmaktadır.

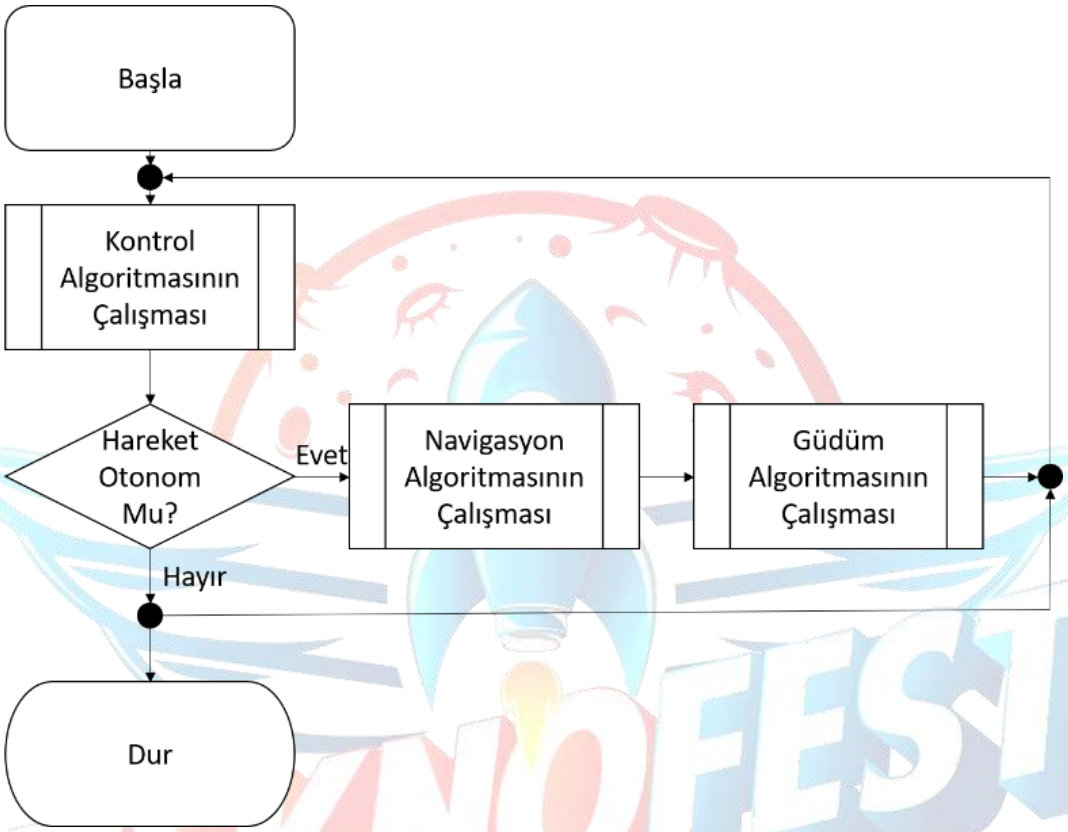
Şekil 4.22. JSN-SR04T su geçirmez ultrasonic mesafe ölçer sensörü

Tablo 4.11. JSN-SR04T su geçirmez ultrasonic mesafe ölçer sensörü özellikleri

Modülasyon	Analog
Çalışma Gerilimi	5V DC
Bekleme Akımı	5 mA
Çalışma Akımı	30 mA
Akustik Emisyon Frekansı	40 kHz
Maksimum Mesafe	4.5 m
Minimum Mesafe	25 cm
Bağlantı Pinleri	+5V, Trig, Echo, Gnd
Modül Boyutları	41 mm – 28.5 mm
Hassasiyet	0.5 cm
Görüş Açısı	<50 °
Çalışma Sıcaklığı	-10 – 70 °C
Saklama Sıcaklığı	-20 – 80 °C

4.3.2. Algoritma tasarım süreci

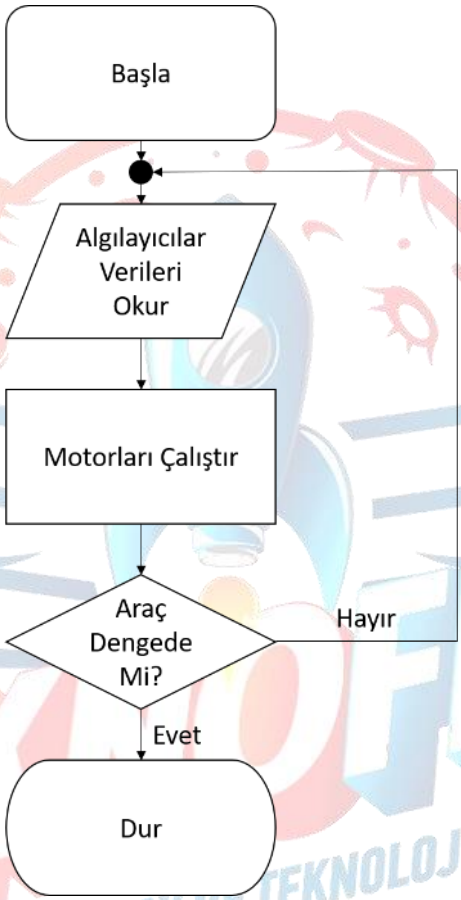
Su altı aracının algoritma şemasının oluşturulma sürecinde benzer sistemlerin algoritma şemaları incelenmiştir. İncelemeler sonucunda su altı aracının gerçekleştireceği görevlerin algoritma şeması oluşturulmuştur. Aracın ana algoritma akış diyagramı Şekil 4.23.'de gösterilmektedir.



Şekil 4.23. Ana algoritma akış diyagramı

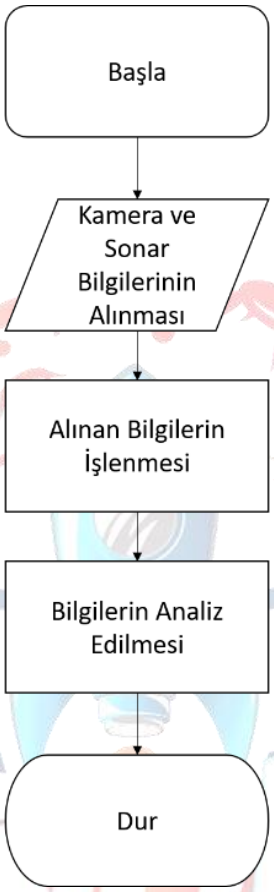
TEKNOFEST HAVACILIK, UZAY VE TEKNOLOJİ FESTİVALİ

Şekil 4.24.'de gösterilen kontrol algoritması akış diyagramına göre, su altı aracının algılayıcılardan sıcaklık ve nem verilerini okuması beklenmektedir. Sıcaklık ve nem değerleri alındıktan sonra değerler çalışma şartlarını sağlamakta ise motorlar çalıştırılarak araç denge durumuna getirilmektedir. Araç denge durumunu sağlayamaz ise veriler tekrar alınmaktadır. Bu izlenen akış araç çalıştırılırken de sürekli olarak tekrarlanmakta ve aracın çalışma sırasında dengede hareket etmesi sağlanmaktadır. Denge durumu haricinde sıcaklık ve nem değerleri de araçta oluşabilecek sorunların önüne geçmektedir ve olumsuz durumlarda araç yüzeye çıkarak sistemi kapatmaktadır.



