

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KENDİNDEN HAREKETLİ DENİZALTI MODELİ TASARIMI
VE PROTOTİP İMALATI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Berkay DOĞAN

Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Mekatronik Mühendisliği Programı

OCAK 2015

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KENDİNDEN HAREKETLİ DENİZALTI MODELİ TASARIMI
VE PROTOTİP İMALATI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Berkay DOĞAN
(518121003)**

Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Mekatronik Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Ali Fuat ERGENÇ

OCAK 2015

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 518121003 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Berkay DOĞAN**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**KENDİNDEN HAREKETLİ DENİZALTI MODELİ TASARIMI VE PROTOTİP İMALATI**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Yrd. Doç. Dr. Ali Fuat ERGENÇ**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Şeniz ERTUĞRUL**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Yrd.Doç. Dr. Türker TÜRKER
Yıldız Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **15 Aralık 2014**
Savunma Tarihi : **22 Ocak 2015**

ÖNSÖZ

Eğitim öğretim hayatım boyunca, her zaman benim yanımda olan anne ve babama, lisans ve yüksek lisans öğrenimim süresince benden desteklerini esirgemeyen hocam sayın Yrd. Doç. Dr. Ali Fuat ERGENÇ'e teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Makina Mühendisliği Yüksek Lisans öğrencisi İbrahim SAVRUKOĞLU, Gemi İnşaat Mühendisliği Doktora öğrencisi Münir Cansın Özden ve Denizaltı Teknolojileri Ar.Ge.San.Tic.Ltd.Şti. firması çalışanlarına değerli katkıları sebebiyle teşekkürlerimi sunarım.

Aralık 2014

Berkay Doğan
Kontrol Mühendisi

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖNSÖZ	v
İÇİNDEKİLER.....	vii
KISALTMALAR.....	ix
ÇİZELGE LİSTESİ	xi
ŞEKİL LİSTESİ	xiii
ÖZET	xvii
SUMMARY	xix
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Litaratür Taraması	2
1.1.1 Deney sistemleri.....	4
1.1.2 Sualtı haberleşme	8
2. GÖREV TANIMLARI.....	9
3. MODEL ÖN TASARIMI.....	13
3.1 Genel Sistem Tasarımı	13
3.2 Mekanik Yapı.....	13
3.2.1 Gövde	14
3.2.2 Pervane.....	16
3.2.3 Dümen ve sevk sistemi	17
3.2.4 Sevk sistemi hesaplamaları	19
3.3 Elektrik, Elektronik ve Kontrol Sistemleri.....	25
3.3.1 Dümen ve sevk sistemi.....	25
3.3.2 Navigasyon sistemi	27
3.3.3 Haberleşme	28
3.3.4 Kontrol kartı.....	28
3.4 Arayüz Yazılımı	30
4. ÖN TASARIM İNCELEME VE ANALİZLER	31
4.1 Pervane Analizleri	31
4.2 Dümen Sistemi Analizleri	34
4.3 Hidrostatik Analizler	40
4.4 Navigasyon Sistemi İncelemeleri.....	42
5. DETAY TASARIM	45
5.1 Mekanik Yapı.....	45
5.1.1 Gövde tasarımı	45
5.1.2 Pervane.....	46
5.1.3 Dümen sistemi	47
5.2 Elektrik ve Elektronik Sistemler	50
5.2.1 Dümen ve sevk sistemi	50
5.2.2 Navigasyon sistemi	50
5.2.3 Haberleşme	51
5.2.4 Kontrol kartı ve gömülü yazılım.....	51
5.2.5 Dümen ve sevk sistemi	54

5.3 Arayüz Yazılımı	54
6. MODEL İMALATI	57
6.1 Baş İmalatı	58
6.2 Gövde İmalatı	58
6.3 Flanş İmalatları	59
6.3.1 İmalat tezgahları	59
6.4 K1ç İmalatı	63
6.5 Dümen Sistemi İmalatı	64
7. SİSTEM ENTEGRASYONU.....	67
7.1 Arayüz, Haberleşme ve Kontrol Sistemi Entegrasyonu	67
8. MONTAJ ve KONTROL TESTLERİ.....	69
8.1. Kontrol Kartı Testleri	69
8.2. Montaj Testleri	70
9. PROTOTİP İNCELEMESİ	71
9.1 Konstrüksiyon.....	71
9.1.1 Sızdırmazlık.....	72
9.1.2 Montaj	78
9.1.3 Dayanım	83
9.1.4 Makine elemanları	83
9.2 Saha Testleri	85
9.2.1 Saha testleri değerlendirme	87
10. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	89
KAYNAKLAR	93
EKLER.....	95
ÖZGEÇMİŞ.....	99

KISALTMALAR

2B	: İki Boyut
3B	: Üç Boyut
ADC	: Analog Digital Converter
BLC	: Brushless Controller
CAM	: Computer Aided Manufacturing
CFD	: Computational Fluid Dynamics
CNC	: Computer Numerical Control
DARPA	: Defense Advanced Research Projects Agency
DC	: Direct Current
DTRC	: David Taylor Araştırma Merkezi
DVL	: Doppler Velocity Log
EHP	: Effective Horse Power
GPS	: Global Positioning System
HAD	: Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği
HDW	: Howaldtswerke Deutsche Werft
HP	: Horse Power
I2C	: Inter-Integrated Circuit
IMO	: International Maritime Organisation
INS	: Inertial Navigation System
INSEAN	: Istituto Nazionale Per Studi Ed Esperienze Di Architettura Navale
J	: İlerleme Katsayısı
kHz	: Kilohertz
K_Q	: Tork Katsayısı
K_T	: İtme Katsayısı
MİLDEN	: Milli Denizaltı
ms	: Mili Saniye
NASA	: National Aeronautics and Space Administration
PC	: Sevk Verimi
PMM	: Planar Motion Mechanism
PWM	: Pulse With Modulation
RC	: Remote Controller
RPM	: Revolutions Per Minute
SHp	: Şaft Beygir Gücü
SPI	: Serial Peripheral Interface
SVA	: Schiffbau Versuchsanstalt
UMN	: University of Minnesota
USART	: Universal Asynchronous Receiver/Transmitter
USBL	: Ultra Short Baseline
UTC	: Coordinated Universal Time
V	: Dalmış Durumdaki Hız
WS	: Pervane, Yelken ve Dümen diğer takımlar olmadan denizaltının ıslak alanı [feet ²]

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1: Kinematik viskozite tablosu.....	21
Çizelge 3.2: Gemi ana boyutları tablosu	21
Çizelge 3.3: Birimler arası dönüşümler.....	22
Çizelge 3.4: Prizmatik katsayılar.....	22
Çizelge 3.5: Reynold sayısı.....	22
Çizelge 3.6: Reynold sayısı ile hız dönüşümü.....	23
Çizelge 3.7: Sürtünme direnci katsayıları.....	23
Çizelge 3.8: Denizaltı form direnci katsayıları.....	24
Çizelge 3.9: Denizaltı hesaplamaları için gerekli katsayılar.....	24
Çizelge 3.10: Denizaltı modeli, hızlara bağlı sevk gücü.....	24
Çizelge 4.1: CFD analiz sonuçları ve yüzde hatalar.....	33

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1: DTRC tarafından tasarlanan Planar Motion Mekanizması.	4
Şekil 1.2: SVA Potsdam (Almanya) kullanılmakta olan PMM cihazı.	5
Şekil 1.3: Güney Kore’de kullanılmakta olan PMM cihazı.	5
Şekil 1.4: Rüzgar tüneli kullanılarak denizaltı manevra tahmini çalışmaları için.....	6
Şekil 1.5: NASA rüzgar tünelleri: (a)Darpa Suboff denizaltı modelinin akış deneyi (b)Albacore denizaltı modeli akış deneyi.....	6
Şekil 1.6: Kanada’da yapılan rüzgar tüneli testinden görüntü [8].	7
Şekil 1.7: Krylov Enstitüsü’nde(Rusya) batan nükleer balistik füze denizaltısı Kursk’un çıkarılması çalışmaları için yapılan rüzgar tüneli testlerinden bir görüntü [9], NASA’da (ABD) rüzgar tüneline yapılan denizaltı testleri.	7
Şekil 1.8: SVA Potsdam’da yapılan kendinden hareketli sualtı test aracı [6].	8
Şekil 2.1: Dönme dairesi manevrası [10].	10
Şekil 3.1: Model denizaltı taslak genel yerleşim planı.	14
Şekil 3.2: Model denizaltının planları.	15
Şekil 3.3: Model denizaltının profil görüntüleri.	15
Şekil 3.4: Model denizaltının profil görüntüleri.	15
Şekil 3.5: (a)Aracın sevk için tasarlanmış 7 kanatlı yüksek derece çalıklığa sahip denizaltı pervanesi. (b)Analiz koşulları belirlenmiş pervane. (c)Pervane yüzeylerinde basınç. (d)Yüzey basınçları ve renk skalası.	16
Şekil 3.6: Model denizaltı izometrik görsel.....	17
Şekil 3.7: Model denizaltı izometrik görsel.....	18
Şekil 3.8: Model denizaltı dümen bağlantıları.....	18
Şekil 3.9: Model denizaltı dümen milleri konstrüksiyonu.	19
Şekil 3.10: Hitec HS-7980TH 7.4V titanyum dişli servo motor.	26
Şekil 3.11: Sevk mekanizması test düzeneği.	26
Şekil 3.12: Xsens MTI-G-700 GPS/INS.	27
Şekil 3.13: İTÜ Güneş Teknesi Takımı’nda geliştirilen kart.	29
Şekil 3.14: Akım sensörü.	29
Şekil 3.15: Visual Studio 2012’de geliştirilmiş arayüz.	30
Şekil 4.1: Gemi izinde çalışan denizaltının basınç dağılımı.....	31
Şekil 4.2: (a)Yüzey tanımlanacak pervanenin 3B görseli. (b)Yüzey tanımlanmış 3B.....	32
Şekil 4.3: (a)Mesh atılmış pervane, tam ölçekli. (b)Tek kanadın detaylı mesh analizi.	32
Şekil 4.4: Çözüm ağı eleman yapısı.	32
Şekil 4.5: (a)Pervane ön yüzünde oluşan basınç. (b)Pervane arka yüzünde oluşan basınç.	33
Şekil 4.6: Pervane karakteristik eğrisi.	33
Şekil 4.7: ADAMS’ta modellenen denizaltının tam boy görseli.....	34
Şekil 4.8: Model kış paralel görseli.....	34

Şekil 4.9: Model kık izometrik görseli, ufki dümen mili ve bağlantıları.	35
Şekil 4.10: Model kık izometrik görseli, amudi dümen mili ve bağlantıları.	35
Şekil 4.11: Model ufki ve amudi dümenleri kontrol eden servo motorlar.	35
Şekil 4.12: Model izometrik görseli.	36
Şekil 4.13: Denizaltı ağırlık merkezi eksenlerinin tanımlanması.	36
Şekil 4.14: Model, yelken ve dümen yekelerinin tanımlanması.	36
Şekil 4.15: Modelin tam ölçekli analizi.	37
Şekil 4.16: Amudi dümenin sol uçtan sağ uca kırılması.	37
Şekil 4.17: Servo motor ve amudi dümen milinin açısal pozisyon değişimi.	38
Şekil 4.18: Ufki dümenin yukarı uçtan aşağı uca kırılması.	38
Şekil 4.19: Servo motor ve ufki dümen milinin açısal pozisyon değişimi.	39
Şekil 4.20: Ufki dümen motoru ve bağlantıları üzerindeki titreşimler.	39
Şekil 4.21: Gambit programı, çözüm ağı.	40
Şekil 4.22: Gambit programı, çözüm ağı.	41
Şekil 4.23: Gambit programı, çözüm ağı.	41
Şekil 4.24: Gambit programı, çözüm ağı.	41
Şekil 4.25: ANSYS programı, simülasyon.	42
Şekil 4.26: FLUENT programı, simülasyon.	42
Şekil 4.27: Google maps'te araç ile takip edilen yolun haritası.	43
Şekil 4.28: MT Manager programında çizdirilen, yolun GPS ile desteklenen ataletsel seyrü sefer sistemi verileri.	43
Şekil 5.1: Aracın Keyshot programında alınmış renderı.	46
Şekil 5.2: Aracın iç yerleşiminin Keyshot programında alınmış renderı.	46
Şekil 5.3: (a)Solid CAM programında hazırlanan pervane bloğu. (b)G kod oluşturulurken. (c)G kod biterken.	47
Şekil 5.4: Amudi dümen milinin sevk mili ile çakışması.	48
Şekil 5.5: Dümen servo motorları ve sevk motorunun yeni yerleşimi.	48
Şekil 5.6: Sevk motoru montaj kanisteri ve dümen yekelerinin bağlantıları.	49
Şekil 5.7: Dümen yekelerinin ve servo motorların bağlantıları.	49
Şekil 5.8: MTI-G 700 sensörü ve kontrol kartı çalışmaları.	51
Şekil 5.9: MicroVision4-Keil programı, kara bilgisayarından alınan dümen.	52
Şekil 5.10: MicroVision4-Keil, arayüze gönderilecek veri paketinin oluşturulması.	52
Şekil 5.11: MicroVision4-Keil, PWM üretimi için zamanlayıcı ve UTC kodu.	53
Şekil 5.12: MicroVision4-Keil, okunan akım verisinin ortalamasının alınması.	53
Şekil 5.13: Visual Studio 2012 programında geliştirilen arayüz.	54
Şekil 5.14: Visual Studio 2012, ufki dümen pozisyonlarının kontrol kartına	55
Şekil 5.15: Visual Studio 2012 amudi dümen pozisyonlarının kontrol kartına	55
Şekil 6.1: Aracın tasarım değişikliklerinin ardından görünümü.	57
Şekil 6.2: Aracın tasarım değişikliklerinin ardından görünümü.	57
Şekil 6.3: Ahşaptan imal edilen baş kısmı.	58
Şekil 6.4: İşleme Merkezi dikey delik delme pozisyonu.	60
Şekil 6.5: İşleme Merkezi dikey delik delme pozisyonu.	60
Şekil 6.6: İşleme Merkezi dikey delik delme pozisyonu.	61
Şekil 6.7: İşleme Merkezi radyal yönde delik delme pozisyonu.	61
Şekil 6.8: Dikey freze.	62
Şekil 6.9: Üretilen parçalar ve teknik resimler.	62
Şekil 6.10: İmalat sırasında kırılan kestamid parça.	63
Şekil 6.11: Kık formunun et kalınlıklarının kritik olduğu noktalar.	64
Şekil 6.12: Lazer kesim dümen motorları şasesi.	65
Şekil 6.13: Dümen şaft yatakları.	65

Şekil 7.1: Gömülü sistem akış diagramı.....	68
Şekil 8.1: Kontrol kartı, motor sürme, veri toplama ve veri gönderme çalışmaları. .	69
Şekil 8.2: (a)Baş ve gövde bağlantıları tamamlanmış model. (a)Tornada imal edilen ön flinch kilit bağlantısı.	70
Şekil 8.3: (a)Montajı tamamlanmış paslanmaz çelik iskelet ve pleksi yüzeyler. (b)Montajı tamamlanan gövde ve ahşap baş.....	70
Şekil 9.1: Modelin genel ölçüleri.	71
Şekil 9.2: Pervane mili sızdırmazlık.....	72
Şekil 9.3: SKF marka kullanılan keçeler.	73
Şekil 9.4: Dinamik parçalarda kullanılan keçeler.....	73
Şekil 9.5: (a)Dümen şaftı tasarımı. (b)Dümen şaftında kullanılan ilave keçe. (c)Önceki dümen şaftı yatakları. (d)Son üretilen dümen şaftı yatakları ...	74
Şekil 9.6: Pervane sızdırmazlık tertibatı.....	74
Şekil 9.7: Dümen sızdırmazlık tertibatı.....	75
Şekil 9.8: Pervane milini yataklama yetersizliğinden dolayı eğilmesi ve sızdırma ..	75
Şekil 9.9: Mekanik bağlantı noktaları.	75
Şekil 9.10: Ön - Boru arasındaki sızdırmazlık tertibatı için kullanılan flanş bağlantısı.....	76
Şekil 9.11: Ön - Boru arasındaki sızdırmazlık tertibatı için kullanılan flanş parçası.	76
Şekil 9.12: Boru - Kıç arasındaki sızdırmazlık tertibatı için kullanılan flanş bağlantısı.....	76
Şekil 9.13: Boru - Kıç arasındaki sızdırmazlık tertibatı için kullanılan flanş parçası.	77
Şekil 9.14: Kıç - Motor yatağı arasındaki sızdırmazlık tertibatı.	77
Şekil 9.15: İmalatı biten motor yatağı.	77
Şekil 9.16: Dinamik aksam ilk tasarım.....	79
Şekil 9.17: Dinamik aksam ikinci tasarım.....	79
Şekil 9.18: Son durumda hareketli aksam montaj.	80
Şekil 9.19: Son durumda hareketli aksam montaj.	80
Şekil 9.20: Lazer kesim şasi.	81
Şekil 9.21: İç iskelet 3B çizim.....	82
Şekil 9.22: İç iskelet.	82
Şekil 9.23: Tek sıra bilyalı rulman.	84
Şekil 9.24: Eksenel rulman.....	84
Şekil 9.25: Model denizaltı sızdırmazlık testi.	86
Şekil 9.26: Model denizaltı sızdırmazlık testi.	86
Şekil 10.1: Değişen flanş bağlantıları ve sürgü sistemi.....	89
Şekil 10.2: Değişen flanş bağlantıları ve sürgü sistemi.....	90
Şekil 10.3: Yeni tasarım ve bağlantılar.	91
Şekil 10.4: Montajı tamamlanmış denizaltı modeli.....	91
Şekil 10.5: Yeni tasarımın kesit görseli.....	92

KENDİNDEN HAREKETLİ DENİZALTI MODELİ TASARIMI VE PROTOTİP İMALATI

ÖZET

Denizaltılar için hayati öneme sahip olan manevra kabiliyeti, günümüzde analizler sonucunda tahmin edilebilmektedir. Deneysel yöntemlerle belirlenecek manevra türevleri ise, manevra kabiliyeti hakkında öngörülemeyen durumları sağlayacaktır. Bu kapsamda tasarımı ve prototip imalatı yapılan model denizaltı, deneysel çalışmaların yapılabilmesi için bir platform, deney sistemlerinin gelişebilmesi için ise ilk adım olacaktır. Herhangi bir takıntısı olmadan, kablosuz haberleşip, bağımsız güç kaynağı ile sevk edilen model, istenilen manevra deneylerinin havuzda ve denizde yapılmasına imkan sağlayacaktır.

Akademik ve ticari kurumların denizaltı manevra kabiliyeti ve yeni denizaltı formları ile ilgili yaptıkları çalışmalar öncesi, yöntemlerini doğrulamak amacıyla uyguladıkları açık kaynak denizaltı formu olan DARPA Suboff modeli çalışmamızda tercih edilmiştir. Analiz ve hesaplamalar sonucu elde edilen denizaltı manevra türevleri, model deneyi yapılarak elde edilen manevra türevleri ile karşılaştırılacak, model verileri ile örtüşmesi halinde, analiz ve hesaplama yöntemleri ile bir başka denizaltının model deneyleri yapılmadan geometrisine dair manevra türevleri elde edilebilecektir.

DARPA Suboff boyutsuz denizaltı modelinin 250 mm çap ölçüsü altında boyutlandırılması yapılmıştır. Round of revolution olan geometri, 7 kanatlı INSEAN 1619 pervanesi ile sevk edilmesi kararlaştırılmıştır. Maksimum hızı 2.5 m/s olacak şekilde model deneyleri için geçiş hızları belirlenmiştir. Denizaltı hacmi 3B çizimden hesaplanmış, tasarım esnasında öngörülen ağırlık ile su içerisinde askıda kalması için gereken ağırlık ilişkisi kurulmuştur. Baş, gövde ve kış kısımlarında farklı malzemeler kullanılarak imalat gerçekleştirilmiş, imalat esnasında karşılaşılan sorunlar nedeniyle malzemelerde değişikliklere gidilmiştir.

Sevk için gerekli güç hesaplanmıştır. Sevk sistemi öncelikle boyut ve sonrasında tork isterleri sebebiyle revize edilmiştir. Dümen sistemi de yapılan analizler sonucu değişmiş, iki motor ve iki dümenli yapıdan, dört motor iki dümen konfigürasyonuna dönmüştür. Bir birleriyle ters yönlerde dönen, fakat senkron dümen hareketlerinde bulunması gereken motorlar için fonksiyon blokları oluşturulmuştur. Haberleşme için geliştirilen bloklar, toplanan akım, gerilim, pozisyon ve hız bilgilerinin kara bilgisayarına aktarılmasını sağlar. Kara bilgisayarından da modelin sualtı manevra bilgileri benzer haberleşme kod blokları ile kara bilgisayarından modele aktarılmaktadır. Model ve kara bilgisayarı arasında haberleşmenin akustik modem ile gerçekleştirilmesi hedeflenmektedir. Bunun yanında yazılım geliştirme ve test aşamalarında zigbee modülleri kablosuz haberleşmede kullanılmıştır.

Ataletsel Seyr Sefer sistemi olarak, Xsens firmasının MTI-G 700 sensörü kullanılmıştır. Altı eksen de açı ve ivme değeri sağlayan sensör, üç eksen de magnetometre verisi vermektedir. Kalman filitresi uygulanmış açısal ivme ve pozisyon verileri model üzerindeki kontrol kartında işlenip, pozisyon ve hız verisi olarak her 100ms’de bir kara bilgisayarına aktarılmaktadır.

İmalatı yapılan modelin sızdırmazlık testleri yapılmıştır. Tasarımda görülen mekanik eksiklikler değerlendirilmiş, yeni tasarım nerileri sunulmuştur. Bu neriler detay tasarım olarak tamamlanmış, son olarak sorunlar, çözüm yöntemleriyle sunulmuştur.

Elektronik kontrolü sağlanan modelin, mekanik tasarımı gelişme göstermekle birlikte havuz testlerinde zorluklar yaşanmasına sebebiyet vermiştir. Prototip imalatı yapılmış modelin revize edilerek tekrar imaline karar verilmiş, tekrar yapılan mekanik tasarım süresince bu tez kapsamında elde edilen tecrübelerden faydalanılmıştır.

FREE-RUNNING SUBMARINE MODEL DESIGN AND MANUFACTURING

SUMMARY

Maneuverability is vital for submarines, that can be estimated in the current calculation methods. The maneuver derivatives will be determined by the experimental method will provide for unforeseen circumstances in maneuverability. In this context, the design and production of a model submarine, which will be a platform to perform the experimental tasks, is studied. It will also be the first step for the development of test systems that has not any obsession resistance. Independent power supply models communicate wirelessly without any obsession.

Academic and commercial institutions must verify new forms and calculations before their work related to submarine maneuverability. To verify the form of DARPA Suboff model, the calculation method is verified with model experiment. Analysis and results of calculation obtained submarine maneuvers derivatives is compared to maneuver derivatives obtained by model tests. If the overlap of the calculation result is excepted, the calculation method will be verified. Without any model experiments a submarine maneuvers derivatives may be obtained and analyzed on the geometry calculation methods.

DARPA Suboff nondimensional model of the submarine is made by sizing diameter of 250 mm. The round of revolution geometry, it was decided to be propelled with the 1619 INSEE seven blades propeller. The maximum speed of 2.5 m/s, so that the transition rate is determined for the model experiments. Submarine volume was calculated from the 3D drawing. Design was established with the prescribed weight during weight relationships need to remain suspended in water. Head, body, and back, were carried out using different materials. Changes were made in material due to the problems that encountered during manufacturing.

Required power is calculated for propulsion system. Due to the size and torque prompts, propulsion system has been revised. The analysis results have changed the steering system. Two engine-two steering structure has been replaced with four engines and two steering structures. Rotating the rudders in a synchronous mode, each rudder on a plane must be turned opposite directions with the other rudder on the same plane. In two planes, four rudders are grouped in pairs. For this purpose, new function blocks are coded for steering.

A communication block is developed to transmit and receive data. The transmitted data includes, current, voltage, position and speed information. The position, velocity and torque commands are received from the land computer to model submarine. The information is received by a code block and there is a checksum control. The communication between the model and land computer will be carried out with an acoustic modem. However, zigbee modules are used to test the communication and codes. The embedded code and the user interface program are developed with this

modules. These are communicates via RS 232 protocol. This feature allows to change the modules with other modules that able to communicate via RS 232 protocol. After receiving the MICRON DATA Modems which are acoustic modems, the modules will be changed. The communication range will be expend from 10 feets to 300 feets.

As an inertial navigation system, MTI-G 700 which is a XSENS product is used. The sensor provides six-axis acceleration and angle data. In addition, it also gives three-axis magnetometer data. Angular momentum and position data are processed by applying the Kalman filter on control board. Calculated position and speed data is transferred to a land computer in every 100 ms. During this time period all the calculations run on the control board with 1ms sampling time.

The submarine model which is manufactured is tested about sealing. Mechanical defects were detected. As a result of the experiments, the mechanical design is changed. The propulsion system is designed to assemble easily from inside of the back part. For the leak proofing of the propulsion system, a special felt is used. It is possible to use two felts to get better leak proofing profile.

The rudder assembly design are changed three times. In the last design the rudder shaft bearings are assembled from outside of the back part. There are two screw threads on the back side on each bearing. Firstly, the bearings are assembled, then the shafts are positioned from inside towards outside.

Firstly, the propulsion system is assembled. After the shafts that posioned, the stteinless steel case is assembled. The steenless steel case carries four rudder motors. After all mechanical connections that on the back part, cable connections is completed to a junction board. The junction board has two main cable cables towards the body of the submarine model. Two cables have one male and one female connectors. Moreover, there are two cables in the body part that lies towards back side, have connectors that mate with the back side connectors. This connection method is preffered to prevent any connection disasters.

During the development of the model, body material is considered. Plexiglass material is used as the body. However, the material is not useful for this kind of sizes. In the next design, stainless steel will be preferred as a body material. According to body material the flañses were not worked as designed. The mate planes were choosed wrongly. There were leakage between the plexiglass and flañses from the mating faces. For this problem, a solution is found. The oring channels will be placed to mating faces and screws will be put pressure on this orings. So that, the pressure will extend the orings against the water.

Head, body, and rear part's assembly methods are changed. The mounting of the rear section is developed from the first design. On the other hand the mouting between head and the body is completely changed. The mechanical structure that needs to be placed in the body will be placed in to body from the head side with a slider mechanism. So that, this allows too much convenince to a person, who is doing research activity. Batteries, sensors, and the control board will be more accesible. The electrical connection between the rear part and slider system will be provided by connectors that fixed on slider side and the rear side. When the slider is going towards the rear, the connectors will mates and the connection will be completed.

In conclusion, the model that designed is manufactured and tested. Many electrical and mechanical problems were faced. All of them are tried to be solved with the first prototype. All the electrical problems are nearly solved. The mechanical problems are tried to solve with the facilities. Leakage proofing tests gave to much experience about mounting methods. This allows to consider about the different materials that used as head, body and rear. The compatibility between the parts must be the first priority. According to this, the mounting and sealing methods are getting position in design.

1. GİRİŞ

Denizaltı ve sualtı araçları 20. yüzyılın başlarında kullanılmaya başlanmış ve günümüzde askeri, petrol arama, bilimsel araştırma ve turistik amaçlarla kullanılmaktadırlar. Boyu birkaç santimetre olabilen insansız sualtı araçlarından, yüzden fazla personele ve 200 m'ye yakın boya sahip nükleer denizaltılara kadar çok çeşitli boylarda olanları inşa edilmekte ve kullanılmaktadır.

Denizaltılar ülkemizde özellikle askeri amaçla kullanılmaktadır. Dünya üzerinde inşaa edilmiş ilk denizaltılar arasında sayılan Abdulhamit ve Abdulmecit Denizaltıları ile başlayan Türk Denizaltıcılık tarihi, günümüzde yakıt pili ile tahrik edilen Yeni Tip Denizaltı Projesi ile devam etmektedir. Başlangıçta İngiltere ve Hollanda tasarımı olan denizaltıların ülkemizdeki askeri tersanelerde inşaa edilmesiyle kazanılan ilk denizaltılara 2. Dünya Savaşı sonrasında Amerika Birleşik Devletleri'nden alınan denizaltılar eklenmiş ve 1970'li yıllardan başlanarak Gölcük Tersanesi'nde Alman HDW Tersanesi'nin lisansıya denizaltı inşaa başlamıştır. Deniz Kuvvetleri Komutanlığı, 2009 yılında anlaşması imzalanan Yeni Tip Denizaltı Projesi'nin Türkiye'nin yurtdışından alacağı son denizaltı tasarımı olduğunu açıklamış ve Savunma Sanayii Müsteşarlığı 2012 yılında MİLDEN Projesi'ni resmen başlatmış ve 2015 yılında bu aracın fizibilite çalışmalarının tamamlanacağını açıklamıştır. Ülkemizde ilk defa denizaltı tasarımı yapılacak olması da bu konuda ciddi bir altyapı çalışması yapılmasını zorunlu hale getirmiştir.

Denizaltı tasarımındaki en önemli unsurlardan biri aracın dinamik stabilitesinin ve hareket kabiliyetinin saptanmasıdır. Bu konu günümüzde hala hesaplamalı olarak yeterli hassasiyette çözülememiş olduğundan ötürü deneye bağımlılığı sürdürmektedir. Denizaltı hidrodinamik stabilitesi birkaç farklı yöntemle belirlenebilmektedir. Bunlar, Planar Motion Mekanizması, rüzgar tüneli testleri ve kendinden hareketli modeller (free-running) üzerine takılan sensörlerle yapılan ölçümleri içermektedir. Reynolds sayısı 10.000.000 ile 12.000.000 olacak şekilde model ölçeğinde yapılan bu ölçümler gerçek boyutlu araçların hareketinin

modellenmesinde, ciddi ölçek etkileriyle karşılaşılmadan, güvenle kullanılabilir.

Mekatronik Mühendisliği Yüksek Lisans Tezi kapsamında yapılan bu çalışmada, kendinden hareketli (free-running) bir denizaltı modelinin tasarlanması, imal edilmesi ve aracın hareketini modellemeye yönelik çalışmalarda temel teşkil edecek elektromekanik altyapının tamamlanması hedeflenmektedir.

1.1 Litaratür Taraması

Denizaltı ve sualtı araçlarının 6 serbestlik dereceli hareketinin hesaplamalı ve deneysel olarak tahmini 1950’li yıllarda başlanarak üzerine çalışılmakta olan bir konudur. Hareket modellemesi öncelikle, tasarlanan bir aracın sualtında dinamik olarak stabil olup olmadığının kontrolü için geliştirilmiştir.

Zamanla bilgisayar teknolojisinin ilerlemesi ile otomatik dümen kontrol mekanizmalarının ve otopilotların geliştirilmesi ile hareketin hassas olarak matematiksel modellemesi daha da büyük önem arz eder hale gelmiştir. Bu çalışmada, denizaltının 6 serbestlik dereceli hareketinin modellenmesinde Amerikan David Taylor Model Havuzu tarafından kullanılan formülasyona sadık kalınmıştır[1] [2] [3].

Aracın dikey düzlemdeki dinamik stabilite analizi, normal kuvvet ve başkiç vurma momenti lineerleştirilmiş boyutsuz hareket denklemleri kullanılarak ileri yöndeki farklı hızlar için gerçekleştirilebilir. Laplace transformu kullanılarak denklem simultane olarak çözüldüğünde problem kübik bir hal almaktadır. Karakteristik denklem, (1.1)’de görülmektedir[1];

$$\begin{aligned}
 & [(Y_v' - m')(N_r' - I_z') - (Y_r' - x_G m')(N_v' - x_G' m')]s^2 \\
 & + \left[\begin{aligned} & (Y_v' - m')(N_r' - x_G' m') + Y_v^{(N_r' - I_z')} - N_v^{(Y_r' - x_G' m')} \\ & - (Y_r' - m')(N_v' - x_G' m') \end{aligned} \right] s \quad (1.1) \\
 & - Y_v'(N_r' - x_G' m') - N_v'(Y_r' - m') = 0
 \end{aligned}$$

Boyutsuz hidrostatik moment denkleminde M_θ' ötürü karakteristik denklemdeki boyutsuz kökler, hıza bağımlı olarak değişmektedir. Bu sebeple hareket de hıza bağımlı olarak değişmektedir ve osilasyonlu (sönümlenmemiş) veya aperiodyik

(sönümlenmiş) olmaktadır. Karakteristik stabilite denkleminin köklerinin negatif olması durumunda dinamik stabilite sağlanmış olmaktadır [1].

Metasentrik türevin sıfır olması durumunda, karakteristik denklem kübikten kuadratiğe dönüşmektedir. Hızın artmasıyla metasentrik türevin sıfıra yaklaşıyor olması nedeniyle “sonsuz” hız için denizaltının stabil olup olmadığına kuadratiğin sabit teriminin sırasıyla pozitif veya negatif olmasına göre karar verilmektedir. Metasentrik türevin hesaba katılmasının dinamik stabiliteyi artırıyor olması dolayısıyla da, denizaltının sonsuz hız için stabil olması, ileri yöndeki her hız için stabil olduğu anlamına gelmektedir [1].

Stabilite marjini değeri (G_v) (1.2)’de görülen formülle hesap edilmektedir;

$$G_v = I - M_w'(Z_q' + m')/[Z_w'(M_q' - x_G'm')] \quad (1.2)$$

Stabilite marjini, kuadratik denklemdeki sabit terimin çarpanlarından oluşmaktadır. Temel olarak bu ifade sabit terimin ne yönde ve ne oranda sıfırdan farklı olduğunun ölçütüdür. Eğer G_v değeri sıfırdan büyükse araç dinamik olarak stabildir ve sıfırdan küçükse stabil değildir. Stabilite marjin indeksi, aynı zamanda dinamik stabilitesini de vermektedir. 1.0 civarındaki bir değer, aracın çok yüksek oranda stabil olduğu anlamına gelmektedir ve diğer yandan sıfırdan biraz büyük bir değer, kısmi bir stabilite karakteri anlamına gelmektedir. Genellikle, dikey durumda çok yüksek bir stabilite karakteri, kış ufki dümen hareketlerine düzgün olarak cevap vermeyen bir araç anlamına gelmekte ve tercih edilmemektedir [1].

Yatay yönde metasentrik moment türevi bulunmadığı için yatay yönde hareketin karakteristik denklemini kuadrattır;

$$\begin{aligned} & [(Z_w' - m')(M_q' - I_y') - (Z_q' + x_G'm')]s^3 \\ & + \left[\frac{(Z_w' - m')(M_q' - x_G'm') + Z_w'(M_q' - I_y') - M_w'(Z_q' + x_G'm')}{(Z_q' + x_G'm')(M_q' - x_G'm')} \right] s^2 \\ & - [Z_w'(M_q' - x_G'm') + (Z_w' - m')M_\theta' - M_w'(Z_q' + m')] + Z_w'M_\theta' = 0 \end{aligned} \quad (1.3)$$

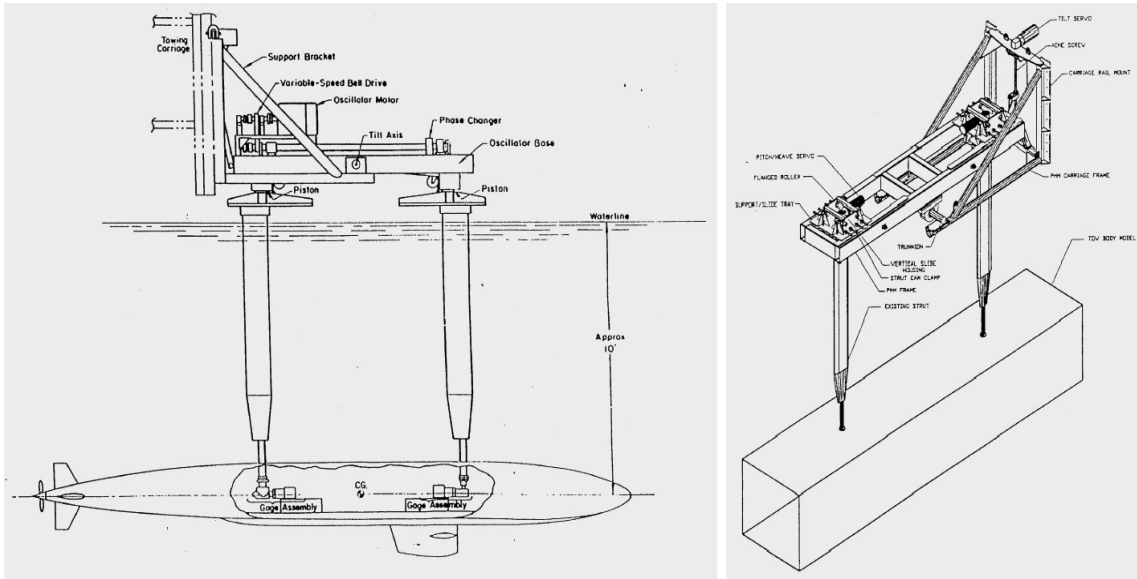
Bu yüzden, bu denklem sonucunda oluşan hareket her hız için aperiyoiktir. G_v ’ye benzer olarak G_h denklemi (1.4)’teki gibi yazılabilir;

$$G_h = I - N_v'(Y_r' - m')/[Y_v'(N_r' - x_G'm')] \quad (1.4)$$

Denizaltıların 6 serbestlik dereceli hareketinin simüle edilebilmesi ve stabilitesinin tahmininde kullanılan bu denklemlerdeki terimlerin hassas bir şekilde hesaplamalı olarak bulunabilmesindeki güçlüklerden ötürü deneysel yöntemlere başvurulmaktadır.

1.1.1 Deney sistemleri

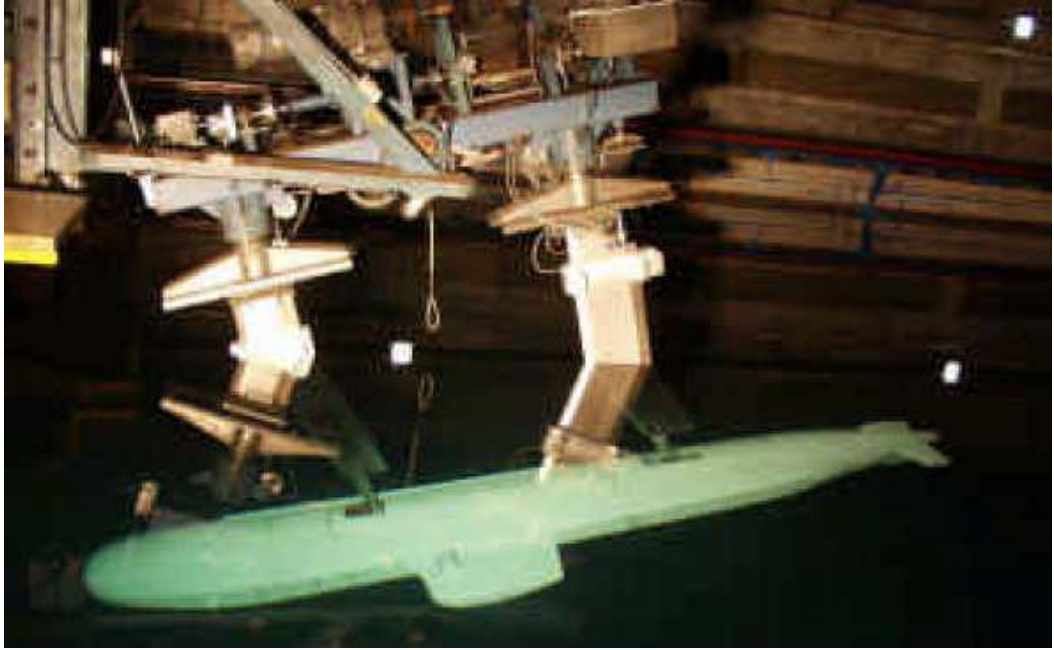
Bu deneysel yöntemlerden ilki David Taylor Araştırma Merkezi (ABD) tarafından geliştirilmiş olan Planar Motion Mekanizmasıdır (Şekil 1.1). Bu sistemde denizaltı modeli, hareketli bir tabla altında yer alan ayaklara monte edilerek su altında çekilmektedir. Tabla hareket ederek modele planlanmış hareketleri yaptırmakta ve model içine yerleştirilmiş sensörlerle model üzerine gelen kuvvet ve momentler ölçülmektedir [4],[5]. Bu sistemin benzerleri daha sonra Almanya (Şekil 1.2) ve Güney Kore (Şekil 1.3) gibi birçok ülkede de kullanılmaya başlanmıştır [6],[7].