Şekil 4.24. Kontrol algoritması akış diyagramı

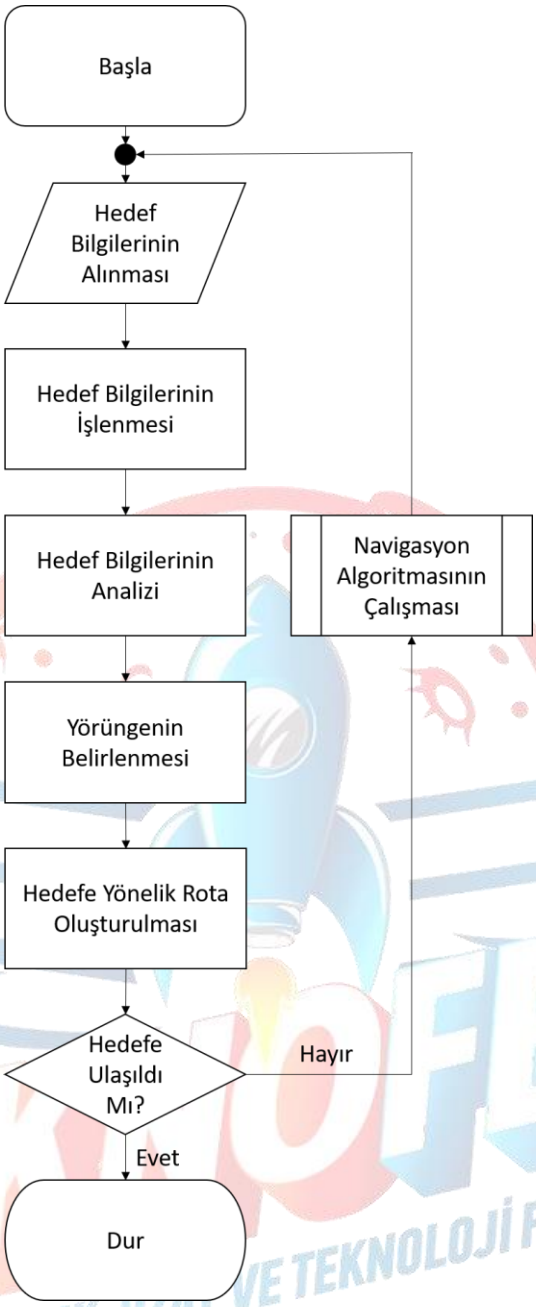
Şekil 4.25.'de gösterilen navigasyon algoritması akış diyagramına göre, su altı aracının kamera ve sonardan bilgi alması beklenmektedir. Kameradan alınan görüntüler, görüntü işleme yöntemi ile işlemekte ve sonardan gelen bilgiler ile analiz edilmektedir. Aracın bu akış doğrultusunda aldığı bilgilerin analizini yaparak bulunduğu konumu ve çevreyi tanıması beklenmektedir.



Şekil 4.25. Navigasyon algoritması akış diyagramı

Şekil 4.26.'de gösterilen güdüm algoritması akış diyagramına göre, su altı aracının kameradan aldığı hedef görüntüleri işlemesi beklenmektedir. Araç hedefin bulunduğu yönü tanıdıktan sonra kendisine rota oluşturmaktadır. Oluşturulan rota sonucunda hedefe ulaşıldığı takdirde yeni hedef tanımlaması yapılmaktadır. Yeni hedef tanımlaması için ana algoritma şeması baştan başlamaktadır.

Güdüm algoritması sonucunda hedefe ulaşılamaz ise araç konumunu ve çevresini yeniden tanımak için navigasyon algoritmasını çalıştırmaktadır. Navigasyon algoritması görevini tamamladıktan sonra yeni güdüm belirlenmektedir.



Şekil 4.26. Güdüm algoritması akış diyagramı

4.3.3. Yazılım tasarım süreci

Su altı robotunun kontrolü için geliştirilmiş olan algoritmalar Python dili kullanılarak gerçekleştirilecektir.

Su altı aracının görevleri gerçekleştirebilmesi için Python programlama dili ve "opencv, numpy" kütüphanesi kullanılabilmektedir, "opencv", "numpy" kütüphanesi kullanılmaktadır. Python dili kullanılarak yapılacak olan arayüz için ise "PyQt5" kütüphanesinden yararlanılmaktadır. Araç iticilerinin ve tutucu kol, sonar, kamera gibi motorların hareketi için 16 kanal PWM kart kullanılmaktadır. Kartın kullanımı için "Adafruit_PCA9685" kütüphanesi kod ekranında programa eklenmektedir. Kamera için ise "picamera" kütüphanesi kullanılmaktadır.

Su altı aracı üzerinde bulunan kameradan alınan veriler Raspberry Pi 4 kontrol kartına OpenCV kütüphanesi kullanılarak alınmakta ve alınan görüntü, kart içerisindeki gömülü yazılım tarafından işlenmektedir. Sonardan alınan veriler ile birlikte işlenen görüntü, birlikte değerlendirilmekte ve otonom kontrol sağlanmaktadır. Bunun yanında yapay zekâ ve derin öğrenmeden yararlanılmaktadır.

Derin öğrenme metodlarından faydalanılarak da aracın yarışma görevlerine göre yapılacak test aşamalarında elde edilen veriler işlenerek aracın başarımı değerlendirilir. Aracın en verimli çalıştığı aralık bulunana kadar derin öğrenme metodları tekrarlanır.

Su altı aracının gerçekleştirmesi gerekmekte olan otonom görevlerden engel geçiş görevi için kullanılacak olan "opencv" kütüphanesinde bulunan Hough Circle Transform metodu çember tespiti için kullanılmaktadır. Hough Circles fonksiyonu sadece 8 bitlik yani siyah-beyaz görüntülerdeki daireleri tespit etmek için kullanılmaktadır. Parametrelerin açıklaması aşağıda verilmektedir.

C = cv2.HoughCircles(image, method, dp, minDist, param1, param2, maxRadius, minRadius)

- **image**: 8 bit, tek kanallı, gri tonlamalı giriş görüntüsüdür.
- **circles:** Bulunan çemberlerin merkez konum ve yarıçaplarını kaydeden dizi. Her dizi 3 elemanlı (x, y, yarıçap) olarak kodlanır.
- **method:** Çember bulma metodu, "hough transform" ,**'cv'** kütüphanesinde bulunur. Şu ana kadar eklenen başka bir metot bulunmamaktadır.
- **dp:** Çember aranacak görüntünün çözünürlüğü. Ters orantı yani dp arttıkça daha az çember bulunur.
- **minDist:** Yakalanacak iki çember merkezi arasında olabilecek en yakın mesafe. Bu mesafe çok küçük olursa yanlış çember bulunma olasılığı artar, eğer çok büyük olursa bazı çemberler algılanmayabilir.
- **param1:** Gradient değeri, ("HOUGH_GRADIENT").
- **param2:** Treshold değeri, ("HOUGH_GRADIENT"). Ne kadar küçük olursa, daireler o kadar yanlış algılanabilir.

- **minRadius:** Bulunacak çemberlerin en küçük yarıçap değeridir.
- **maxRadius:** Bulunacak çemberlerin en büyük yarıçap değeridir.

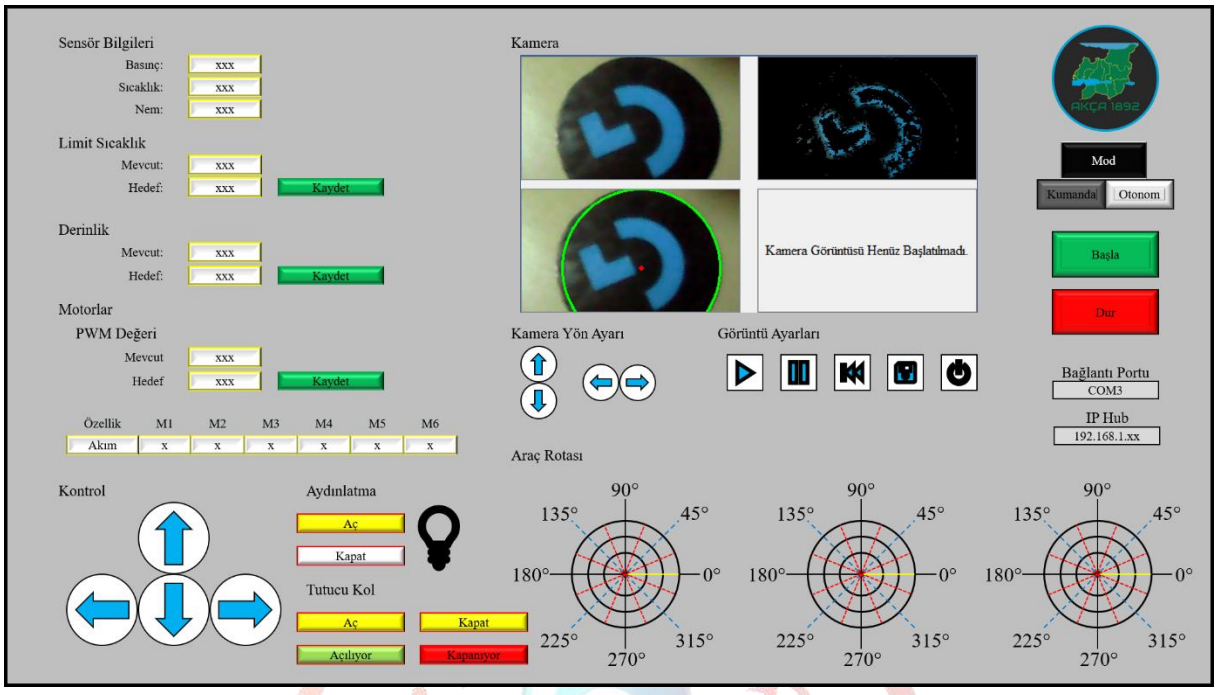
Su altı aracının gerçekleştirmesi gerekmekte olan otonom görevlerden, denizaltının tespiti ve su altı aracının konumlanması için oluşturulan "Haar Cascade" kütüphanesi için ilk olarak denizaltı veri seti tanımlanmaktadır. "Haar Cascade" kütüphanesinin oluşturulması işleminde Cascade Trainer GUI programı kullanılmaktadır. Kütüphanede denizaltı verileri pozitif değerler olarak tanıtılmakta ve algılamada sorun yaşamamak için denizaltı çevresindeki olabilecek diğer nesneler, önceki görevlerde kullanılacak olan cisimler, negatif değer olarak tanıtılmaktadır. Tanıtılmakta olan değerler su altı aracının optimum konumlanması için araçta Python dilindeki "opencv" kütüphanesi ile birlikte kullanılmaktadır.