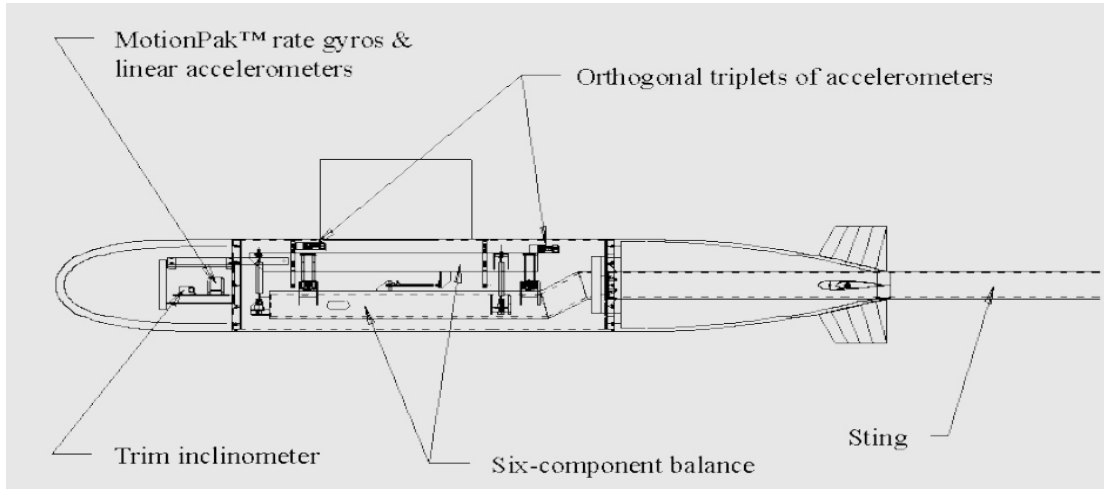
Şekil 1.1: DTRC tarafından tasarlanan Planar Motion Mekanizması.



Şekil 1.2: SVA Potsdam (Almanya) kullanılmakta olan PMM cihazı.

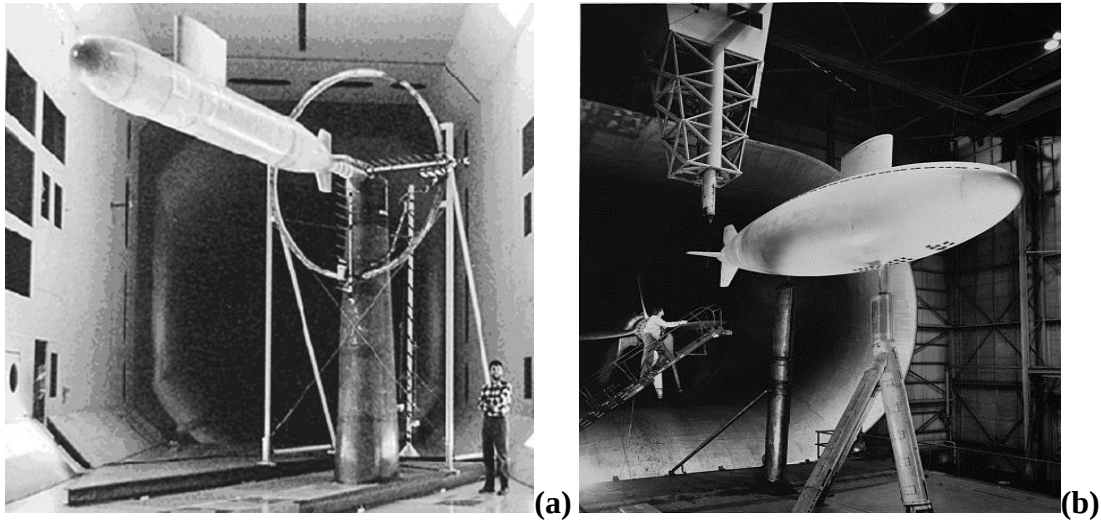


Şekil 1.3: Güney Kore’de kullanılmakta olan PMM cihazı.



Şekil 1.4: Rüzgar tüneli kullanılarak denizaltı manevra tahmini çalışmaları için hazırlanan modellerde kullanılan iç aksam [8].

Benzer şekilde, günümüzde hala kullanımı sürdürülen bir başka deneysel yöntem rüzgar tünelleridir. Çeşitli büyüklüklerdeki rüzgar tünellerinde, denizaltı modelleri tutucu kol üzerine yerleştirilmekte ve akselerometre, gyro ve strainageler aracılığıyla denizaltı hareket denklemlerindeki türevleri oluşturan kuvvet ve momentler deneysel olarak ölçülmektedir [8]. Bu deneylerde, gerçekte su altında hareket eden denizaltı, Reynolds sayısı benzerliği yaratılarak ölçek ve akışkan etkileri ihmal edilebilir derecede tutularak ölçümler gerçekleştirilmektedir. Şekil 1.5a, Şekil 1.5b, Şekil 1.6 ve Şekil 1.7’de rüzgar tünellerinde yapılan deneyler görülmektedir.



Şekil 1.5: NASA rüzgar tünelleri: (a)Darpa Suboff denizaltı modelinin akış deneyi. (b)Albacore denizaltı modelinin akış deneyi.



Şekil 1.6: Kanada'da yapılan rüzgar tüneli testinden görüntü [8].



Şekil 1.7: Krylov Enstitüsü'nde(Rusya) batan nükleer balistik füze denizaltısı Kursk'un çıkarılması çalışmaları için yapılan rüzgar tüneli testlerinden bir görüntü [9], NASA'da (ABD) rüzgar tünelinde yapılan denizaltı testleri.

Denizaltı manevra karakteristiklerinin ölçülmesinde kullanılan en hassas ve modern yöntem, denizaltının kendinden hareketli modeli ile yapılan testlerdir. Model kendinden hareketli olduğu için hiçbir kol, ayak vb. takıntı etkileşimi olmaksızın hassas ölçümler gerçekleştirilebilmektedir. Model içine gömülü bir bilgisayar ve bu bilgisayara bağlı sevk ve servo motorlarına ek olarak çeşitli sensörler yerleştirilmektedir. Verilen bir programlanmış güzergah üzerinde sevk ve dümen sistemleri aracı sevk ekmekte ve aracın tecrübe ettiği kuvvet, moment ve yörünge kayıt altında tutulmaktadır. Şekil 1.8'de Almanya'da kullanılan bir model görülmektedir.



Şekil 1.8: SVA Potsdam’da yapılan kendinden hareketli sualtı test aracı [6].

1.1.2 Sualtı haberleşme

Kendinden hareketli model platformunda haberleşme açısından ana iki kısım vardır. Birinci kısım kendinden hareketli model, diğer kısım kara istasyonudur. Model belirlenmiş rotayı takip ederken, karaya gerçek zamanlı veri aktarımında bulunur. Suyun manyetik sinyalleri absorbe etmesi sebebiyle, akustik modemler veya düşük radio frekansında yüksek güçlü modemler ile haberleşme yapılabilmektedir. Deney ve araştırma amaçlı kullanılan araçlarda boyut, güç, bütçe ve saha kriterleri göz önüne alındığında akustik haberleşme birimleri tercih edilmektedir. Kablosuz sualtı araçları ile akustik haberleşme, düşük veri aktarımı anlamına gelirken, mesafeye bağlı olarak potansiyel gecikmeler görülür[12].

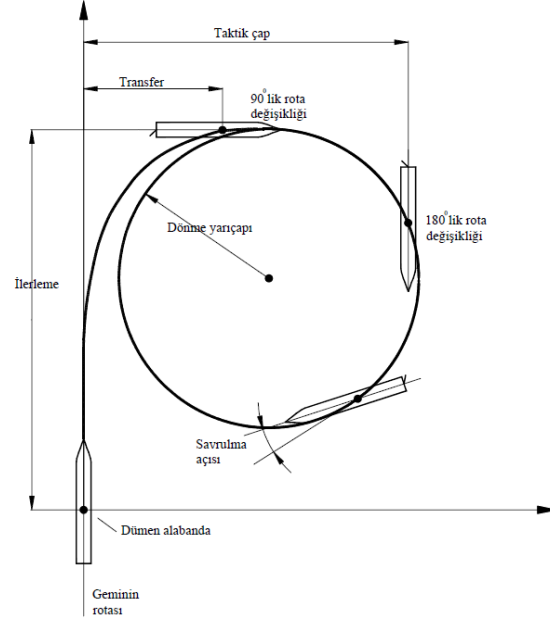
2. GÖREV TANIMLARI

Aracın boyutlarını belirlemekteki en önemli kısıt, testlerde uygulama kolaylığı sağlayabilecek şekilde bir toplam ağırlığa sahip olacak ve iki-üç kişi tarafından taşınabilecek bir boyutta tutulması zorunluluğudur. Ölçek etkisinin mümkün olduğunca az hissedilebilmesi için de uygun Reynolds sayısı benzerliği sağlanacak şekilde mümkün olduğunca büyük model kullanma zorunluluğu bulunmaktadır. Bu kısıtlar dahilinde, orijinali boyu 4.356 m ve çapı 0.508 m olan DARPA SUBOFF denizaltısı, ölçekli olarak küçültülmüş ve boyu 2.162 m ve çapı 0.25 m olacak şekilde düzenlenmiştir.

Bu model kullanılarak yapılacak testler Şekil 2.1’de görüldüğü şekilde denizaltı modeline uyarlanacaktır. Burada en önemli iki test ayrıntılı olarak açıklanmıştır. Bunlar; dönme dairesi ve zigzag testidir. Aracın dönme yeteneği, iki parametrenin ölçülmesi ile saptanır, aracın dümeninin alabanda edilmesi durumunda aracın başının 90° dönmesi için ileri yönde kaydettiği mesafe (ADVANCE) ve taktik çap (TACTICAL DIAMETER), aracın başının 180° dönüşünün sağlandığı andaki dönme çapıdır. Dönme dairesi manevrası, hem iskele hem de sancak yönüne dönme kabiliyetini görmek üzere gerçekleştirilir. Test sırasında dümen açısı test hızında sağlanabilen maksimum dümen açısı olarak alınır ancak 35°’den yüksek olması gerekmez.

Denizaltı modeli tasarımı esnasında, dümen açısı maksimum değerleri 30° olarak belirlenmiştir. Mekanik ve elektronik tasarım 1° hassasiyette dümen kontrolüne imkan verecektir.

10.000.000 ile 15.000.000 Reynold Sayısı altında, modelin maksimum hızı 18 knot için 2.5 m/s olarak belirlenmiştir.



Şekil 2.1: Dönme dairesi manevrası [10].

En basit manevra tecrübesi olup geminin dümen etkisi ile dönme kabiliyetini belirlemek amacıyla uygulanır. Değişik seyir hızları için bu tecrübe tekrarlanabilir. Denizaltının konumu INS sistemi ile belirlenecek ve harita üzerine çizilecektir. Tecrübe sırasında şu işlem sırası izlenecektir:

- Araç gerekli hızda doğrusal bir rota üzerinde sabitlenir,
- Ölçüm kayıt sistemi çalıştırılır,
- Dümen sancak veya iskele yönde 35° veya izin verilebilir en büyük açıya kadar döndürülür ve tecrübe süresince dümen ve makine kontrollerine müdahale edilmez,
- Dönme dairesi çapını belirleyebilmek üzere tecrübenin 360° dönme açısına kadar devam etmesi yeterlidir ancak diğer karakteristiklerin duyarlı bir şekilde belirlenebilmesi ve dış ortam faktörlerinin etkisi belirleyebilmek için tecrübe en az 540° , tercihen 720° dönme açısına kadar devam ettirilmelidir.
- Ölçüm kayıt sistemi durdurulur ve tecrübeye son verilir.
- **İlerleme:** Dümen kırma emri verilmesiyle denizaltının 90° dönmesine kadar geçen sürede gemi ortasının denizaltının orijinal rotası yönünde katettiği mesafe

- **Transfer:** Dümen kırma emri verilmesiyle denizaltının 90° dönmesine kadar geçen sürede gemi ortasının denizaltının orijinal rotasına dik yönde katettiği mesafe
- **Taktik çap:** Dümen kırma emri verilmesiyle denizaltının 180° dönmesine kadar geçen sürede gemi ortasının denizaltının orijinal rotasına dik yönde katettiği mesafe
- **Sürekli dönme dairesi çapı:** Gemi sürekli dönme durumuna girdikten sonra sabitlenen dairesel yörünge çapı.
- **Sürekli dönmede hız kaybı:** Sürekli dönme yapan bir denizaltıda ortaya çıkan doğal hız kaybı.
- **90° dönme süresi:** Denizaltının orijinal rotasına dik konuma gelmesi için gerekli süre.
- **180° dönme süresi:** Denizaltının orijinal rotasına ters bir rotaya gelmesi için gerekli süre.

İkinci önemli manevra testi, zigzag deneyidir. Bu tecrübe aracın dümen dinleme, rota değiştirme ve dönme kontrol kabiliyetlerini belirlemek amacıyla gerçekleştirilir. Uygulanan dümen açısı (δ) ve ortaya çıkan dönme açısına (ψ) bağlı olarak (δ/ψ) zigzag manevra tecrübesi olarak adlandırılır. En çok 100/100 ve 200/200 zigzag manevra tecrübesi uygulanmaktadır. Sabit bir hızla ve düzgün bir rotada seyreden gemide dümen olabildiğince çabuk bir şekilde sabit bir açıya döndürülür (örneğin 200) ve geminin rotası aynı açıya gelene kadar dümen açısı sabit tutulur. İstenen rota sağlanınca dümen tam aksi yönde yine aynı derece kırılır ve bu işlem zigzag şeklinde tekrarlanır. Manevra sırasında dümen açısı ve geminin rotası sürekli kaydedilir ve plot edilir. IMO tarafından geminin rota değiştirme kabiliyetini belirlemek üzere 100/100 zigzag tecrübesi önerilmektedir. IMO ayrıca dönme kontrol kabiliyetlerini belirlemek üzere ek olarak 200/200 zigzag tecrübesi yapılmasını tavsiye etmektedir.

- Denizaltı gerekli hızda doğrusal bir rota üzerinde sabitlenir
- Ölçüm kayıt sistemi harekete çalıştırılır,
- Dümen 10° veya 20° sancak veya iskele yönde çevrilir,
- Denizaltının rotası dümen açısı ile aynı dereceye gelince dümen aynı miktarda zıt yönde çevrilir. Bu esnada gemi ataleti ile dümene zıt yönde

dönmeye dönecek ve bir müddet sonra dümen yönünde dönmeye başlayacak ve orijinal rotayı keserek dümen açısına ulaşacaktır.

- Denizaltının rotası dümen açısı ile aynı olunca dümen tekrar aynı miktarda ters yönde çevrilir
- İşlem denizaltının orijinal rotası en az iki kere kesilecek veya tercihen dümen beş kez döndürülecek şekilde tekrarlanır.
- Ölçüm kayıt sistemi durdurulur ve tecrübeye son verilir.

3. MODEL ÖN TASARIMI

3.1 Genel Sistem Tasarımı

Kendinden hareketli model sistemi yapılması hedeflenen deneyler ve görev tanımları açısından değerlendirildiğinde, en önemli özelliği modele hareketi veren PMM mekanizmasında olduğu gibi bir çift ayak veya rüzgar tüneline olduğu gibi modeli tablaya bağlayan bir kol bulunmuyor olmasıdır. Bu sayede model, bu kol veya ayaklarla etkileşim yapmaksızın hareketini serbest olarak tamamlayabilmekte ve bu esnada zamana bağlı olarak sevk sistemine ait gerilim, akım, RPM, dümen açıları, 6 ekseninde ivme, açı değerleri ve hesaplanan rotayı kaydedebilmektedir. Anlık olarak bu verileri aynı zamanda kara isitasyonuna aktarmaktadır.

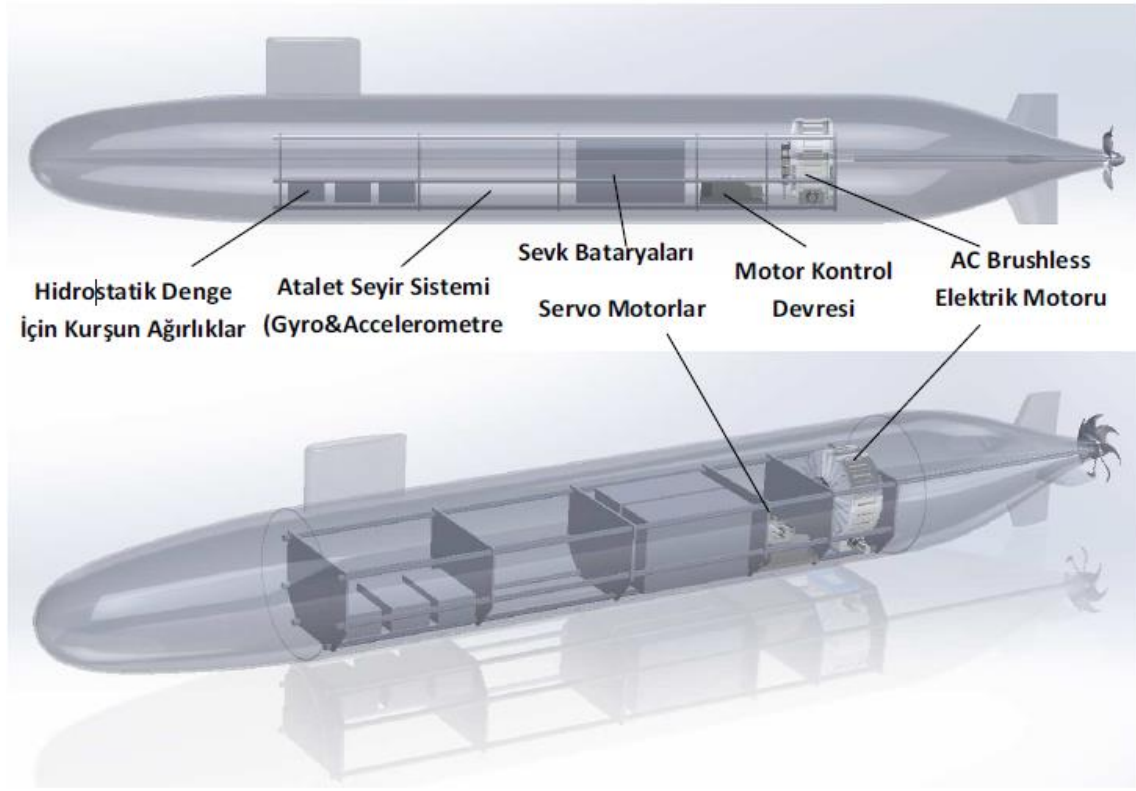
3.2 Mekanik Yapı

Sistem, model olarak literatürde manevra özelliklerine ulaşılabilen tek denizaltı tasarımı olan SUBOFF denizaltısının modelini ele almaktadır. Suboff denizaltısı, boyutsuz bir model niteliği taşımaktadır. Tam Boy/Çap, Tam Boy/ Baş, Tam Boy/ Paralel Gövde, Tam Boy/Kıç oranlarının sabit olduğu bir tasarımıdır. Literatür ve yapılması hedeflenen deney karşılaştırmalarında fayda sağlayacağı gözetilerek, akademik çalışmaların yoğun olarak yapıldığı, 250 mm çap ölçüne sahip boyutsuz modelin tasarımının yapılması hedeflenmiştir.

Modelin silindirik gövdesi içi boş bir tüp şeklinde tasarlanmış ve bu kısma yerleştirilmek üzere bir metal iskelet üzerinde sabitlenecek sevk, kontrol ve algılayıcı sistemi seçilmiştir.

Manevra deney sistemine ait tüm bileşenler modüler bir yapıda bir silindir içinde yer aldığı için tek bir sistemin muhtelif denizaltı modellerinin denenmesinde kullanılması mümkün olacaktır. Bu denizaltıların baş ve kıç kısımları üretilerek modüler paralel gövdeye birleştirilmeleri yeterli olacaktır.

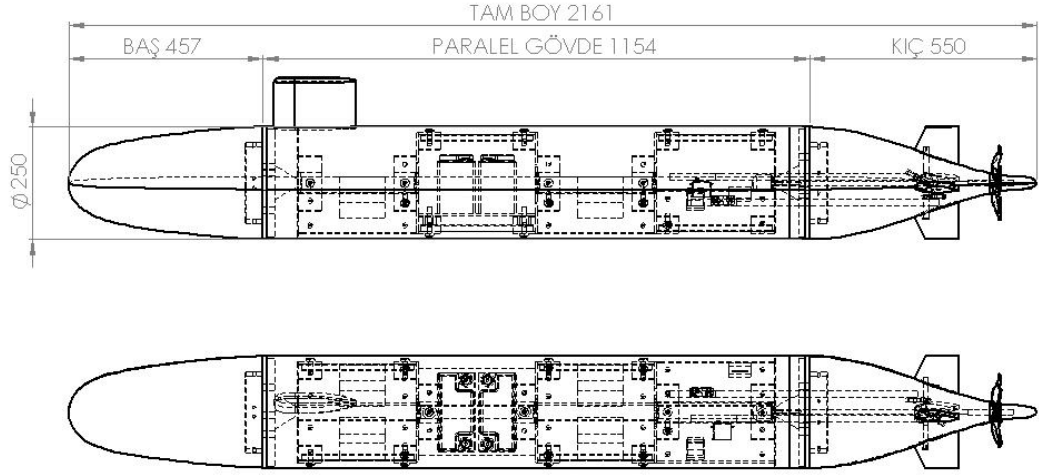
Yapılan yerleşim planı Şekil 3.1’de görülmektedir.



Şekil 3.1: Model denizaltı taslak genel yerleşim planı.

3.2.1 Gövde

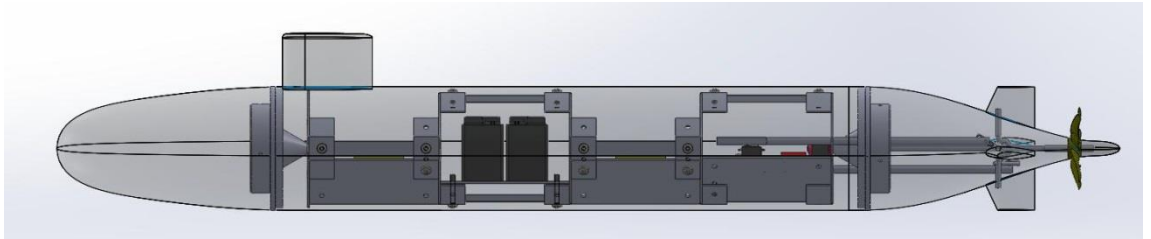
Farklı yoğunluklardaki su içerisinde görev esnasında askıda kalması, su üstü seyir ve acil durumda çıkışa imkan sağlamak amaçlı, aracın yoğunluğu kontrol edilebilir olmalıdır. Hesaplanan 0.93 m^3 'lük hacime karşın 90 kg tasarım ağırlığı hedeflenmiş, ekstra ağırlık olarak 3-4 kg kullanılması öngörülmüştür. Bu kabul altında aracın ağırlık ve hacim merkezi de gözetilerek yapılan yerleşim planında bölgesel ağırlık ve hacim çalışmaları yapılmıştır. Bölgesel hacim ve ağırlık çalışmaları, aracın yoğunluk profiline aykırı bir yerleşimin meydana gelmesini engellemek maksatlıdır. Yapılan çalışmalar Şekil 3.2'de görülmektedir.



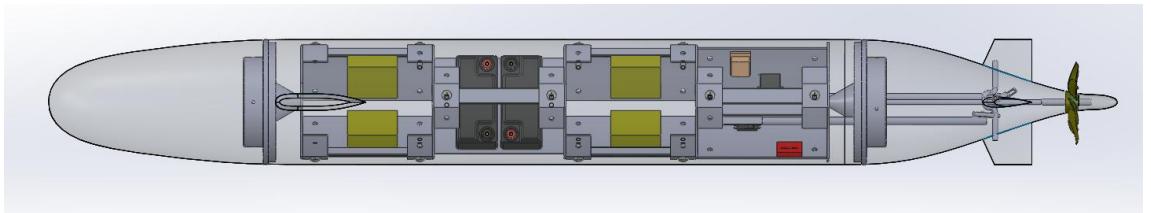
Şekil 3.2: Model denizaltının planları.

Aracın baş formunun imali ve bu esnada yaşanabilecek zorluklar düşünülerek, ahşap malzeme tercih edilmesine karar verilmiştir. Ahşah baş formunun içinin oyularak, kurşun ağırlık eklenmesi uygun bulunmuştur.

Aracın kık formu sevk ve dümen sistemlerini barındıracaktır. Hacim ve ağırlık dengesi 2. Planda tutulup imalat kolaylığı öncelikli kriter olarak değerlendirilmiştir. Malzeme olarak işlenmesi, metallere nazır çok daha kolay olan kestamit seçilmiştir. Şekil 3.3 ve Şekil 3.4'te model denizaltıya ait işlem görece paröaların bağlantıları görölmektedir.



Şekil 3.3: Model denizaltının profil görüntüleri.

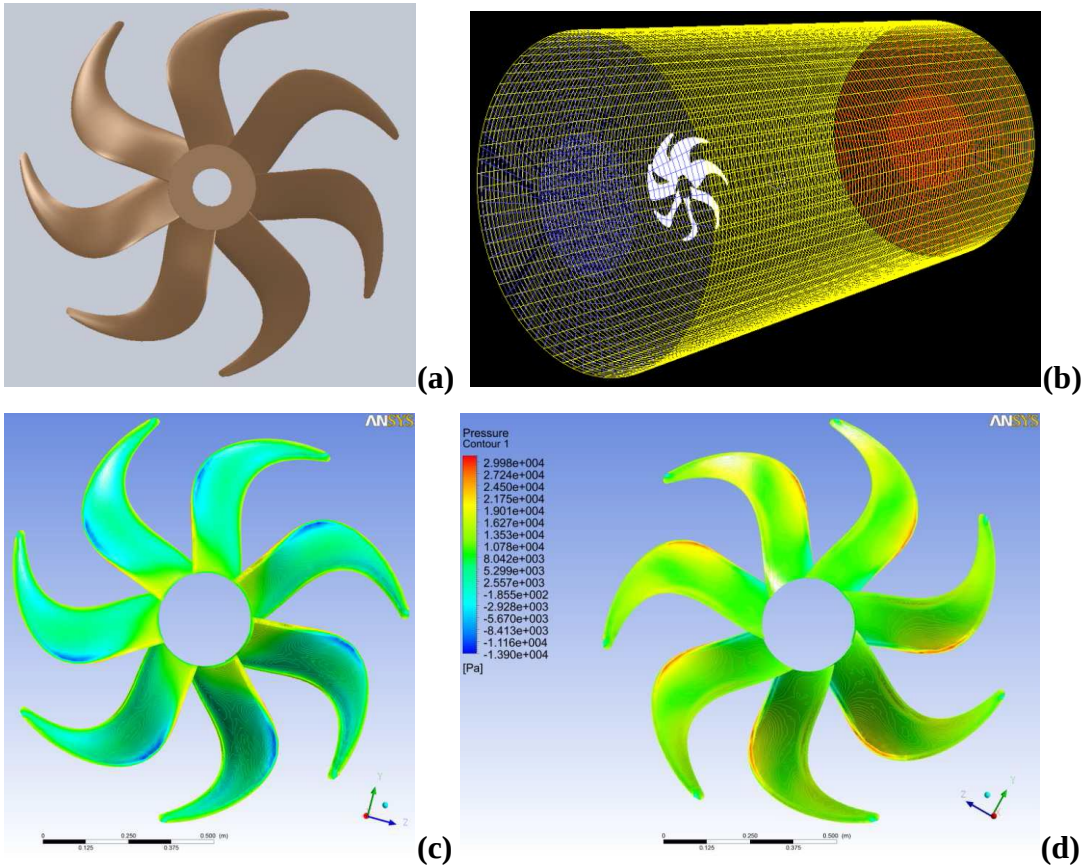


Şekil 3.4: Model denizaltının profil görüntüleri.

Ana gövdenin elektronik yapıyı taşıyacağı ve yapılan çalışmanın ilk prototip çalışması olduğu gözönüne alınarak pleksi bir dış kabuk ve güçlendirme için paslanmaz çelik bir iç iskeletin uygulanabilirliği değerlendirilmiştir. Pleksi tercihinde, su alınma durumunun görsel olarak ta tayininin kolaylığı önemli bir faktör olmuştur. İç iskeletin de ana gövde bölümünün baş ve kış kısımlarına bağlantılarında flanş kullanılması uygun bulunmuştur.

3.2.2 Pervane

Aracın suatlında sevk edilebilmesi için 7 kanatlı bir denizaltı pervanesi tasarlanmış ve bu tasarıma ait 3B model hazırlanarak Ansys Fluent programı yardımıyla CFD analizleri gerçekleştirilmiş ve pervanenin hidrodinamik performans karakteristiği doğrulanmıştır. Şekil 3.5a, Şekil 3.5b, Şekil 3.5c ve Şekil 3.5d'de yapılan çalışmalar görülmektedir.



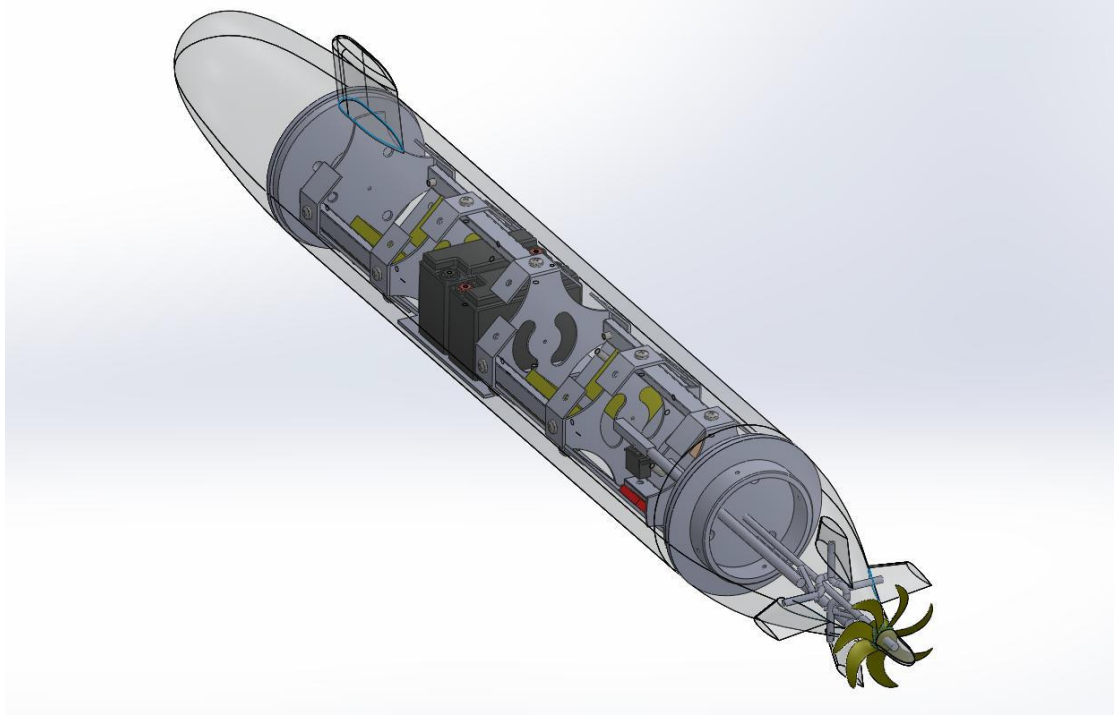
Şekil 3.5: (a)Aracın sevk için tasarlanmış 7 kanatlı yüksek derece çalıklığa sahip denizaltı pervanesi. (b)Analiz koşulları belirlenmiş pervane. (c)Pervane yüzeylerinde basınç. (d)Yüzey basınçları ve renk skalası.

Sistemin karada monte edilmesi ve çalıştırılmasının ardından, eş zamanlı olarak üretimi tamamlanmış olan pervane, denizaltı modeline yerleştirilecek ve deneyler

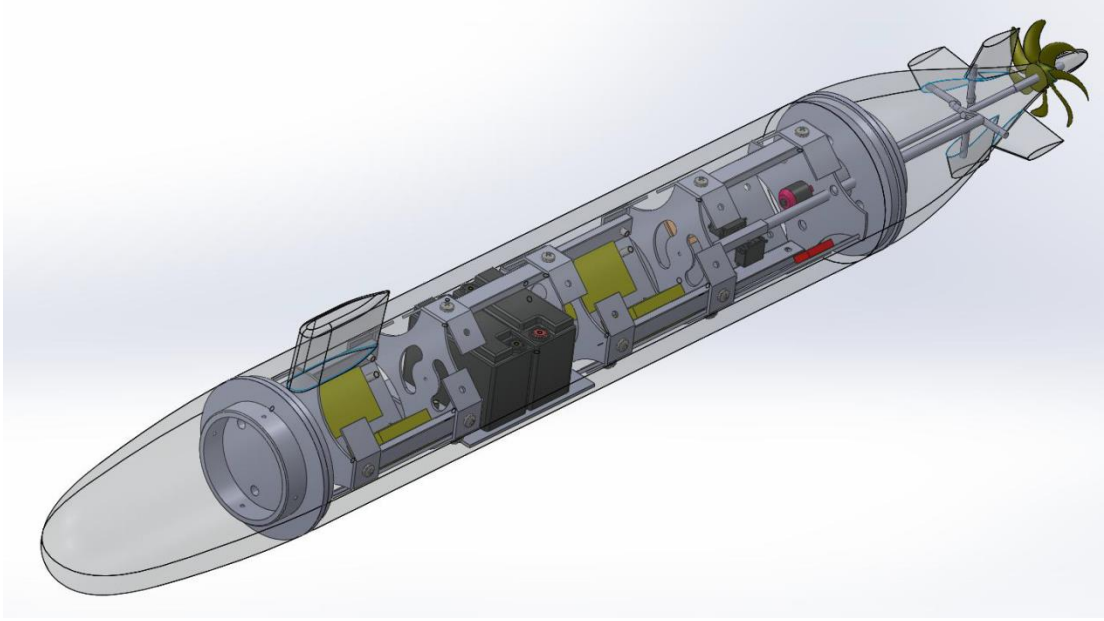
tamamlanacaktır. Yapılan ölçümlerden denizaltı modeline ait manevra türevleri saptanacak ve aracın hareketi, matematiksel olarak ifade edilecektir.

3.2.3 Dümen ve sevk sistemi

Denizaltı kontrolünde kullanılan iki ayrı dümen yapısı olan “+” ve “x” formlarından artı formu tercih edilmiştir. Mevcut denizaltı model çalışmaları incelenerek uygulanan çözüm yöntemleri değerlendirilmiştir. Yatay ekseninde bulunan ufki dümeni bir motor, dikey eksenindeki amudi dümeni bir motor kontrol edecektir. Sevk ve dümen motorlarının ana gövdede olduğu, aktarım organları ile hareketin dümen ve sevk millerine aktarıldığı yöntem benimsenmiş ve ilk tasarım bu doğrultuda yapılmıştır. Şekil 3.6 ve Şekil 3.7’de ilk tasarım görülmektedir. Ana gövde ile kışkırtıcı kısım arasındaki şaft geçişlerine sızdırmazlık elemanları yerleştirilecektir.

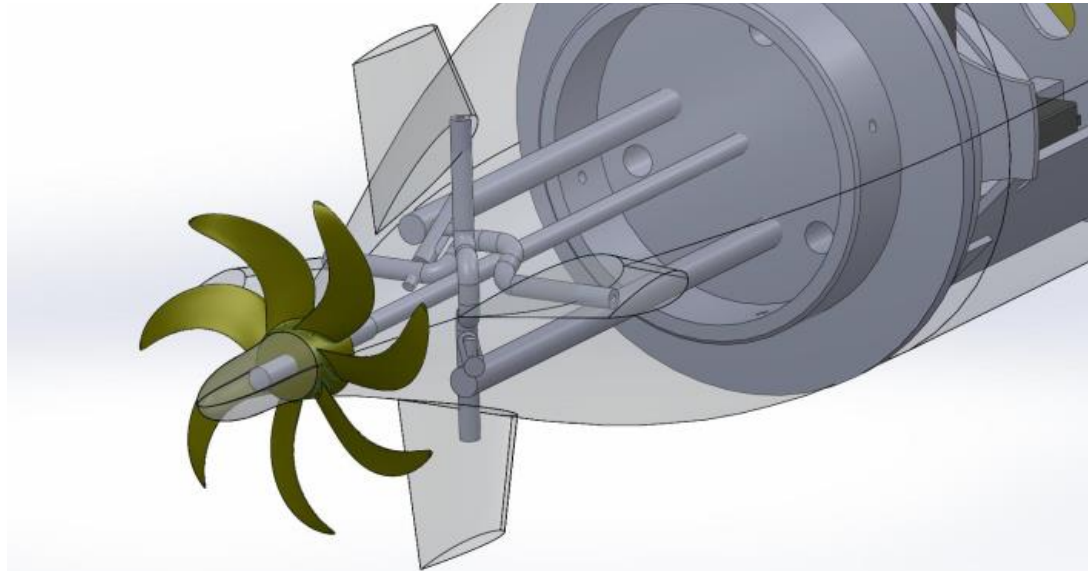


Şekil 3.6: Model denizaltı izometrik görsel.

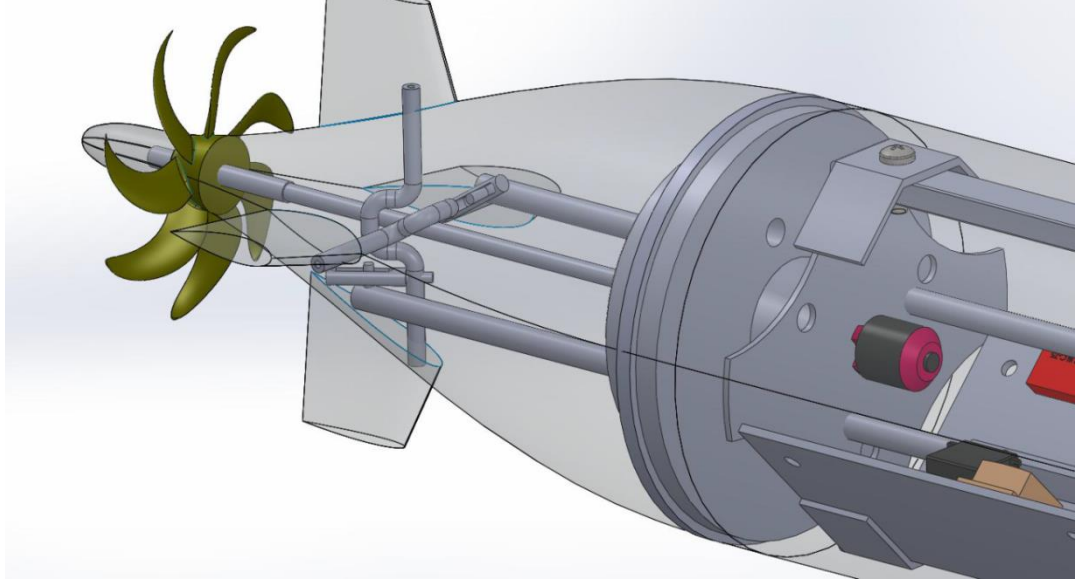


Şekil 3.7: Model denizaltı izometrik görsel.

Dümen ve sevk sistemi aktarımının mekanik olarak ana gövdeden kışa yapılmasının, araç güvenliğine katkısı mevcuttur. Sürekli olarak kuvvet altında çalışacak olan sevk ve dümen yapılarının bulunduğu bu kısımlarda oluşabilecek sızıntı ve su almalar araç elektroniğine zarar veremeyecek, gözlem altındaki aracın yoğunluk değişimi fark edilene kadar elektronik sistem korunmuş olacaktır. Yapılan çalışmalar Şekil 3.8 ve Şekil 3.9 görülmektedir.



Şekil 3.8: Model denizaltı dümen bağlantıları.



Şekil 3.9: Model denizaltı dümen milleri konstrüksiyonu.

Ufki ve amudi dümenlerin ikili olarak kendi içlerinde rijit bağlantıları vardır. İki ekseninde servo motorlar ile verilecek hareket, radyal hareketin lineer harekete dönüşüm ve tekrar radyal harekete dönüşüm şeklinde olacaktır. Bu dönüşümler neticesinde $\pm 30^\circ$ lik dümen hareketlerinin elde edilmesi gerekmektedir.