4.4. Dış Arayüzler

Berkay Doğan tez çalışması olarak, kendinden hareketli denizaltı aracı geliştirmiştir. Yapılan kendinden hareketli denizaltı aracı dış arayüz programı için Visual Studio'da C# dili kullanılmıştır. Dış arayüz programında ivme, denge, akım ve gerilim sensörü bilgilerini anlık olarak işlenmekte ve verileri kaydedip istenilen zamanda grafik oluşturulmaktadır. Aracın navigasyon sistemi olarak Google Maps üzerinden alınan yol koordinat noktalarını, dış arayüze aktarmaktadır.[17].

J. Gonzalez ve arkadaşları, tasarladıkları su altı aracında Java yazılım diliyle yazılmış dış arayüz ekranı kullanmışlardır. Dış arayüz programında anlık derinlik, hız, denge sensörlerinden aldığı bilgileri ekranda göstermişlerdir. Aracın navigasyon sistemi olarak Google Maps üzerinden aldığı noktasal bilgileri ve etrafında olan engelleri gösteren SONAR sensöründen aldığı bilgileri ekranda göstermişlerdir [18].

J.H.A.M Vervoort'un tasarlamış olduğu su altı aracında, dış arayüz programı LabVIEW programı kullanılarak yapılmıştır. Aracın denge, sıcaklık, hız, derinlik ve güç sensörlerinden aldığı verileri anlık olarak aracın dış arayüzünde göstermiştir. Alınan sensör verilerini arayüzde bulunan sensör kayıt sayfalarına eklemiştir. [19].



Şekil 4.27. GUI – Dış arayüz tasarımı

Şekil 4.27.'de gösterilen dış arayüz tasarımı GUI ekranı üzerinde aşağıdaki özellikler bulunmaktadır:

- Araç başlat / dur butonu
- Kamera görüntüsü
- Araç rota bilgileri
- Bağlantı portu
- IP adresi
- Yön kontrol butonları
- Kamera kontrol butonları
- Sensör bilgileri
- PWM ayarı
- Derinlik
- Limit sıcaklık
- Motor akım değerleri
- Aydınlatma ledleri açma / kapama butonu
- Tutucu kol açma / kapama butonu
- Sonar bilgi ekranı

Aracın sisteminin kontrolü Python kütüphaneleri yardımı ile yapılmaktadır. Python'daki verilerinin akışı ROS yazılımı ile arayüze yayınlanmaktadır. Aracın sisteminin kontrol edildiği ve verilerin akışının takip edilebileceği dış arayüz ROS yazılımı veya Python'da bulunan PyQt5 kütüphanesi ile yapılmaktadır. Bu arayüz ekranında, su altı aracını kumanda veya otonom olarak kontrol edebilmek için iki farklı mod seçeneği bulunmaktadır. Aracın kontrolü dış arayüz haricinde joystick ile de sağlanabilmektedir. Aracının çalışmasını başlatmak ve durdurmak için başla ve dur butonları bulunmaktadır.

Kumanda modunda çalışan aracın yön kontrolünü sağlayarak hareket halinde iken istenilen yönelmeyi yapabilmek amacı ile yön butonları ve hareket sırasında çevre kontrolü yapılabilmesi için kamera yön ayarı butonları bulunmaktadır. Olası karartılarda aracın gittiği doğrultunun daha net algılanabilmesi için de aydınlatma ledlerinin kontrolünü yapan açma, kapama butonları bulunmaktadır.

Herhangi bir çalışma modunda, su altı aracında bulunan kameradan alınan anlık görüntü dış arayüz üzerinden canlı olarak takip edilebilmekte ve bu görüntü üzerinde durdurma, geri alma ve kayıt alma işlemlerini gerçekleştiren panel bulunmaktadır.

Arayüzde bulunan sensör panelinde basınç, nem ve sıcaklık değerleri gösterilmektedir. Basınç değerine göre aracın su içerisinde bulunduğu derinlik öğrenilirken sıcaklık ve nem değerleri de aracın kontrol biriminin kritik bilgileri hakkında bilgi vermektedir. Bu değerler takım tarafından belirlenen limit değerler olarak kaydedilerek kontrol birimde oluşabilecek yüksek sıcaklık veya nemlenmelerde aracı bekleme moduna almaktadır.

Motorlar ile ilgili olan kısımda ise motorlar üzerine binen yüke göre motorların çektiği akım artmaktadır veya azalmaktadır. Bu değerler, motorların ve elektronik kartların sağlığını korumak için akım bölümünden izlenmektedir. PWM bilgi ekranında ise itici ve açısal motorların çalışacağı PWM değeri belirlenmekte ve izlenmektedir. Denge motorların çalışacağı PWM değeri belirleme işlemi elle yapılabildiği gibi algılayıcı sensörlerden gelen bilgileri yorumlayan yazılım tarafından da yapılabilmektedir.

Aracın doğrultusu ise denge sensöründen gelen dokuz eksen bilgisini işlenerek araç rota bölümünde kullanılacak x, y ve z olmak üzere üç eksen olarak gösterilmektedir.

Su altı aracının dışarıdan kontrol edilebilmesi için gerekli olan kumanda birimi tasarlanmıştır. Kumanda biriminin ve haberleşme sistemlerinin bütünlüğü ve kolay taşıma göz önüne alınarak kumanda birimi prototipi tasarlanmıştır. Tasarlanan prototip Şekil 4.28.'de gösterilmektedir.

Şekil 4.28. Su altı aracı ve kumanda birimi prototipi

Gerçekleştirilen kumanda birimi kullanışlı bir taşıma çantası şeklinde tasarlanmış ve içerisinde aşağıdaki birimleri bulundurmaktadır.

- Kontrol bilgisayarı
- Güç kaynağı
- Modem
- Acil Stop
- Uzatma kablosu
- Kumanda
- Mouse

5. GÜVENLİK

– Kablo yalıtımı

Sistemde kullanılacak kablolar çift katman yalıtkan ile sarılmaktadır. Kablolar su geçirmez soketler ile birbirlerine bağlanarak açıkta elektrik bağlantısı kalmaması sağlanmaktadır. Soketlerin kablolara bağlandığı noktalar ısıyla daralan makaron ile yalıtılarak elektrik kaçağı ihtimalleri oldukça düşürülmektedir.

– Sigortalar ve çalışma gerilimi

Sisteme elektrik şebekeden sağlanmaktadır. Şebekeden sağlanan elektrik, güç kaynağı aracılığı ile doğrultulmakta ve DC gerilime çevrilmektedir. Güç kaynağının çıkışına yerleştirilen sigorta sistemin fazla akım çekmesini engellemektedir. Eğer güç kaynağı sistemin istediği akım miktarının üstünü sisteme yollar ise elektronik malzemelerin kullanım dışı kalması sorunu oluşabilmektedir. Ayrıca gönderilen sinyallerin yüksek akımlara çıkması da istenmeyen bir durum olduğundan sistemin iletişim kablosu üzerinde de bir adet sigorta kullanılmaktadır. Bu sayede kablo yanması veya gelen fazla akımın kumanda birimine zarar vermesi gibi ihtimaller de ortadan kaldırılmaktadır.

– Acil durumda güç kesme

Sistemde oluşabilecek her türlü sıkıntıya hazırlıklı olmak amacıyla sistemin kumanda birimi ve kontrol biriminde güç kesme görevi gören bir acil stop butonu bulunmaktadır. Ana güç kablosu üzerindeki acil stop butonu kumanda biriminde bulunan ve kumanda birimi ile su altı aracı arasında oluşabilecek elektriksel sorunları önlemek amacıyla kullanılmaktadır. Kontrol birimi üzerinde bulunacak acil stop butonu ise aracın otonom çalışma koşullarında kontrol dışına çıkması durumunda araç zarar görmeden hızlı müdahale imkânı sağlamaktadır.