Ana gövdede sevk motorunun dört civata ile bağlandığı bir plaka, motor sürücünün civatalarıyla sabitlendiği bir yüzey ve akülerin hareket etmeyecek şekilde güvene alındıkları bir bölme yer alacaktır. Dümenlerin hareketini sağlayan şaftlar paslanmaz çelikten tornada imal edilecek ve servolara uygun şekilde bağlanılacaktır. Deneylerin uygun şekilde yapılabilmesi için modelin ağırlık merkezinin literatürde belirtilen kesin noktada yer alması gerekmektedir, bu sebeple iskelet üzerinde ağırlık merkezi üzerinde değişiklik yapabilecek şekilde kurşun ağırlıkların bağlanabileceği delikler de yer alacaktır.

İskelete bağlı olan sistem, çalıştığının kontrol edilmesinin ardından borunun içine yerleştirilecektir. Bunun ardından servolardan dümenlere giden şaftlar ve ana şaftın içinden geçtiği sızdırmaz kapak flence takılacaktır. Flençle kapak arasında silikon yağı ile yağlanmış oring yer alacaktır. Kapak üzerinde yer alan şaft geçişleri şaft boylarına göre seçilmiş yağ keçeleri ve rulmanlar ihtiva edecektir.

3.2.4 Sevk sistemi hesaplamaları

Çizelgelerde kullanılan fonksiyonlar, EK A'da bulunan matlab kodunda yer almaktadır.

$$SHP = EHP/PC \text{ ([HP])} \quad (3.1)$$

$$EHP=0.00872 \cdot V^3 \cdot [WS \cdot (C_f + C_a + C_r) + (S_s \cdot C_{ds}) + (S_a \cdot C_{da})] \text{ ([HP])} \quad (3.2)$$

Stenard 1988 tezinde 0.8 alınması tavsiye edilmiştir. Ancak bu tezde değerler ;

$PC = \eta H \cdot \eta_o \cdot \eta R$ formülüne göre her denizaltı için ayrı hesap edilmiştir.

V: Dalmış durumdaki hız [knot]

WS: Pervane, Yelken, Dümenler ve diğer takıntılar olmadan denizaltının ıslak alanı [feet²]

Sa: Dümenlerin (Baş ufki, Kıç ufki ve Amudi Dümenler) ıslak alanları [feet²]

Ss: Yelkenin ıslak alanı [feet²]

Cf: Sürtünme direnci katsayısı

$$C_f = \frac{0.075}{(\log(Re) - 2)^2} \quad (3.3)$$

Re: Reynolds Sayısı

$$Re = \frac{0.075}{(\log(Re) - 2)^2} \quad (3.4)$$

VRe: Hız [m/s]

Lmax: Geminin pervanesiz boyu. Geminin genel yerleşim resminden ölçülmüştür[m]

ν : Kinematik viskozite

$$\nu = [0.659 \cdot 10^{-3} \cdot (T-1) - 0.05076 \cdot (T-1) + 1.7688] \cdot 10^{-6}$$

T: Denizsuyu sıcaklığı [C°]

C_a: Korelasyon Katsayısı

$$C_a = 0.0004 \text{ (Stenard, 1988)}$$

C_r: Form Direnci Katsayısı

$$C_r = C_f \cdot [1.5 \cdot (D/L_{max})^{1.5} + 7 \cdot (D/L)^3 + 0.002 \cdot (C_p - 0.6)]$$

D: Denizaltının dış çapı [m]

C_p: Prizmatik Katsayı

$C_p = \text{midship env } A L V. \max$

V_{env} : Denizaltının yelkeni, dümenleri ve pervanesi hariç dış hacmi [m³] 3D modelden ölçülmüştür.

A_{midship} : Yelkeni olmayan denizaltının ortakesit alanı [m²]

C_{ds} : Yelkenin direnç katsayısı

$C_{ds} = 0,009$ alınmıştır. (Stenard,1988)

C_{da} : Dümenlerin direnç katsayısı

$C_{da} = 0,006$ alınmıştır. (Stenard,1988)

Çizelge 3.1: Kinematik viskozite tablosu.

Kinematik Viskozite Hesabı[ITTC 1999 Recommendations]			
T	Deniz Suyu Sıcaklığı [C°]	Kabul	15
v	Kinematik Viskozite	Fonksiyon	1,18732E-06

Çizelge 3.2: Gemi ana boyutları tablosu

	Boyutlar	Kaynak	Değer
L_{max}	Pervanesiz DA Boyu (TOSD p224) [m]	2B Çizim	2,047
D	Gemi Çapı (Denizaltılar için Gemi Genişliği Alınabilir) [m]	Model Verileri	0,25
A_{midship}	Ortakesit Alanı (Yelken Hariç) [m ²]	3B Çizim	0,049087385
V_{env}	Yelken ve Dümenler Olmadan Hacim [m ³]	3B Çizim	0,0837
WS	Islak Alan (Yelken, Takıntı ve Dümenler Hariç) [m ³]	3B Çizim	1,673
S_a	Islak Alan (Takıntı ve Dümenler) [m ²]	3B Çizim	0,0598
S_s	Islak Alan (Yelken) [m ²]	3B Çizim	0,0509

Çizelge 3.3: Birimler arası dönüşümler.

Birim Dönüşüm Ekranı			
	Çevrilen Birim	Oranı	Dönüşüm
L_{max}	Feet	3,2808	2,047
D	Feet	3,2808	0,25
A_{midship}	Feet square	10,7639	0,049087385
V_{env}	Cubic feet	35,3000	0,0837
V	m/s	0,5144	
WS	Feet square	10,7639	18,01
S_a	Feet square	10,7639	0,64
S_s	Feet square	10,7639	0,55

Çizelge 3.4: Prizmatik katsayılar.

Prizmatik Katsayı		Kaynak	Değer
L_{max}	Pervanesiz Denizaltı Boyu (TOSD p224)	Çizelge 3.2.4-2	6,72
A_{midship}	Ortakesit Alanı (Yelken Hariç) [m ²]	Çizelge 3.2.4-2	0,53
V_{env}	Yelken ve Dümen Olmadan Hacim [m ³]	Çizelge 3.2.4-2	2,95

Çizelge 3.5: Reynold sayısı.

Reynolds Sayısı Hesabı			
L_{max}	Pervanesiz Gemi Boyu [m]	Çizelge 3.2.4-2	2,047
v	Ortakesit Alanı (Yelken Hariç) [m ²]	Çizelge 3.2.4-1	1,18732E-06

Çizelge 3.6: Reynold sayısı ile hız dönüşümü.

V(Hız)[knot]	m/s	Fonksiyon	Reynold Sayısı
4	0,25		431011,2488
6	0,50		862022,4977
8	0,75		1293033,746
10	1,00		1724044,995
12	1,25		2155056,244
14	1,50		2586067,493
15	1,75		3017078,742
16	2,00		3448089,991
17	2,25		3879101,239
18	2,50		4310112,488

Çizelge 3.7: Sürtünme direnci katsayıları.

C_f – Sürtünme Direnci Katsayıları			
V(Hız)[knot]	V(Hız)[m/s]	Fonksiyon	C _f
4	2,06		0,005677729
6	3,09		0,004842363
8	4,12		0,004436469
10	5,14		0,004178658
12	6,17		0,003993852
14	7,20		0,003851805
15	7,72		0,003737536
16	8,23		0,003642612
17	8,75		0,003561853
18	9,26		0,003491866

Çizelge 3.8: Denizaltı form direnci katsayıları.

C_r – Form Direnci Katsayıları			
V(Hız)[knot]	V(Hız)[m/s]	Fonksiyon	C_r
4	2,06		0,000438538
6	3,09		0,000374015
8	4,12		0,000342665
10	5,14		0,000322752
12	6,17		0,000308478
14	7,20		0,000297506
15	7,72		0,000288681
16	8,23		0,000281349
17	8,75		0,000275111
18	9,26		0,000269705

Çizelge 3.9: Denizaltı hesaplamaları için gerekli katsayılar.

	Katsayılar		Değer
C _a	Correlation Allowence	Kabul-HJNS	0,0004
C _{ds}	Yelkenin Sürtünme Katsayısı	Kabul-HJNS	0,009
C _{da}	Takıntı ve Dümenlerin Sürtünme Katsayısı	Kabul-HJNS	0,006
PC	Propulsive Coeffiecent	Kabul-HJNS	0,85

Çizelge 3.10: Denizaltı modeli, hızlara bağlı sevk gücü.

V(Hız)[knot]	V(Hız)[m/s]	EHP[kW]	SHP[kW]
0,459221161	0,25	0,0001	0,0001
0,918442322	0,50	0,0006	0,0007
1,377663483	0,75	0,0017	0,0020
1,836884644	1,00	0,0039	0,0046
2,296105805	1,25	0,0074	0,0087
2,755326965	1,50	0,0123	0,0145
3,214548126	1,75	0,0191	0,0225
3,673769287	2,00	0,0279	0,0329
4,132990448	2,25	0,0391	0,0460
4,592211609	2,50	0,0527	0,0620

$$P_E = V_{\text{ship}} \times R_{\text{ship}} \quad (3.5)$$

$$R_{\text{ship}} = 21.1\text{N}$$

Darpa Suboff Denizaltısı'nın kendi kendine sevk (self-propulsion) üzerine yapılan hesaplamalı akışkanlar dinamiği çalışmalarında INSEAN E1619 pervanesi kullanılmıştır [11]. Burada aracın 2.5 m/s hızda yapılan analizlerde pervanenin itme katsayısı 0.2342 olarak bulunmuştur. Buradan hareketle bu çalışma kapsamında gerçekleştirilecek olan testlerde denizaltıyı 2.5 m/s hıza çıkarabilmek için aynı pervanenin 17 cm çapındaki modelinin kaç RPM ile dönmesi gerektiği hesap edilmiştir. Motorun devrini bu devire düşürecek redüktör seçimine başlanmıştır.

3.3 Elektrik, Elektronik ve Kontrol Sistemleri

Kendinden hareketli modelin sevk, haberleşme ve veri toplama görevlerini yerine getirebilmesi gerekmektedir. Deneyi takip eden sisteme, her hangi bir kablo bağlantısı olmadığı için ihtiyaç duyduğu gücü, üzerine yerleşik bir aküden karşılamaktadır. Aynı zamanda haberleşme için de her hangi bir kablo bulunmadığından kablosuz haberleşme yöntemi kullanılacaktır.

Tek bir kontrol kartı ile, veri toplama, servo motor sürme, araç içi haberleşme sağlanacaktır. Ataletsel seyrü sefer sistemleri ile su içindeki konum bilgisi elde edilecek, araç içi haberleşme ile alınan veri, kara bilgisayarına kart vasıtası ile aktarılacaktır.

3.3.1 Dümen ve sevk sistemi

Kıç ufki ve kıç amudi dümen bulunan Suboff modelinde, baş ufki dümen yoktur. Dümenlerin $\pm 30^\circ$ arasında açı kontrolünün yapılması gerekmektedir. Adım hassasiyeti 0.1° olacak şekilde tasarım yapılmıştır. Bu adım hassasiyeti ve dümenler üzerinde oluşacak yüzey kuvvetlerinin sisteme etki etmemesi gerektiği göz önüne alındığında, minimum 20 kg.cm tork üretebilen pwm kontrollü servo motorların kullanılmasına karar verilmiştir. Yapılan araştırma sonucu, Hitec HS-7980TH titanyum dişlili servo motorların kullanılması uygun görülmüştür.

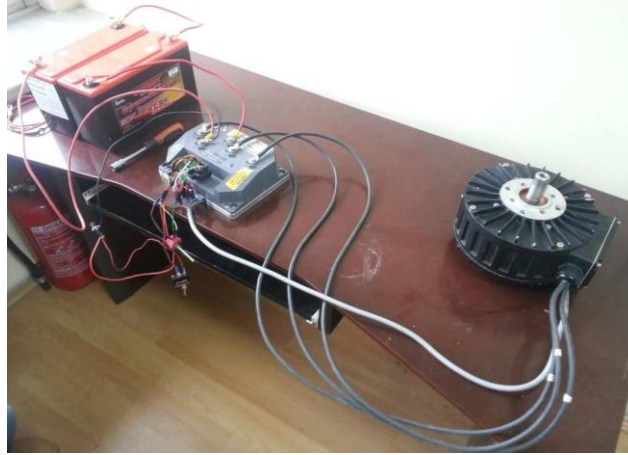
Ufki ve amudi dümenlerin ikişer yekesi (dümen kanatları) rijit yapılar ile kendi aralarında bağlıdır. Servo motorlar ile dümen millerine lineer hareket yaptırılarak açı kontrolü sağlanacaktır.

Şekil 3.10’da görülen servo motor, 6V gerilimde 36 kg.cm ve 7V gerilimde 44 kg.cm tork üretebilmektedir.



Şekil 3.10: Hitec HS-7980TH 7.4V titanyum dişlili servo motor.

Aracın sevkı için Heinzmann PMS100 (Permanent-field, brushless synchronous disc armature motor, axial flow motor) sevk motoru ve kontrolör olarak ta Heinzmann ACD4805 motor sürücüsü tercih edilmiştir. Motor ve sürücü seçiminde, prototip imali de yapılacağı gözönüne alınıp mevcut bulunan motor ve sürücü tercih edilmiştir. İhtiyaç duyulan gücün çok daha üstünde bir performans grafiği olmasına karşın, test çalışmalarına bu motor ve sürücü ile başlanmıştır. Model sevkı için gerekli en önemli iki parametre olan, tork ve rpm değerleri, motor sürücü ACD4805’ten gerçek zamanlı alınabilmektedir, yine sürücüye referans değerler verilebilmektedir. Şekil 3.11’de kurulan test düzeneği görülmektedir.



Şekil 3.11: Sevk mekanizması test düzeneği.

Racing30 12V’luk iki akünün seri bağlanması ile 24V bara geriliminde testler yapılmıştır. Model tasarımında bu akü modelinin kullanılması değerlendirilmektedir.

Sevk sisteminde RPM ve torkun sürücü tarafından referanslar dahilinde kontrol edilebilmesi ile, pervane shaftı için redüktör kullanımına ihtiyaç duyulmayacaktır.

3.3.2 Navigasyon sistemi

Sualtında, konumlama yapmak için geliştirilen sistemler incelenmiştir. Hazır konumlama sistemlerinin entegrasyonları hızlı ve pratik olmak ile birlikte prototipin gerçekleştirilmesinde mali açıdan uygulanabilir değildir. Konum, hız ve ivme arasındaki matematiksel bağıntının aktif bir şekilde kullanıldığı, ivme ve açı değerleri veren bir sensörden faydalanılarak konum bilgilerinin elde edildiği bir yapı kullanılacaktır. İvmeölçer ve destekleyici sensörlerden (GPS, DVL, USBL, vb.) alınan verilerin Kalman filtresinden geçirilmesi ile birlikte elde edilen konum bilgisinin doğruluğu artmaktadır. Aynı zamanda yardımcı sensörlerin bulunmadığı durumlarda ham verilerin de yardımcı sensörden alınan veriler yerine filtreye uygulanmaları halinde, konum bilgilerinin doğruluğu artmaktadır.

Yapılan araştırmalar neticesinde Şekil 3.12’de görülen MTI-G-700 sensörü tedarik edilmiş ve bu sensörle çalışmalara başlanmıştır. Konum, hız ve ivme doğruluğunu arttırmak maksadı ile mems sensörü ve işlemcisine entegre bir gps sensörü mevcuttur. Kalman filtresi uygulanmış veri, sensörden alınmaktadır. Sualtında kaldığı sürece GPS sensöründen veri alamayan MTI-G 700, kalibre edilmiş veriler ile ham verilere kalman filtresi uygulayarak konumu integre eder.



Şekil 3.12: Xsens MTI-G-700 GPS/INS.

20 kHz’te örnekleme yapabilen sensörün 2 ms’nin altında bir gecikmesi vardır. Bu gecikme yapılan yazılım çalışmasında dikkate alınmıştır.

USB ile bağlanılan sensör arayüzü, örneklenmesi istenilen veri çeşitlerinin, veri boyutlarının, örnekleme zamanının ve haberleşme tipinin seçilebilmesine imkan sağlamıştır. Quaternion veya euler açıları cinsinden oryantasyon bilgisini verebilmektedir.

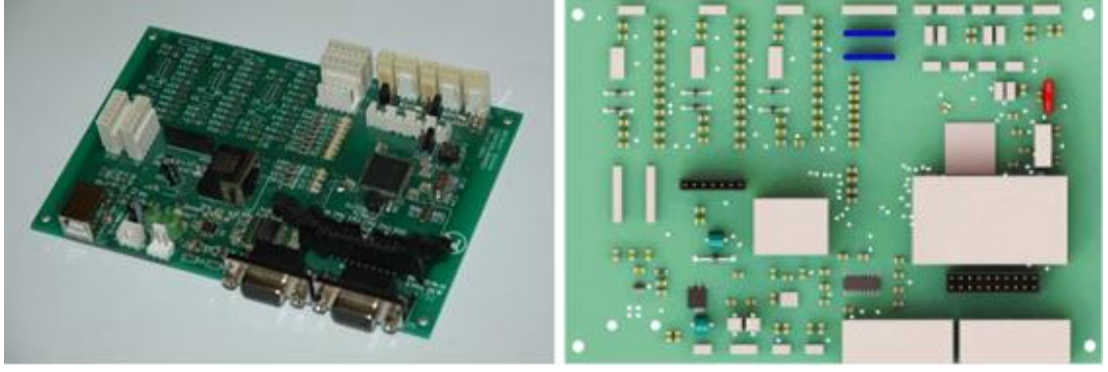
3.3.3 Haberleşme

Kablosuz haberleşmenin kullanılacağı araç için sualtı haberleşmelerinde kullanılan modüller araştırılmıştır. Suyun dielektrik katsayısının havanın dielektrik katsayısının yaklaşık 78 katı olması sebebiyle, radio frekansı ile haberleşen standart modüllerin su içindeki haberleşme mesafeleri çok düşüktür. 2.4 GHz'te haberleşen zigbee modüllerinde bu mesafe yaklaşık 3m (10feet) olup, veri kayıpları gözlenmektedir. Bu sebeple maliyeti yüksek fakat kararlı çalışan akustik modemleri araştırılmış, Tritech firmasının iki adet Micron Data Modem ürünleri kullanılacaktır. Akustik modellerin band genişliği düşük olmakla beraber çalışma mesafeleri kilometrelerle ifade edilebilmektedir. Seçilen modemin data rate'i 40 bit/s olmakla beraber yatayda 500 m, dikeyde 150 m'ye kadar haberleşmeye imkan sağlamaktadır.

Araç içi haberleşmede, kontrol kartı MTI-G 700 ile RS232 üzerinden haberleşecektir. MTI-G 700 sensörü ile yapılacak testler neticesinde seriport üzerinden 115200 band genişliğinde mümkün olan maksimum örnekleme zamanı tayin edilecektir. Sensörden alınan veri paketinin büyüklüğü, saniyede alınamabilecek veri paketi sayısını sınırlamaktadır.

3.3.4 Kontrol kartı

Model üzerinde haberleşme, veri toplama, dümen ve sevk motorlarının kontrolü M3Cortex işlemciye sahip bir kart değerlendirilmiştir. 2010 yılı, İTÜ Güneş Teknesi Takımı'nda geliştirmiş olduğum Şekil 3.13'de görülen bu veri toplama ve motor sürme kartı ile tanımlanan görevler gerçekleştirilecektir. Dokuz analog giriş, 4 analog çıkış, 6 dijital çıkış, SPI, I2C, RS232, USB çevreselleri mevcuttur.



Şekil 3.13: İTÜ Güneş Teknesi Takımı'nda geliştirilen kart.

Akü ve sevk motoruna ait akım ve gerilim değerleri kart üzerindeki analog ölçüm devrelerinden okunacaktır. Altı eksenle ivme, açı ve heading verilerinin alındığı MTI-G 700 sensörü ile RS232 üzerinden haberleşilecektir.

Sevk motorunun sürücüsü bu kartın 1.pwm çıkışı ile kontrol edilmektedir. Motor sürücüyü referans olacak pwm değeri hazırlanan arayüz aracılığı ile değiştirilecektir.

Ufki ve amudi dümenler için kullanılan servo motorlar da 2. ve 3. pwm çıkışları ile kontrol edilmektedir.

Dümen açıları kontrol edilerek manevra kabiliyeti takip edilmek istenen araçta servo motor tercih edilmiştir. Her servo 120° hareket imkanı sağlamaktadır.

Sevk motorunun enerji tüketimi ve anlık gücü hesaplanırken Şekil 3.14'te görülen LEM firmasının LA-100 akım sensörü ve op-amp ile kurulmuş analog ölçüm devresinden faydalanılacaktır. Motor sürücüyü besleyen gerilim kablosu, akım sensörünün içinden geçirilecektir. Anlık akım miktarı, analog olarak sensör yapısından karta alınacaktır.

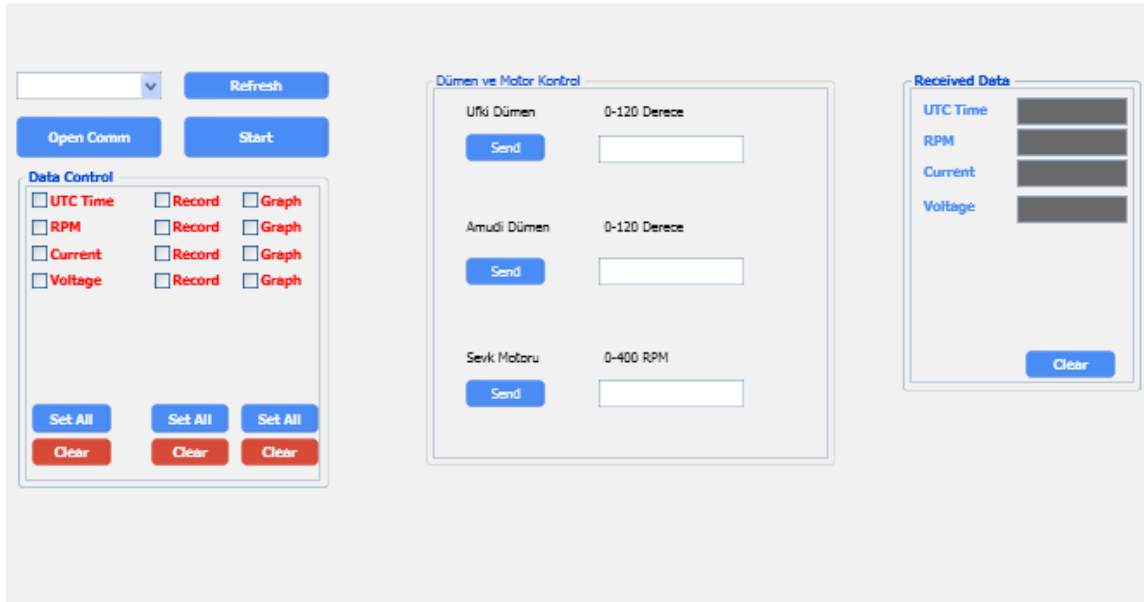


Şekil 3.14: Akım sensörü.

Sistem geliştirme süresince RS232 portundan 2.4 GHz'te haberleşen Xbee modülü, saha testlerinde ise tedarik edilecek akustik modem kullanılacaktır. İlk denemeler sonrası havuz testinde 3 m mesafede su içinde Xbee modülünün haberleşme imkanı da denenecektir.

3.4 Arayüz Yazılımı

İnşa edilecek olan aracın kontrolünde, bilgisayar tarafında kullanılmak üzere C# ile bir arayüz geliştirilmektedir. Arayüz, seriport üzerinden kart ile haberleşecektir. Gerçek zamanlı olarak, aracın sevk motoru, ve dümenleri kontrol edilebilecektir. Hazırlanan arayüz Şekil 3.15'te görülmektedir.



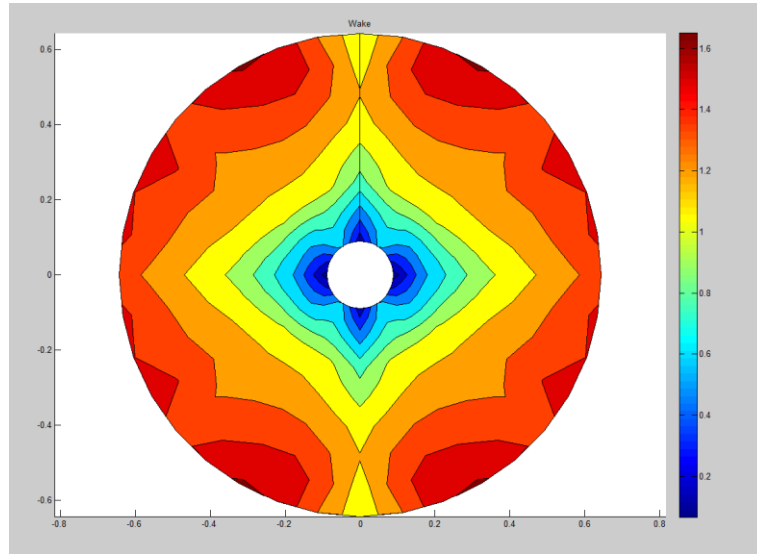
Şekil 3.15: Visual Studio 2012'de geliştirilmiş arayüz.

Yukarıda görülen arayüz ekranı araçla olan iletişimi sağlamaktadır. Gerçek zamanlı veri gönderimi ve gerçek zamanlı veri alımına olanak sağlar. Toplanan veriler kaydedilir ve grafikleri çizdirilir. Anlık olarak alınan veriler sağ tarafta görülür.

4. ÖN TASARIM İNCELEME VE ANALİZLER

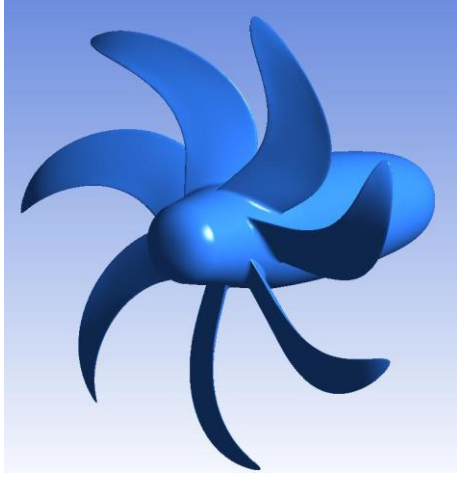
4.1 Pervane Analizleri

Pervanenin geminin izinde çalıştırılması ile ilgili iz çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.1’de basınç dağılımı görülmektedir.

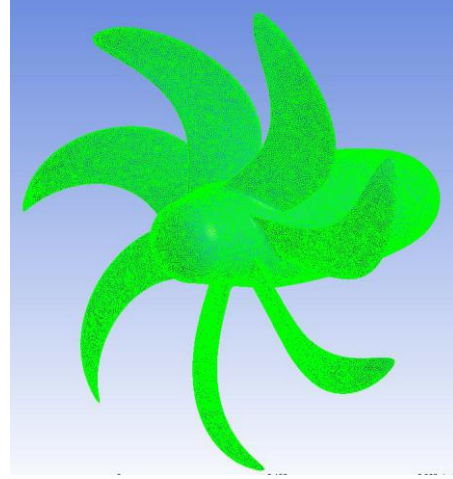


Şekil 4.1: Gemi izinde çalışan denizaltının basınç dağılımı.

Şekil 4.2a’da görülen INSEAN E1619 deneysel denizaltı pervanesine ait geometri, İtalya’nın INSEAN Deniz Araştırma Enstitüsü’nden bu projede kullanılmak üzere istenmiştir. Alınan pervane geometrisi ile ilgili literatür araştırmaları tamamlanmış ve deneysel verilere ulaşılmıştır. Bunun ardından Şekil 4.2b’de görülen pervanenin HAD analizlerine başlanmıştır. Öncelikle 4.5 milyon elemanla Şekil 4.3a ve Şekil 4.3b’de görülen pervane ve etrafındaki akışı uygun şekilde tanımlayacak bir çözüm ağı Şekil 4.4’te görüldüğü üzere ANSYS ICEM CFD programı kullanılarak oluşturulmuştur. Elde edilen analiz sonuçları arka yüzey çözümüyle Şekil 4.5a’da, ön yüzey çözümüyle Şekil 4.5b’de görülmektedir.

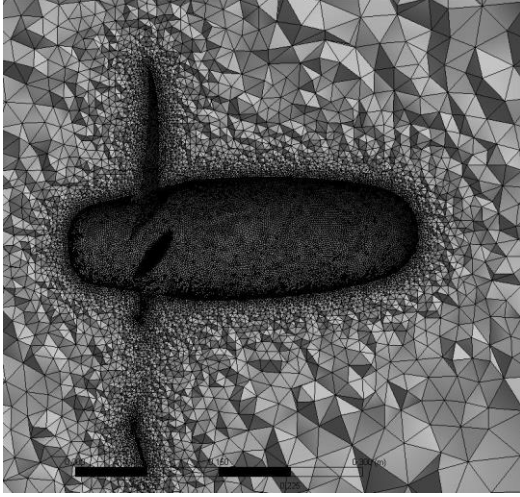


(a)

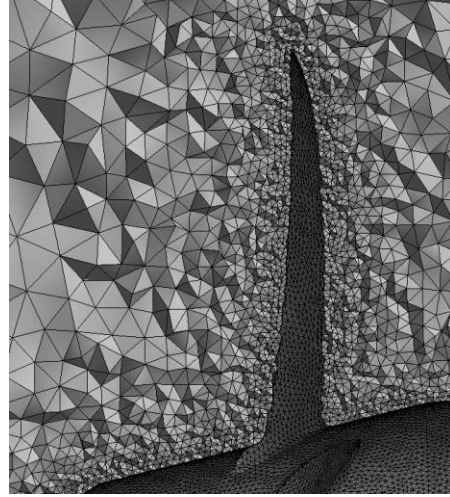


(b)

Şekil 4.2: (a)Yüzey tanımlanacak pervanenin 3B görseli. (b)Yüzey tanımlanmış 3B görseli.

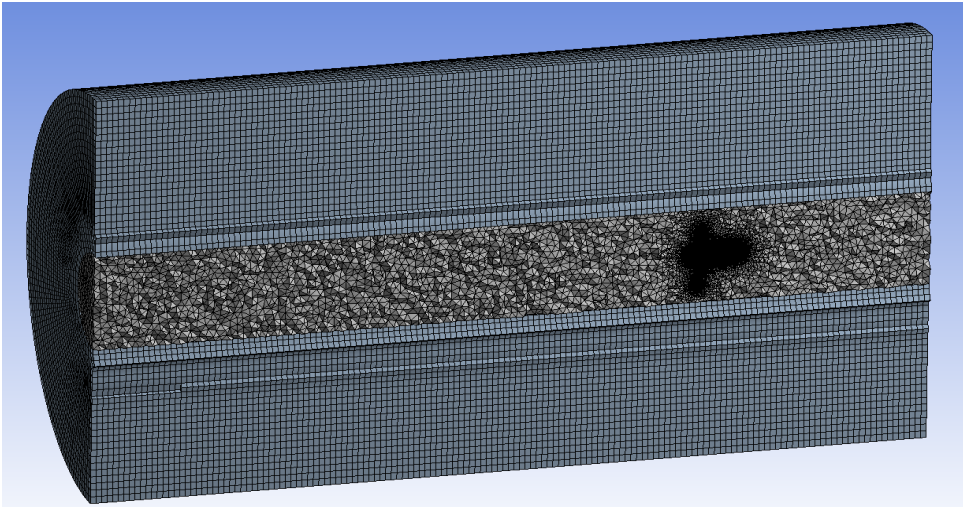


(a)

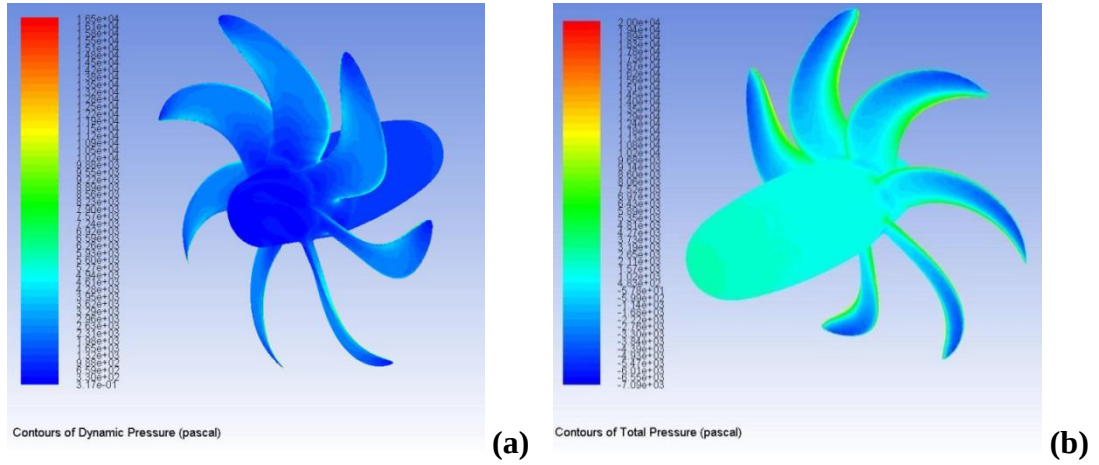


(b)

Şekil 4.3: (a)Mesh atılmış pervane, tam ölçekli. (b)Tek kanadın detaylı mesh analizi.



Şekil 4.4: Çözüm ağı eleman yapısı.



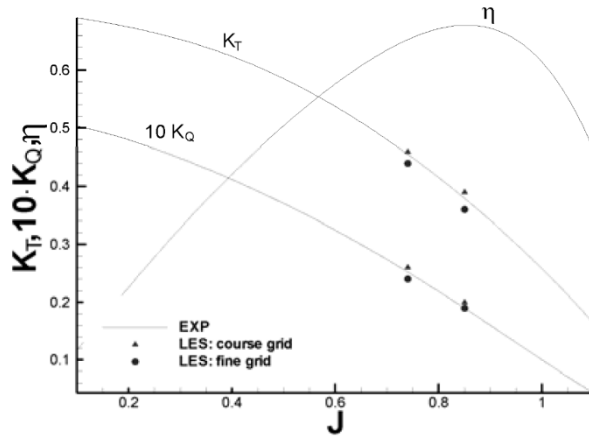
Şekil 4.5: (a)Pervane ön yüzünde oluşan basınç. (b)Pervane arka yüzünde oluşan basınç.

Gemi pervanelerinin performansları, J , K_T ve K_Q kısaltmalı boyutsuz katsayılar ile ifade edilmektedir. Bu katsayılar ait ifadeler **(4.1)**'de verilmiştir. E1619 isimli jenerik denizaltı pervanesinin performansına ilişkin Şekil 4.6, Felice et.al. “Numerical and experimental analysis of the wake behavior of a generic submarine propeller” isimli makaleden alınmıştır ve yapılan analiz sonucunda bulunan değerler Çizelge 4.1’de verilmiştir.

$$J = \frac{V_a}{nD} \quad K_T = \frac{T}{\rho n^2 D^4} \quad K_Q = \frac{Q}{\rho n^2 D^5} \quad (4.1)$$

Çizelge 4.1: CFD analiz sonuçları ve yüzde hatalar.

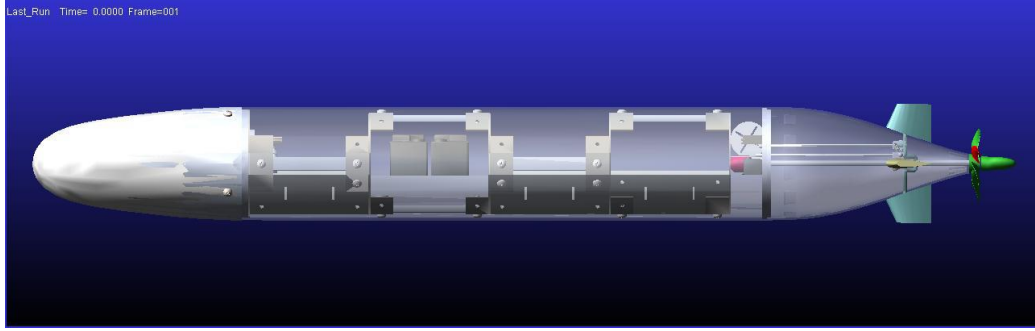
	CFD Analizi Sonucu	Deney versus CFD Hata
K_T	0.232	%7.2
$10K_Q$	0.4564	%0.35



Şekil 4.6: Pervane karakteristik eğrisi.

4.2 Dümen Sistemi Analizleri

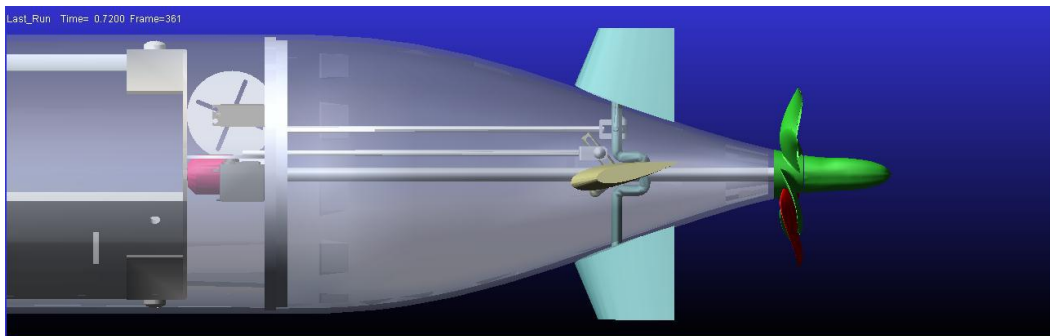
Model denizaltıya ait ilk dümen sistemi, gövde içerisinde bulunan bir servo motorun amudi, bir diğer motorun ufki dümeni kontrol ettiği yapıda kurgulanmıştır. Hareket iki rijit metal aktarma organı tarafından dümen millerine aktarılır. Şekil 4.7’de görülen yapı, ADAMS programında modellenmiştir.



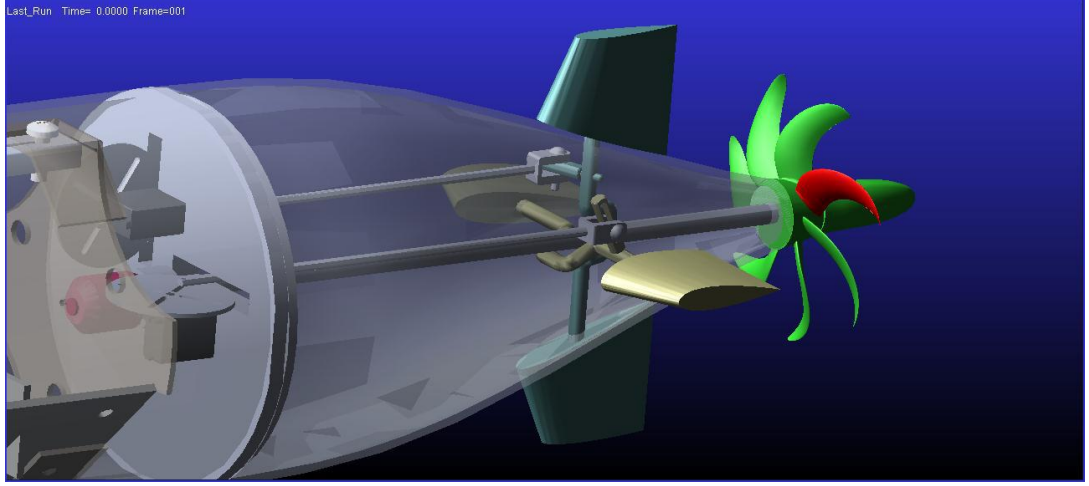
Şekil 4.7: ADAMS’ta modellenen denizaltının tam boy görseli.

Baş malzemesi ahşap ve kış malzemesi kestamit olarak tanımlanmıştır. Gerekli kurşun ağırlıklar, ağırlık merkezi ve hacim merkezinin aynı dikey doğrultuda kalacağı şekilde yerleştirilmiştir.