– Acil durumda aracın su yüzeyine çıkışı (kaçışı)

Su altında oluşabilecek su sızması veya aracın görevler sırasında hasar alması gibi herhangi bir sorunda aracın yaptığı işi bırakarak otomatik olarak su yüzeyine çıkması planlanmaktadır. Kullanıcının herhangi bir sorunla karşılaşması durumunda robotun üstünde veya kumanda biriminde bulunan acil stop butonuna manuel olarak basıldığı zaman normalde kapalı konumunda olan ve aracın kontrol kartını besleyen kontak açık duruma geçerken, normalde açık konumunda olan bağlantı ise, kapalı konuma geçerek aracın dikey hareketini sağlayan iticilere tam güç vermekte ve aracı doğrudan su yüzeyine çıkarılması sağlanmaktadır.

– Su sızdırmazlığı

Sistemin elektronik bileşenlerinin bulunduğu tüp iki kapak ve bir silindir olmak üzere üç temel parçadan oluşmaktadır. Tamamen su sızdırmaz olarak tasarlanan tüpü oluşturan kapaklar, silindire iki tarafından bağlantı noktalarının ikisinde de conta bulunacak şekilde

kapatılmaktadır. Alınan önlemlere karşı, oluşabilecek yine de oluşabilecek su sızdırma sorununa karşılık da silikon bazlı sıvı yalıtım malzemesi kullanılmaktadır.

– Yedek parça

Yarışma sırasında su altı aracını oluşturan herhangi bir elektronik bileşende oluşabilecek bir arıza durumunda bakım molası alarak aracı onarmak ve yeniden yarışmaya devam edebilmek için araç içerisinde kullandığımız, bozulmasını öngördüğümüz, ürünlerin yedekleri bulundurulmaktadır.

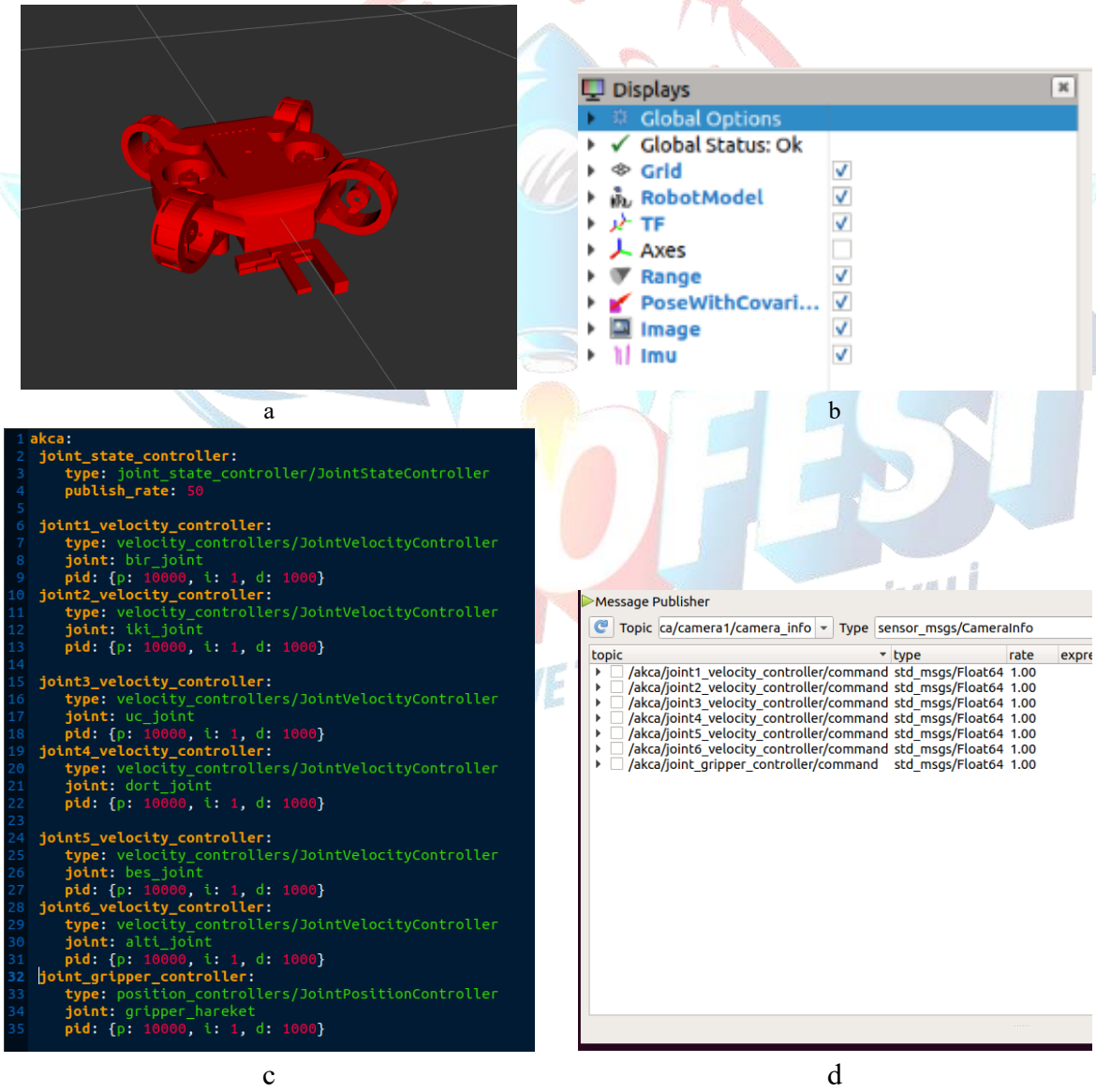
Aracın nesne tutması gereken görevlerde tutucu kol tasarımımızdaki hareketli kolun geometrisi nesne tutmak için yetersiz olması ve nesneyi tutamaması gibi oluşabilecek durumlarda sıkıntı yaşamamak için de farklı tutucu kol profilleri yedeklenmektedir.

TEKNOFEST
HAVACILIK, UZAY VE TEKNOLOJİ FESTİVALİ

6. TEST

Kritik raporda bulunan test bölümünde, su altı aracının simülasyon kısmı ve su altı aracı için alınan malzemelerin denemeleri bulunmaktadır. Aracın simülasyon kısmı Gazebo ve Rviz programları ile sağlanmıştır. Simülasyon kısmında uzaktan kontrol ve otonom görevler için deneme senaryoları yapılmış ve yazılımdaki eksiklikler tecrübe edilmiştir. Simülasyonun Gazebo ortamında ROS yazılımı ile gerçekleştirilmesinin ana nedeni C++, Python, MATLAB ve Java gibi farklı yazılım dilleri ile koordine çalışabilmesidir.

Simülasyon ortamında ilk olarak tasarladığımız su altı aracının modelinin fiziksel olarak tanımlanması, aracın motorlarının ve araçta bulunan sensörlerin sisteme eklenmesi gerekmektedir. Şekil 6.1.'de simülasyon için gerekli tanımlamalar gösterilmektedir.

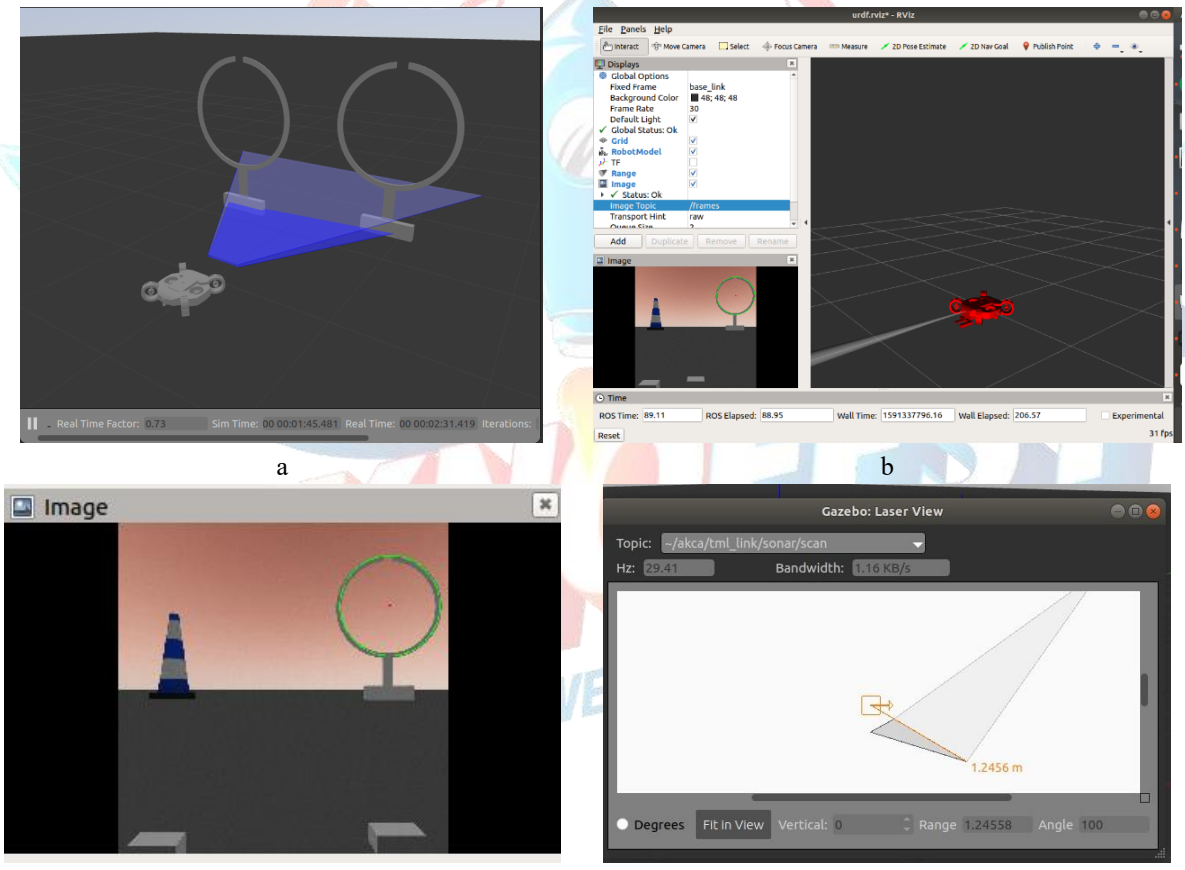


a b c d

Şekil 6.1. Su altı aracı simülasyon tanıtımı: a) URDF; b) Rviz sensör eklenmesi, c) Motor tanımlama; d) Motor kontrolü

Su altı aracı simülasyon tanıtımı olarak Şekil 6.1a.'da "Kritik Tasarım Rapor'unda yenilenmiş olan su altı aracının URDF gösterimidir. Şekil 6.1b.'de sistemin Gazebo simülasyon ortamından veya gerçek dünyadan gelen verilerin, gösterilmek istenen düğümlerinin Rviz ortamında seçilerek tanımlanmasıdır. Şekil 6.1c.'de Gazebo ortamında hareket için motorların konfigürasyon tanımlamasının yazılmış halidir. Su altı aracının yönelme, manevra gibi hareketleri için fırçasız motor tanımlanmıştır. Aracın temizlik görevinde tutucu kolun açma kapama işlemini yapabilmesi için servo motor tanımlanmıştır. Şekil 6.1d.'de tanımlaması yapılan motorların ROS üzerinden kontrolü gösterilmiştir. Tanımlanan motorların kontrolü Python yazılımı ile de gerçekleştirilebilmektedir.

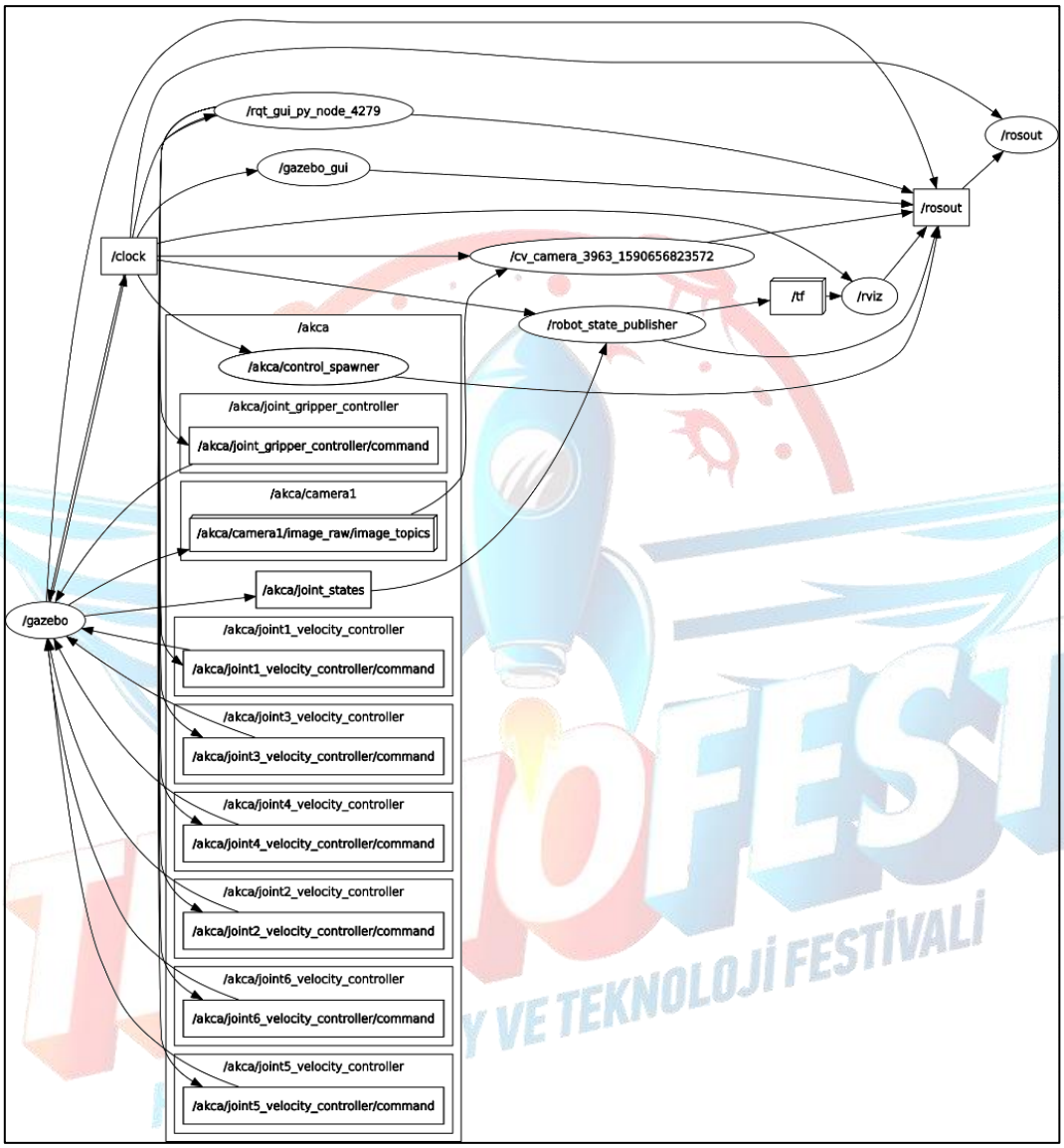
Tasarım sürecimizde, su altı aracında kontrol kartı olarak Raspberry Pi 4, yazılım dili olarak da Python dilinin kullanılmasını kararlaştırdığımız için tasarlamış olduğumuz Gazebo simülasyon ortamındaki motorların kontrolü Python yazılımı ile gerçekleştirilmiştir.



Şekil 6.2. Su altı aracı Gazebo ve Rviz simülasyon: a) Gazebo; b) Rviz, c) Kamera bilgisi; d) Sonar bilgisi

Su altı aracı, Gazebo ve Rviz simülasyon tanıtımı olarak Şekil 6.2a'da Gazebo ortamında tasarlanan engelden geçiş görevinin ön izlemesi gösterilmektedir. Oluşturulan çember şekilleri şablonda belirtilenlerle aynı boyutta tasarlanmaktadır. Oluşturulan çemberler simülasyon ortamına yüklenerek yarışma sırasında gerçekleşecek olan görevin Gazebo'da simülasyon denemesi gerçekleştirilmiştir. Şekil 6.2b.'de Gazebo ortamından gelen verilerin Rviz ortamında gözlenmesidir. Şekil 6.2c.'de 800x800 pixel 3 metreye kadar net görüş sağlayan kamera eklenmesi ve Python dili ile yazılan çember merkezi bulma yazılımının denenmesidir. Şekil

6.2d.'de su altı aracında kullanılacak sonar sisteminin denemeleri yapılmaktadır. 2 metreye kadar algılaması olan ultrasonik sensörün servo motor yardımıyla sonar gibi kullanılması amaçlanmaktadır. Su altı aracının otonom sürüş görevlerinde yönelme algoritmasının işleyebilmesi için sistemin kamera verisi, IMU sensör verisi ve tasarlanan sonar verisi birleştirilerek navigasyon sistemini oluşturmaktadır.