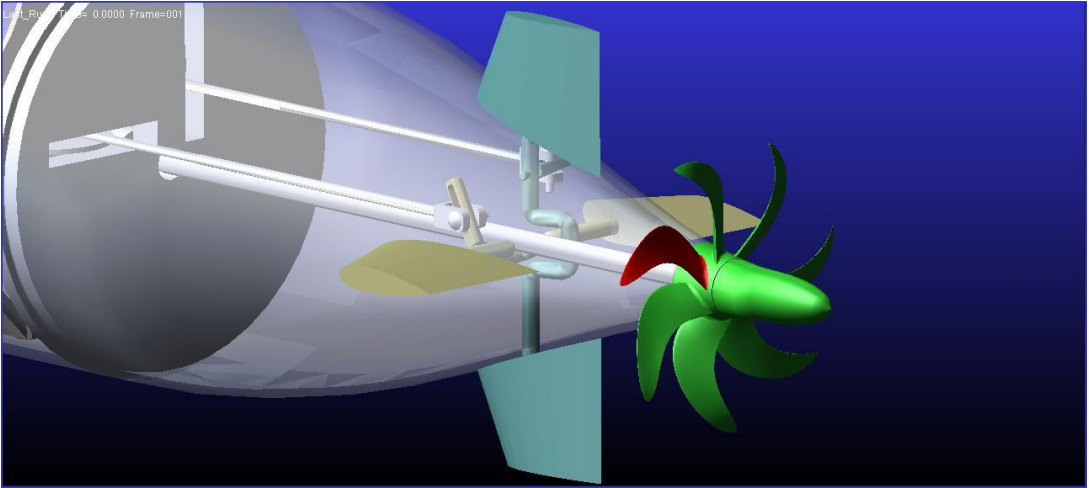
Yapılan analizlerde, öncelikle dümen yekelerinin manevra üzerindeki etkilerinin gözlenmek istediğinden ötürü yelken eklenmemiştir. Model kış görseli Şekil 4.8’de görülmektedir. Modelin ufki dümen bağlantıları Şekil 4.9’da, amudi dümen bağlantıları Şekil 4.10’da görülmektedir. Şekil 4.11’de ufki ve amudi dümenleri kontrol eden servoların yerleşimleri görülmektedir. Modelin ADAMS’ta tam boy izometrik görseli Şekil 4.12’de görülmektedir. Modelin ağırlık merkezinin eksenleri Şekil 4.13’te tanımlanmıştır. Eksenlerin tanımlanmasından sonra dümen yekeleri ve yelken 4.14’te tanımlanmıştır. Yüzeylerin tanımlanmasında sonra yapılan analiz Şekil 4.15’te görülmektedir.



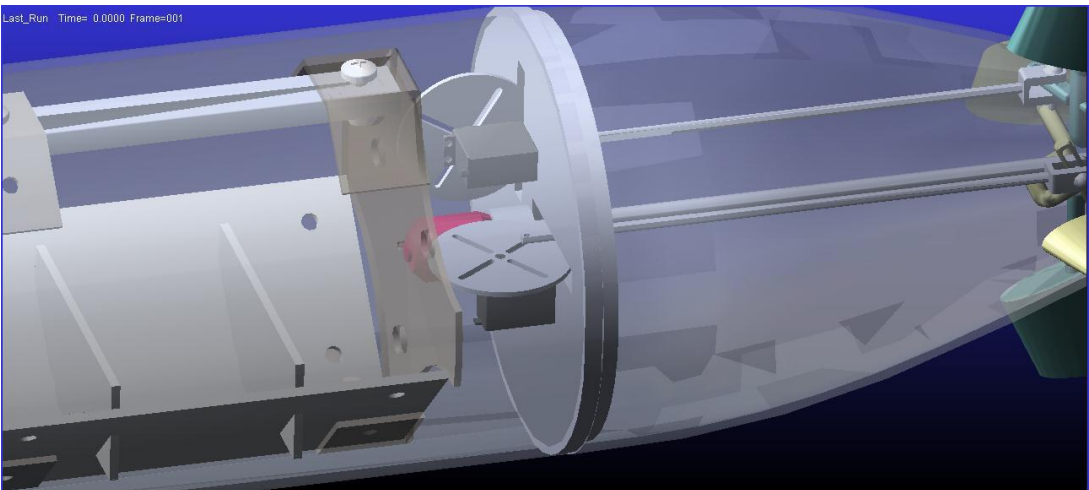
Şekil 4.8: Model kış paralel görseli.



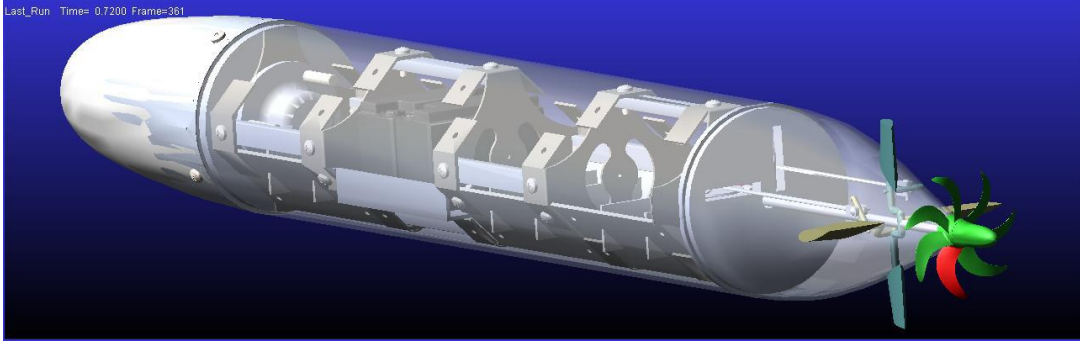
Şekil 4.9: Model kıç izometrik görseli, ufki dümen mili ve bağlantıları.



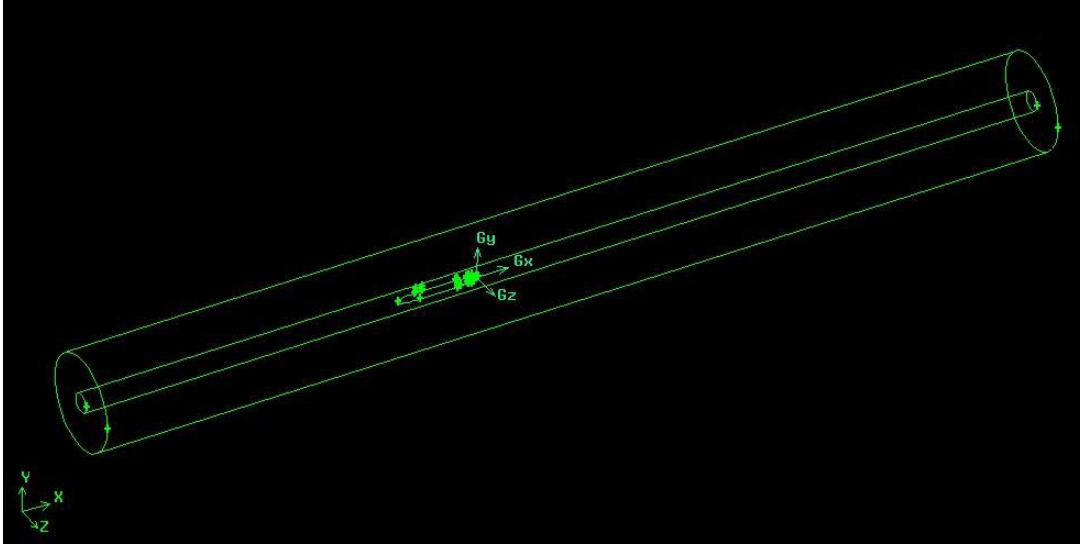
Şekil 4.10: Model kıç izometrik görseli, amudi dümen mili ve bağlantıları.



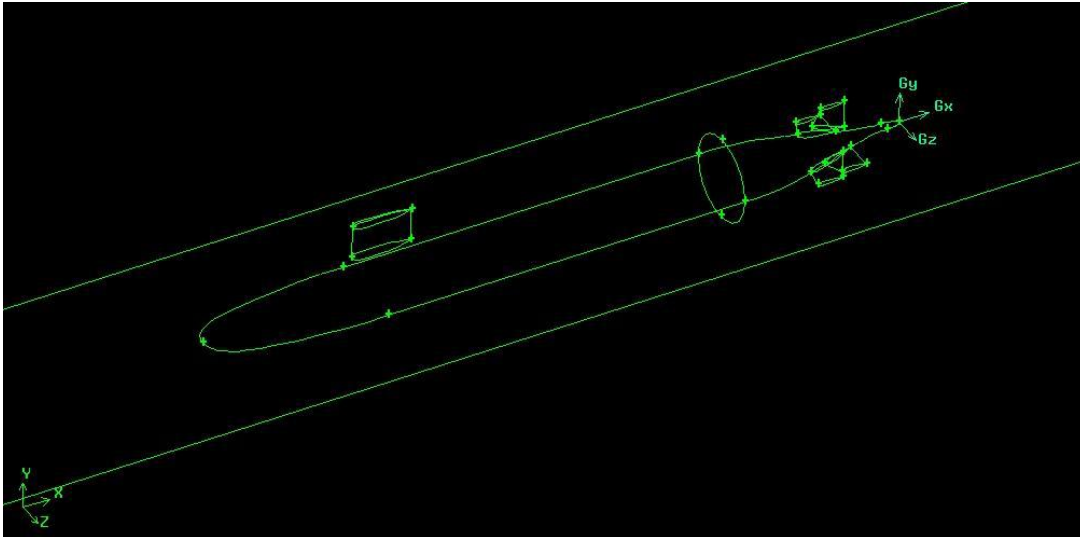
Şekil 4.11: Model ufki ve amudi dümenleri kontrol eden servo motorlar.



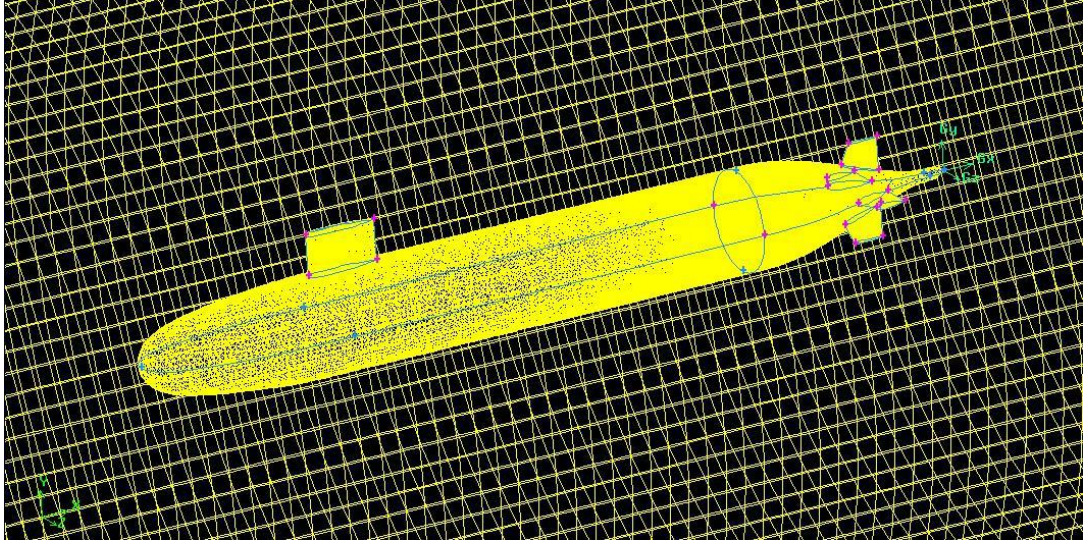
Şekil 4.12: Model izometrik görseli.



Şekil 4.13: Denizaltı ağırlık merkezi eksenlerinin tanımlanması.



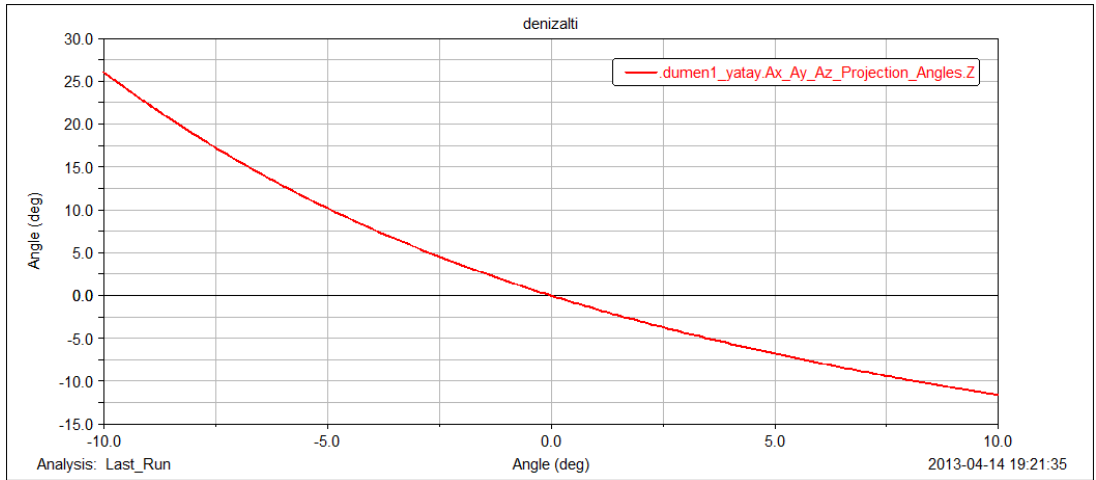
Şekil 4.14: Model, yelken ve dümen yekelerinin tanımlanması.



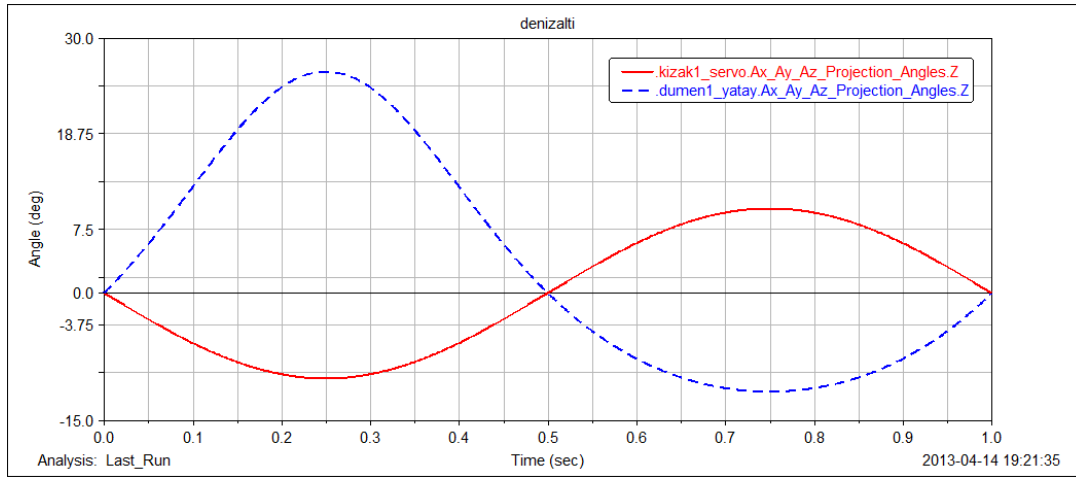
Şekil 4.15: Modelin tam ölçekli analizi.

ADAMS programı kullanılarak yapılan manevra analizleri, iki dümen için ayrı olarak hesaplanmıştır.

Amudi dümene ait iki ayrı grafik yukarıdaki gibidir. Maksimumdan minimuma hareket Şekil 4.16’da görülmektedir. Sol uçta masimum 25° yapan dümen, sağ uçta 10° lik maksimum açıda pozisyon alabilmiştir. Şekil 4.17’de kırmızı grafik, servo motora bağlı çarkın açısal pozisyonunu göstermektedir. Sabit açısal hızda hareket eden servo motorun hareketin karşı, dümen milindeki zaman bağlı açısal konum değişimi mavi kesikli çizgi ile gösterilmektedir. Grafikten anlaşıldığı üzere, servo motor tarafından sabit açısal hızda uygulunanan hareket, dümen mili üzerinde sol bölgede non-lineer etkidedir.



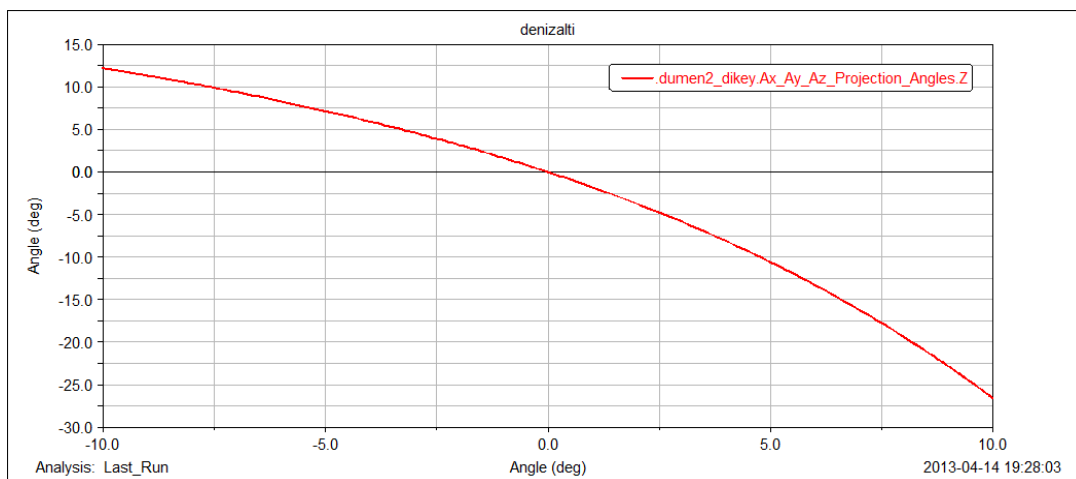
Şekil 4.16: Amudi dümenin sol uçtan sağ uca kırılması.



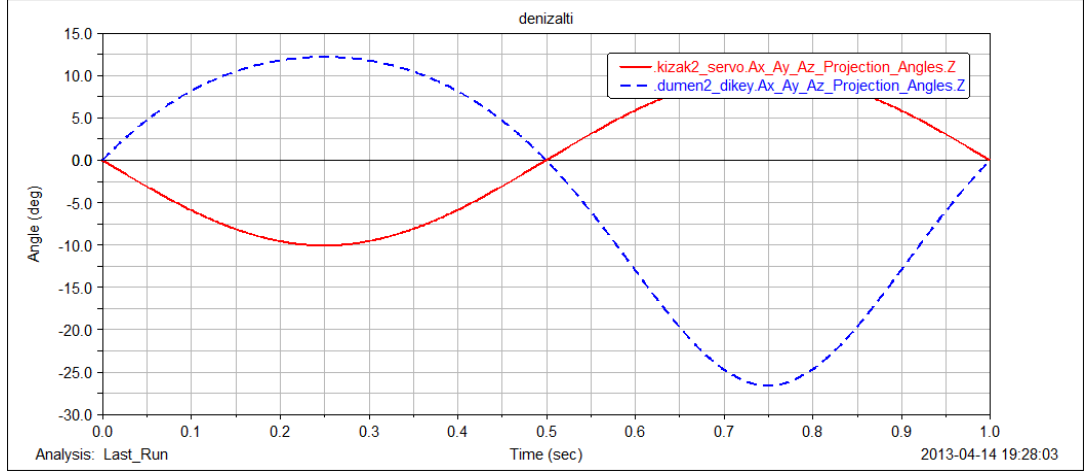
Şekil 4.17: Servo motor ve amudi dümen milinin açısal pozisyon değişimi.

Amudi dümen mili için istenilen $\pm 30^\circ$ açısal konum değişimine imkan sağlamadığı anlaşılmıştır.

Ufki dümene ait iki ayrı grafik yukarıdaki gibidir. Maksimumdan minimuma hareket Şekil 4.18’ de görülmektedir. Yukarı uçta masimum 10° yapan dümen, alt uçta 25° lik maksimum açıda pozisyon alabilmiştir. Şekil 4.19’da de kırmızı grafik, servo motora bağlı çarkın açısal pozisyonunu göstermektedir. Sabit açısal hızda hareket eden servo motorun hareketin karşı, dümen milindeki zaman bağlı açısal konum değişimi mavi kesikli çizgi ile gösterilmektedir. Grafikten anlaşıldığı üzere, servo motor tarafından sabit açısal hızda uygulanan hareket, dümen mili üzerinde alt bölgede non-lineer etkidedir.