Şekil 6.3. Su altı aracı simülasyon düğüm bağlantısı

Sistemin kontrolü ve görüntü işleme kısmı Raspberry Pi 4 üzerinde gerçekleştirilecek ve Ethernet üzerinden kontrolcü bilgisayara ROS yazılımı ile yayınlanacaktır. Şekil 6.3.'te robotun motor kontrolleri, sensör verileri ve görüntü işleme düğümleri gösterilmektedir. Oluşturulan düğümler Ethernet üzerinden 1 ms gecikme zamanı ile kontrolcü bilgisayara aktarılmaktadır.

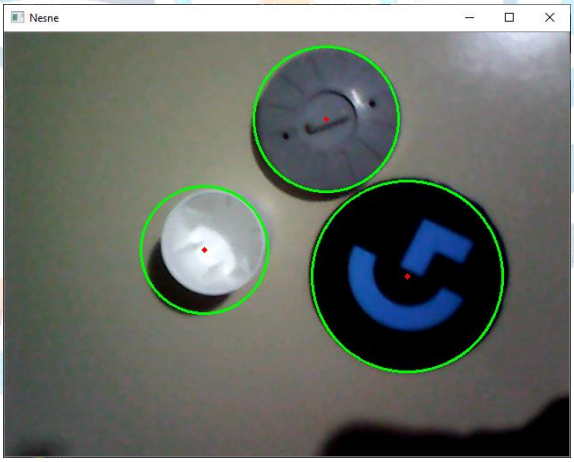
7. TECRÜBE

Ön tasarım süreci sonrasında, görüntü işleme sürecini de içinde barındıran farklı projelerde Raspberry Pi 3 B+ kontrol kartının yetersiz kaldığı ve fazla ısındığı gözlemlenmiştir. Bu sorunun giderilmesi ve işlem gücünün artırabilmesi için Raspberry Pi 3 B+ kontrol kartı Raspberry Pi 4 kontrol kartı ile değiştirilmiştir.

Simülasyon denemelerinde IMU sensöründen alınan verilerin program yazılırken yanlış değerlendirilmesi ile aracın dengesinin sağlanması için çalışacak olan motorlar yerine diğer motorların çalışması gibi teknik sorunlarla karşılaşıldı ve edinilen yazılımsal ve donanımsal bilgiler ile tasarlanacak su altı aracında yapılacak hatalar montajdan önce tespit edildi.

Güç ve ara bağlantılarda yaşanan hataların daha sonra tekrarlamaması için doğru bağlantılar yapıldıktan sonra sökülmeden önce markalama yöntemiyle kablolar ve bağlantı noktaları numaralandırılmıştır.

Aracın ortasından geçmesi gereken çemberin algılanma sürecinde kullanılan fonksiyondaki parametrelerin yanlış yazılması sonucu kameradan alınan görüntüde bulunan yarı çapa sahip her cismin görülmesi. Yapılan parametre iyileştirmeleri ile yakalanan çemberlerin sayısının azaltılması ancak kameranın aynı anda birden fazla çemberi algılamamasından dolayı parametrelerdeki ikinci bir değişiklik ile aracın aynı anda üç farklı çemberi algılaması sağlanmıştır. Şekil 7.1.'de üç farklı çaptaki çembersel cisimlerin algılanması gösterilmektedir.



Şekil 7.1. Kameranın 3 farklı çembersel cismi aynı anda algılaması

Araştırmalarımız sonucunda su geçirmez özelliği bulunan motorların fırçasız DC motorların izole edilmesi ile oluştuğu ve elimizde bulunan başka projelerde kullanılmış fırçasız DC motorlar ile hareket yönleri konusunda test imkânı bulunmuştur. Ama sürekli kullanımda motorların veriminin düştüğü ve çekilen akımın arttığı gözlenmiştir. DC fırçasız motorların fiyatının su geçirmeyen DC fırçasız motorlara göre daha uygun olması bir avantaj olsa da izolasyonların yapılma zamanı bir dezavantajdır. İzolasyon zamanı ve izolasyonun risk barındırması göz önüne alındığında yerine su geçirmez motor almanın daha mantıklı olduğu tespit edilmiştir.

8. ZAMAN, BÜTÇE VE RİSK PLANLAMASI

Şekil 8.1. Yarışma zaman çizelgesi

Tablo 8.1. Zaman planlaması

İş Planı (Tanımı)	Zaman Planlaması																															
	Ocak				Şubat				Mart				Nisan				Mayıs				Haziran				Temmuz				Ağustos				Eylül			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Yarışmanın Araştırılması																																				
Kategori Belirleme																																				
Kategori Hakkında Bilgiler																																				
Takım Tanıtımı Yapılması																																				
Literatür Araştırması																																				
Bilgilerin Değerlendirilmesi																																				
Proje Genel Planlama																																				
Yarışma Başvurusu																																				
3B Bilgisayar Modelleme																																				
Malzeme Seçimi																																				
Algotirma Oluşturulması																																				
Ön Tasarım Raporu																																				
Kritik Değerlendirme																																				
Envanter Kullanımı																																				
Malzeme Tedariği																																				
Üretim ve Montaj																																				
Yazılım Geliştirilmesi																																				
Sızdırmazlık Testi																																				
Hareket ve Kabiliyet Testi																																				
Kritik Tasarım Raporu																																				
Arayüz Geliştirilmesi																																				
Sızdırmazlık Raporu																																				
Finalitslerin Belirlenmesi																																				
Kumanda Birimi Adaptasyonu																																				
Yarışma																																				

Tablo 8.2. Bütçe planlaması

Bütçe Planlaması					
Ürün Açıklaması		Adet	Birim Fiyat (₺)	KDV (₺)	Toplam Fiyat (₺)
Ana Gövde	Ana Gövde (Üç Boyutlu Baskı)	1	3000	540	3540
	Tutucu Kol (Üç Boyutlu Baskı)	1	354,51	63,81	418,32
	Pervane (Üç Boyutlu Baskı)	6	57,24	10,30	405,26
	Pleksi Prizma	1	200	36	236
Kontrol Birimi	Raspberry Pi 4 4 GB	1	463,08	83,55	546,43
	Raspberry Pi Orjinal Kutu	1	46,29	8,33	57,62
	Raspberry Pi Orjinal Adaptör 5V 3A	1	74,91	13,48	88,39
	Raspberry Pi Kamera Modülü Gece Görüşlü 5MP	1	187,78	33,80	221,58
	Samsung EVO Plus 64GB 95 MB/s microSDHC Kart	2	90,95	16,37	214,64
	DC-DC Konvertör Modülü	3	44,01	7,92	155,80
	Raspberry Pi için 16-Kanal PWM / Servo Motor Kontrol Kartı	1	80,52	14,49	95,01
	BME280 Nem, Sıcaklık ve Basınç Sensörü I2C ve SPI Uyumlu	1	149,96	26,99	176,95
	9-DOF Mutlak Oryantasyon IMU Füzyon Tümleşik Kartı	1	254,28	45,77	300,05
	Su Geçirmez RJ45 Fiş Konnektör	4	34,51	6,21	162,89
	Su Geçirmez 3 Pin Düz Konnektör	12	4,56	0,82	64,57
Hareket ve Çevre Birimleri	GoolRC Su Geçirmez F540 – 3930KV Fırçasız Motor 45 Amper Elektronik Hız Kontrolcüsü – Motor Sürücü	6	411,47	74,42	2927,37
	Servo Motor (Tutucu Kol – 20 kg Dijital)	1	159,60	28,73	188,33
	Servo Motor (Kamera Yönlendirme)	2	30,64	5,52	72,31
	JSN-SR04T Su Geçirmez Ultrasonic Mesafe Ölçer Sensörü (Transducer)	4	55,09	9,92	260,02
Kumanda Ünitesi ve Bağlantı	Ethernet Kablosu (CAT6 – 30 Metre)	1	28,33	5,10	33,43
	Makaralı Uzatma Kablosu (30 Metre)	1	154	27,72	181,72
	TP-LINK TL-WR940N 450 MBPS Modem	1	177,97	32,03	210,00
	Microsoft Xbox One Wireless Oyun Kumandası	1	338,14	60,87	399,01
	Siemens C 40 Amper Otomat Sigorta	1	18,84	3,39	22,23
	Su Geçirmez Acil Stop Butonu (IP67)	3	13,48	2,43	47,72
	12 Volt 500 Watt 40 Amper Adaptör Trafo IP20	1	84,75	15,26	100,01
Diğer	Bakır Plaket (20x20 – FR2)	5	9,78	1,76	57,70
	Soldex 40/60 Kurşunlu Lehim Teli	2	41,08	7,39	96,95
	Lötfett Felder Lehim Pastası	1	50,53	9,10	59,63
	Tek Damarlı Montaj Kablosu (Farklı Renklerde)	4	8,87	1,60	41,87
	Yoğunluğu Düşük Yüzer Malzeme (Deniz Makarnası)	4	5,51	0,99	26,01
				Toplam:	₺ 11407,82

Tablo 8.3. Risk planlaması

Risk Planlaması								
Risk Açıklaması	Etki Alanı	Risk Etkisi	Olasılık	Frekans	Şiddet	Risk Değeri	Değer Sonucu	Eylem
Sağlık Problemleri (Göz, El, Cilt, Solunum)	İnsan Sağlığı	İnsan	2	2	5	20	İnsan sağlığı etkilenebilir.	İş sağlığı ve güvenliği eğitimi verilmesi. Koruyucu ekipmanların temin edilmesi. En küçük bir sağlık sorununda en yakın sağlık kuruluşuna başvurulması.
Elektrik Kaçağı	İnsan Sağlığı ve Elektornik	İnsan ve Araç	4	0,1	5	2	İnsan sağlığı etkilenebilir. Aracın elektronik donanımında büyük hasara yol açması çok seyrek fakat oldukça mümkündür.	Kablo yalıtımının sağlıklı ve kontrollü yapılması. Güç birimi ile kontrol birimi arasında harici sigorta kullanılması.
Aracın Kontrol Dışı Hareketi	Elektronik ve Mekanik	Çevre ve Araç	1	0,1	1	0,1	Araç çevrede bulunan farklı cisimlere zarar verebilir. Aracın mekanik yapısında düzeltilebilecek hasar oluşması çok seyrek fakat mümkündür.	Acil stop butonu kullanılması.
Gerilim Dalgalanması	Elektronik	Araç	1	0,1	3	0,3	Aracın elektronik donanımında kalıcı hasar oluşması çok seyrek fakat mümkündür.	Yeterli donanıma sahip güç kaynağı seçilmesi.
Kontrol Biriminin Isınması	Elektronik	Araç	5	2	4	40	Aracın elektronik donanımında ciddi hasar oluşması kesindir.	Isı kontrolünün sensör aracılığı ile yapılması ve devrenin koruma moduna alınması

Tablo 8.3. Tablo 8.4. Risk planlaması (Devamı)

Risk Planlaması								
Risk Açıklaması	Etki Alanı	Risk Etkisi	Olasılık	Frekans	Şiddet	Risk Değeri	Değer Sonucu	Eylem
Kontrol Biriminin Su Sızdırma Durumu	Elektronik	Araç	2	1	5	10	Aracın elektronik donanımında büyük hasar mümkündür.	Nem kontrolünün sensör aracılığı ile yapılması ve nem (sızdırma) durumunda aracın güvenli moda geçmesi ve yetkili kişiler tarafından sızdırmazlık ekipmanlarının kontrol edilmesi.
Tutucu Kolun Malzemeyi Tutmaması	Mekanik	Araç ve Görev	2	1	2	4	Durumun yarışma anında gerçekleşmesi önemli sonuçlar doğurabilir.	Yedek tutucunun araca montajı. Test aşamısında kodların kontrol edilmesi ve önlemlerin alınması.
Kumanda Biriminde Sorun Çıkması	Kumanda	Araç ve Kontrol	2	1	2	4	Durumun yarışma anında gerçekleşmesi önemli sonuçlar doğurabilir.	Veri iletimini sağlayan bağlantıların kontrol edilmesi. Test aşamısında kodların kontrol edilmesi.

Tablo 8.3.'te bulunan değerler 0-5 aralığındadır.

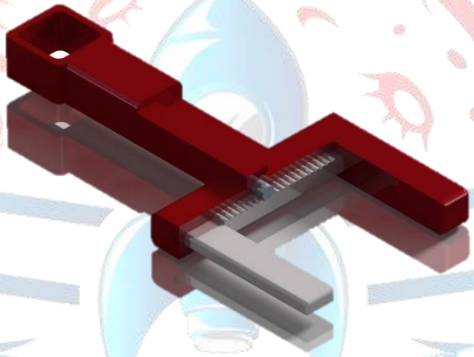
Olasılık değerleri riskin gerçekleşme ihtimalini belirtmektedir ve puanlaması şu şekildedir. 5 kesin; 4 oldukça mümkün; 3 olası; 2 mümkün ama düşük; 1 beklenmez ama mümkün, 0,1 beklenmez.

Frekans değerleri riskin gerçekleşme sıklığını belirtmektedir ve puanlaması şu şekildedir. 5 sürekli; 4 sık; 3 ara sıra; 2 sık değil; 1 seyrek; 0,1 çok seyrek.

Şiddet değerleri riskin gerçekleştiği durumdaki zararını belirtmektedir ve puanlaması şu şekildedir. 5 büyük zarar; 4 ciddi zarar; 3 kalıcı zarar; 2 önemli zarar; 1 önemsiz zarar; 0,1 zarar yok.

9. ÖZGÜNLÜK

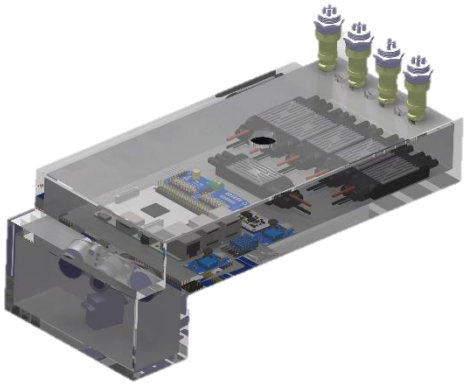
Gerçekleştirilen tasarımda bulunan, araştırma – geliştirme süresi uzun ve üretim maliyeti yüksek olan elektronik kartlar, motorlar, sürücüler ve güç kaynağı, gerilim dönüştürücü gibi temel parçalar dışında kalan; ana gövde, pervane ve amaca uygun tutucu kol bunun yanında sonar cihazı, dış arayüz ürünleri tarafımızdan tasarlanmaktadır ve gerçekleştirilmektedir. Bunun yanında aracın özgünlük içeren noktaları olan ana gövde, pervane, tutucu kol ve dış arayüz kısımlarının araştırma – geliştirme aşamaları önceki bölümlerde ayrıntılı olarak anlatılmaktadır. Aracın su üstünden kontrolünü sağlayacak kumanda birimi de tarafımızdan düzenlenerek bütün bir yapı haline getirilmektedir. Bu işlem kontrol masasının dış görünüş olarak da düzenli durmasını ve birimlere ulaşımı kolaylaştırmaktadır.



Şekil 9.1. Özgün tutucu kol tasarımı prototipi

Şekil 9.2. Özgün pervane tasarımı prototip çalışmaları

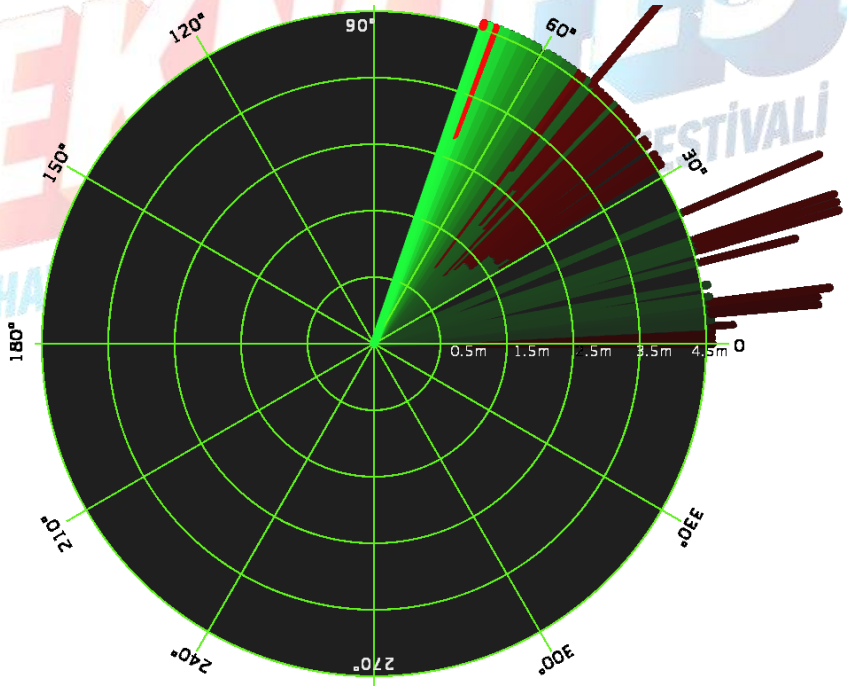
Diğer özgünlük içeren çalışmalardan birisi de proje aşamasında kullanılan gerekli elektronik devre kartları, DC – DC dönüştürücüler ve motor sürücülerin bir bütün olarak tek elektronik kart haline getirilmeleridir. Tek elektronik kart, kontrol biriminin anlaşılırlığı ve düzeni açısından önem arz etmektedir. Bu elektronik kart haricinde, elektronik yapıda gerekli olacak devre kartları da tarafımızdan tasarlanarak oluşturan elektronik kart üzerinde sabitlenecektir.



Şekil 9.3. Kontrol birimi ve hazırlanan tek parça kontrol kartı

Kameranın araç doğrultusundan bağımsız hareket edebilmesi için servo motorlar ile yön kontrolü yapılmaktadır. Bu yön kontrolü kumanda biriminde bulunan yetkilinin araç doğrultusunu değiştirmeden çevreyi tarayabilmesine olanak sağlamaktadır.

Otonom ve manuel olarak kullanılacak olan sualtı aracında kameranın olduğu kısıma, monte edilmesi düşünülen ultrasonik sensör, zeminde bulunan nesnelerin uzaklığını ve zemine olan yakınlık bilgisini kontrol ünitesine aktarmaktadır. Bir servo motor yardımı ile dönerek belirli bir alanda tarama yapacaktır. Sonar mantığıyla hareket edilecek olup sensörden kontrol ünitesine aktarılan bilgi tasarlanan arayüz ekranında bulunan sonar ekranı kısmından görüntülenebilecektir. Görüntülenen sonar ekranında ölçülen mesafe ve cismin eni hakkında bilgi alınabilmektedir. Sonar bilgi ekranı Şekil 9.4.'te gösterilmektedir.



Şekil 9.4. Sonar bilgi ekranı

Sonar ekranında sensörün ölçme mesafesi olarak, sensörün ölçebileceği maksimum mesafe olan 4,5 m olarak ayarlanmıştır. Eğer sensör önünde herhangi bir nesne veya engel yok ise sonar ekranı yeşil renkte tarama yapmaktadır. Önüne engel çıktığı, bir nesne yakaladığı zaman, sonar ekranında belirtilen mesafeye kadar yeşil renkte, kalan kısım dışa doğru kırmızı renkte olmaktadır. Böylece tarama yaparken nesnenin hem eni hem de yakınlığı görülmüş ve hesaplanmış olmaktadır.

Arayüz başlığı altında içerdiği elemanları tanıttığımız kumanda birimi prototipini, özgünlük bölümünde tasarım detayları açıklanmaktadır.

Şekil 9.5. Kumanda birimi prototipi

Prototip içerisinde bulunmakta olan bileşenlerin kumanda birimi içerisindeki konumları ve birbirlerinden ayrılma şekilleri Şekil 9.6.'da gösterilmektedir. Ünite içerisinde bulunan bölmeler sayesinde bileşenler birbirinden ayrılmakta ve kullanım sırasında oluşabilecek karışıklıklardan kaçınılmaktadır.

Şekil 9.6. Kumanda biriminin bileşenlerine ayrılmış görüntüsü

Şekil 9.6.'de gösterilmekte olan bölmeler güç kaynağı bölmesi, modem bölmesi, yedek kablo bölmesi ve yedek parça bölmelerinden oluşmaktadır. Güç kaynağı bölümü içerisinde sayılabilecek 220 V giriş ve 12 V gerilim çıkışı bulunmaktadır. Güç kaynağında düşürülen gerilim ünitesi içerisinde güvenlik önlemi olarak acil stop butonu bulunmaktadır. Ünitenin arka kısmında bulunmakta olan makara ile üniteden araca gidecek kablolar kullanılmadığı zaman toplu olarak tutulmasını sağlamaktadır.

Şekil 9.7. Kumanda biriminin kullanım dışı durumu

KAYNAKÇA

[1] Antonelli, G., Underwater Robots, 4th edition: Springer,USA, 2018.

[2] www.grabcad.com., Erişim Tarihi: 15.02.2020.

[3] www.makinaegitimi.com., Erişim Tarihi: 20.02.2020.

[4] Güngör, E., "Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği Kullanılarak Su Altı Araçları İçin Pervane Tasarımı Ve Analizi", İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Savunma Teknolojileri Programı, Yüksek Lisans Tezi, 2013.

[5] Çelik, F., Güner, M., "Nozullu Pervaneler İçin Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (Cfd) Uygulaması", Journal of Engineering and Natural Sciences Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, 2005.

[6] www.hobbyrcmodels.com., Erişim Tarihi: 10.03.2020.

[7] Yakut, M., Yılmaz, S., İnce, S., Otçu M., Aygün E.," Derinlik ve Yön Kontrol Uygulamaları için Sualtı Aracı Tasarımı", Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 2015.

[8] Bartell, S., Dueñas, J., Guerin, S., Pearson, M., "MAE156B." MAE156B. UCSD, n.d. Web. 30 Mar. 2019. https://sites.google.com/site/mae156b/

[9] Moore, S., Bohm, H., Jensen, V., Underwater Robots, MATE Education, USA, 2010.

[10] www.avys.omu.edu.tr., Erişim Tarihi: 25.02.2020.

[11] "Bixby: An underwater autonomous vehicle for the 18th annual robosub competition", http://auv.mcgillrobotics.com/wpcontent/uploads/2016/06/ResearchPaper2015.pdf., 2015.

[12] Agarwal, P.,Singhal S., "Design and Implementation of Motion Control Autonomous Underwater Vehicle", AUV-IITK, 2017.

[13] www.wiki.ros.org/Documentation.com., Erişim Tarihi: 20.02.2020.

[14] www.market.samm.com/raspberry-pi-3-b-plus.com., Erişim Tarihi: 15.02.2020.

[15] www.direnc.net., Erişim Tarihi: 05.03.2020.

[16] www.robotistan.com., Erişim Tarihi: 05.03.2020.

[17] Doğan, B., “Kendinden Hareketli Denizaltı Modeli Tasarımı Ve Prototip İmalatı”, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mekatronik Mühendisliği Programı, Yüksek Lisans Tezi, 2015.

[18] Masmitja, I., Masmitja, G., González, J., Shariat-Panahi, S., Gomariz, S., “Development of a control system for an Autonomous Underwater Vehicle”, IEEE Xplore, 2010.

[19] Vervoort, J., “Modeling and Control of an Unmanned Underwater Vehicle”, University of Canterbury, Department of Mechanical Engineering, Mechatronics, 2008.

ÖZGEÇMİŞ

Furkan YILMAZ, 09.04.1997 tarihin Kocaeli ilinin İzmit ilçesinde doğdu. İlk, orta ve lise eğitimlerini İzmit'te tamamladı. 2015 yılında İzmit Cahit Elginkan Anadolu Lisesi'nden mezun oldu. Öğrenim hayatına, 2015 yılında başladığı Sakarya Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Mekatronik Mühendisliği Bölümü'nde devam etmektedir. Mesleki ilgi alanları arasında yönetim sistemleri, yalın üretim ve mühendislik yazılımları yer almaktadır.

Halid ÇETİNKAYA, 05.10.1997 tarihinde Kocaeli ilinin İzmit ilçesinde doğdu. İlk ve orta okul eğitimini İzmit'te tamamladı. 2015 yılında Maşukiye Anadolu Lisesinden mezun oldu. 2015 yılında başladığı Sakarya Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Mekatronik Mühendisliği Bölümü'nde 4. sınıf öğrencisi olarak öğrenimine devam etmektedir. Mesleki ilgi alanları otomotiv mekatroniği, proses üretim sistemleri yer almaktadır.

Uygar Osman GÜL, 18.04.1997 tarihinde Kocaeli ilinin İzmit ilçesinde doğdu. İlk ve orta okulu İzmit'te tamamladıktan sonra liseyi Kartepe ilçesi Köseköy Pirelli Anadolu Lisesinde tamamladı. Sakarya Üniversitesi Çalışma Ekonomisi ve Endüstri İlişkileri Bölümü'nde 4.sınıf öğrencisi olarak öğrenimine devam etmektedir. Mesleki ilgi alanları veri bilimi ve istatistik yer almaktadır. Mesleki ilgi alanları dışında savunma sanayisi ve havacılık sektörlerini takip etmektedir.

Ahmet CENGİZ, 03.12.1997'de Kocaeli'de doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Kocaeli'de tamamladı. 2015 yılında İzmit Endüstri Meslek Lisesi'nden mezun oldu. 2015 yılında başladığı Sakarya Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Mekatronik Mühendisliği Bölümü'nü 2019 yılında bölüm 3. olarak mezun oldu. 2017 yılında başladığı Elektrik Elektronik Mühendisliği çift anadal programı ve 2019 yılında başladığı Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Mekatronik Mühendisliği Yüksek Lisans programında öğrenimini sürdürmektedir. Mesleki ilgi alanları arasında mühendislik yazılımları ve güç elektroniği yer almaktadır.