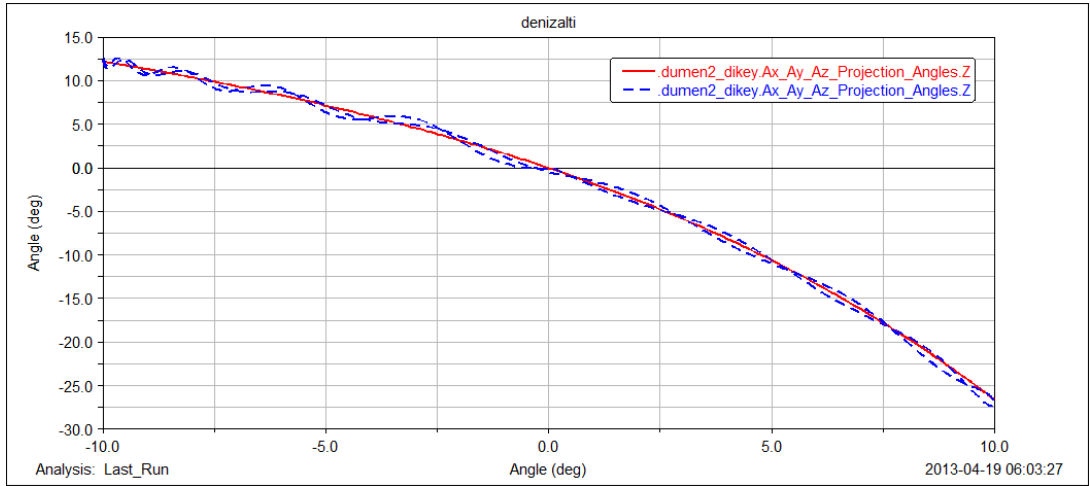
Şekil 4.18: Ufki dümenin yukarı uçtan aşağı uca kırılması.



Şekil 4.19: Servo motor ve ufki dümen milinin açısıl pozisyon değişimi.

Amudi dümende de gözlenendiği gibi, tasarımın ufki dümen mili için istenilen $\pm 30^\circ$ açısıl konum değişimine imkan sağlamadığı anlaşılmıştır.

Servo motor çarkından ufki dümen miline aktarılan hareketin, kızak üzerinde neden olduğu salınım Şekil 4.20’de görülmektedir. Dümen pozisyonunun kontrolündeki salınımın kabuller dahilindeki 1° lik hatadan daha büyük bir genliğe sahip olması sonucu istenilen kriter sağlanamamıştır.



Şekil 4.20: Ufki dümen motoru ve bağlantıları üzerindeki titreşimler.

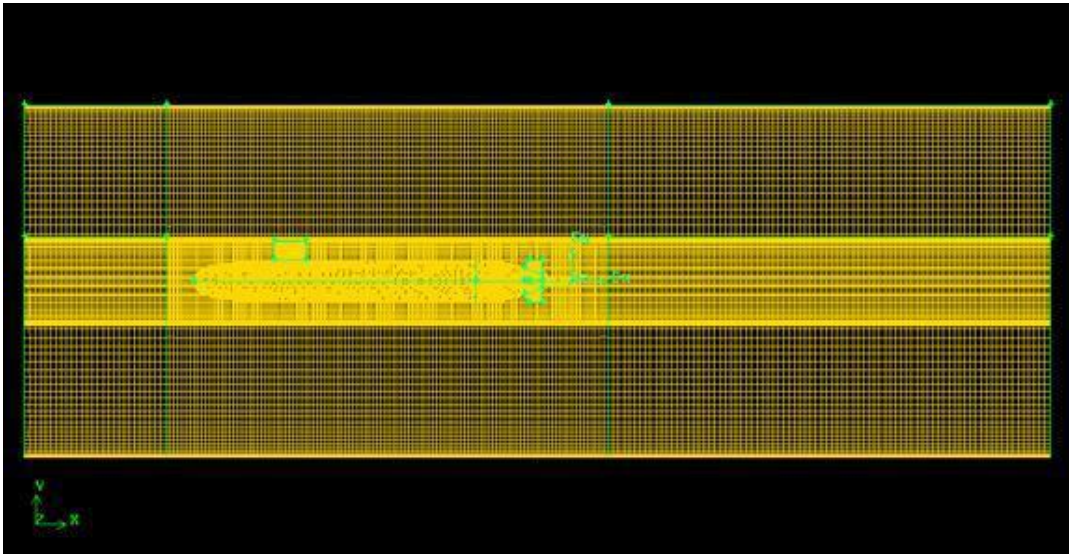
Adams programı kullanılarak dümen ve dümen şaftlarının yapısal gerilmeler etkisinde açısıl değişimleri incelenmiş, simülasyonlar ışığında birbiriyle temas eden veya sürtünen yüzeyler gözlemlenmiş ve tasarımda uygun değişiklikler yapılmıştır. Şekil 5.4’te bir biriyle kesişen mekanik aksam görülebilmektedir.

Dümen aktarımının non-lineer özellik göstermesi sebebiyle, tasarımın değiştirilmesi gerekmektedir. Her dümen yekesi için bir servo motor kullanımı değerlendirilmektedir. Dümenlerin senkron dönmesi için aynı dümen yekelerinin birinin saat yönünde dönerken diğer yekeyi kontrol eden servonun saat yönünün tersine hareket etmesi gerekmektedir.

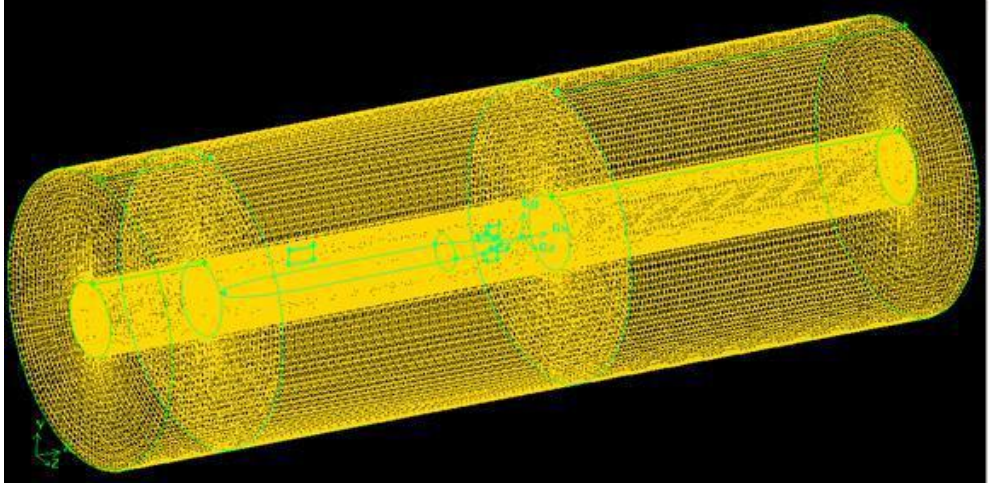
Sevk motorunun fiziki ölçülerinin, boyutlandırma çalışması yapılan, denizaltı modelinin, maksimum yerleşim ölçülerinden büyük olduğu ortaya çıkmıştır. Yapılan araştırma sonucu, 2368 Thunder Tiger Ripper fırçasız motor ve ACE RC BLC-75C motor sürücü tedarik edilmiştir. Yapılan testler esnasında kalkış esnasında gerekli olan tork motor tarafından karşılanamamıştır. Redüktör ile mil devri düşürülmüştür. Fakat redüktör ve motorun araç içi yerleşimde montajının zorluklara neden olması tasarımda bir başka motorun tercih edilmesine neden olmuştur.

4.3 Hidrostatik Analizler

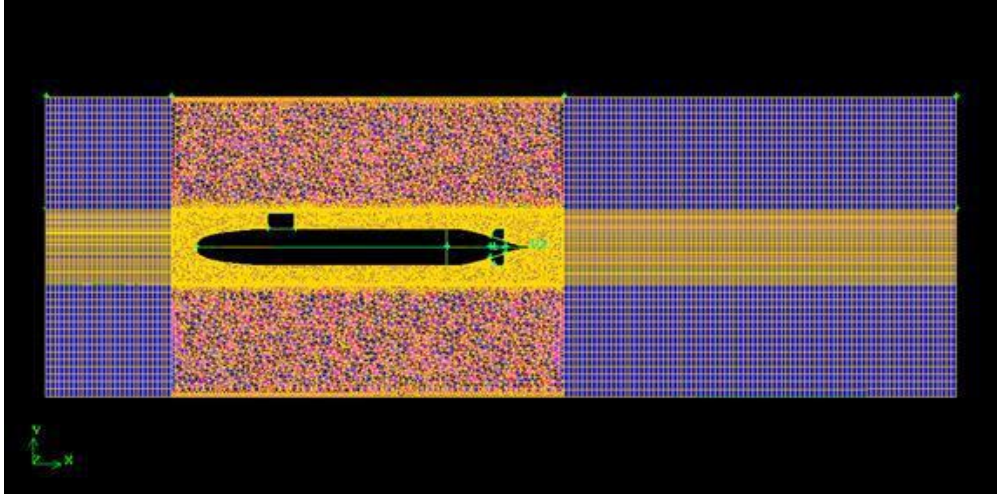
Denizaltının ampirik yöntemlerle elde edilmiş olan direnç özellikleri bir de Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) yöntemleriyle kontrol edilmiştir. Gambit programı kullanılarak çözüm ağı yaratılmış ve Fluent programı ile hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmalar, Şekil 4.21, Şekil 4.22, Şekil 4.23 ve Şekil 4.24'de görülmektedir. Simülasyon sonuçları, Şekil 4.25 ve Şekil 4.26'da verilmiştir.



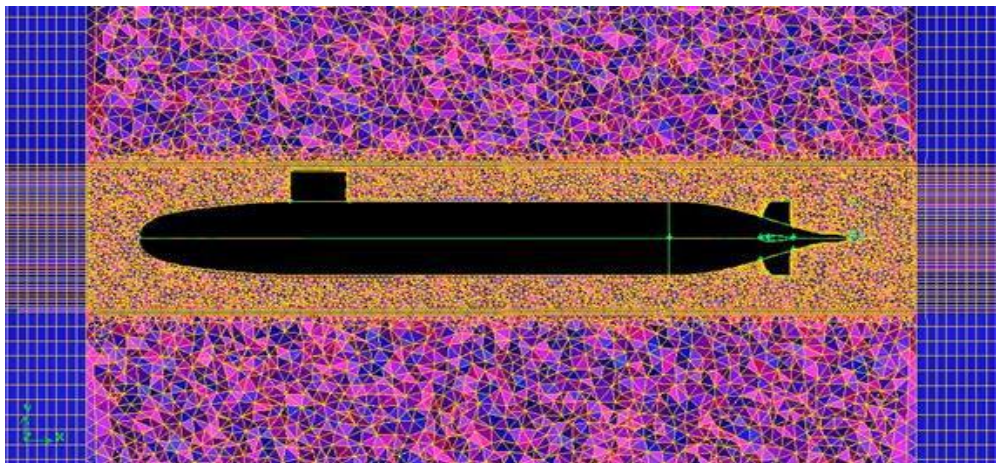
Şekil 4.21: Gambit programı, çözüm ağı.



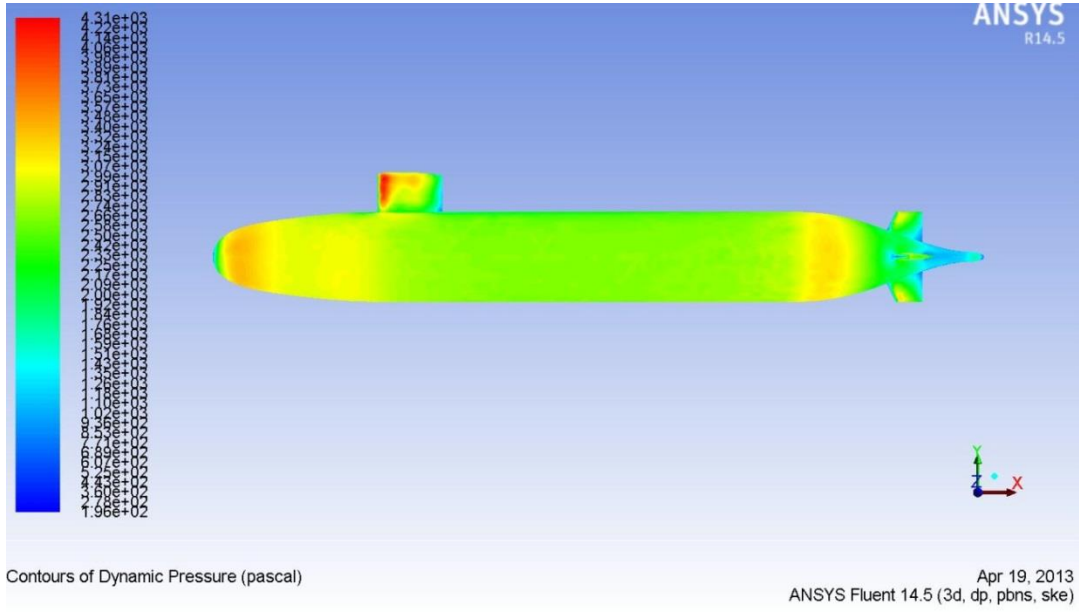
Şekil 4.22: Gambit programı, çözüm ağı.



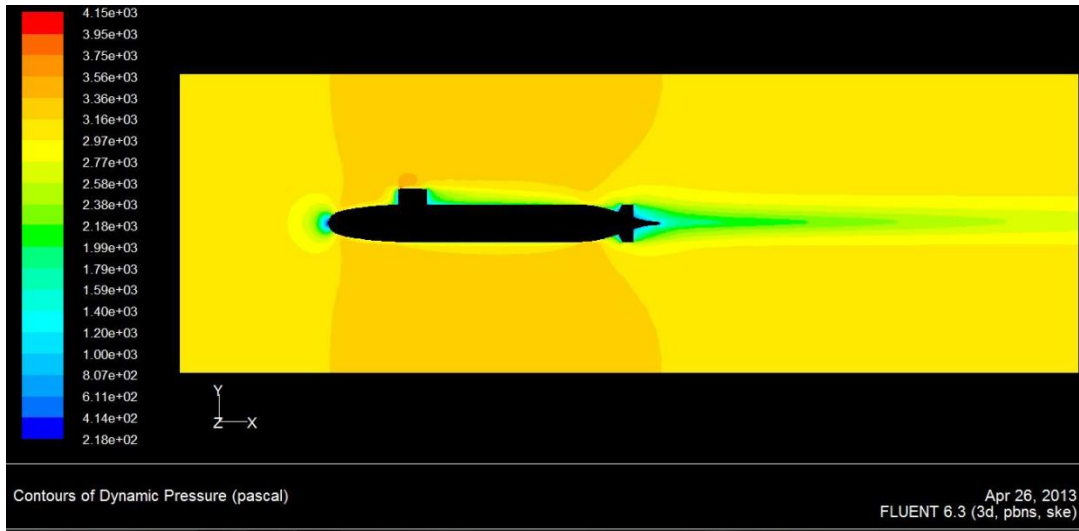
Şekil 4.23: Gambit programı, çözüm ağı.



Şekil 4.24: Gambit programı, çözüm ağı.



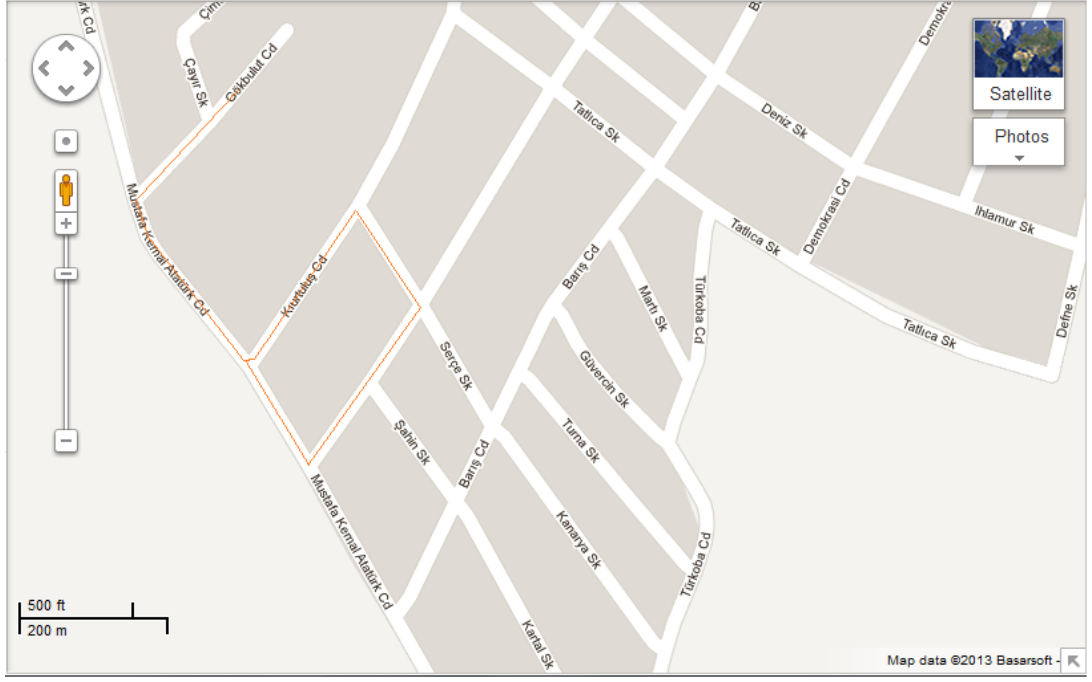
Şekil 4.25: ANSYS programı, simülasyon.



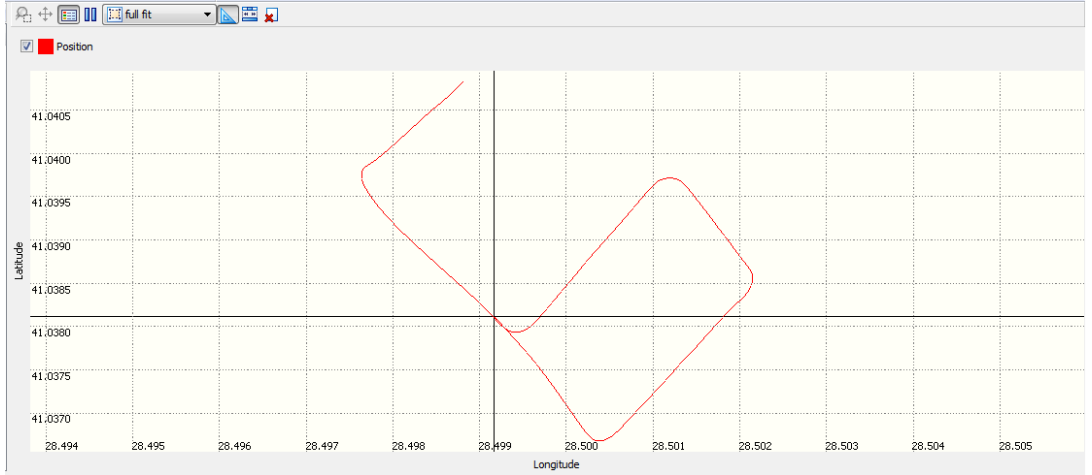
Şekil 4.26: FLUENT programı, simülasyon.

4.4 Navigasyon Sistemi İncelemeleri

MT Manager arayüzünün kullanımına dair çalışmalar gerçek zamanlı testler ile devam etmektedir. Doğrulama çalışmaları yapılmıştır. Harita üzerinde belirtilen rota izlenmiş ve ins ile doğrulanmıştır. Şekil 4.28’de görülen MT Manager arayüzüne ait olan pozisyon ekranında, araç ile izlenilen yol çizdirilmiştir. GoogleMaps ekranında da takip edilen rotaya ait harita görüntüsü Şekil 4.27’de mevcuttur. Bu harita üzerinde turuncu ile takip edilmiş olunan yol belirtilmiştir.



Şekil 4.27: Google maps'te araç ile takip edilen yolun haritası.



Şekil 4.28: MT Manager programında çizdirilen, yolun GPS ile desteklenen ataletsel seyrü sefer sistemi verileri.

5. DETAY TASARIM

Ön tasarımı yapılan denizaltı modeli yapılan analiz ve incelemeler sonucu değişikliklere uğramıştır. Sevk sisteminde yapılan değişiklikler, aracın ağırlık merkezi, güç tüketimi ve kontrol kartı için hazırlanan kodu etkilemiştir.

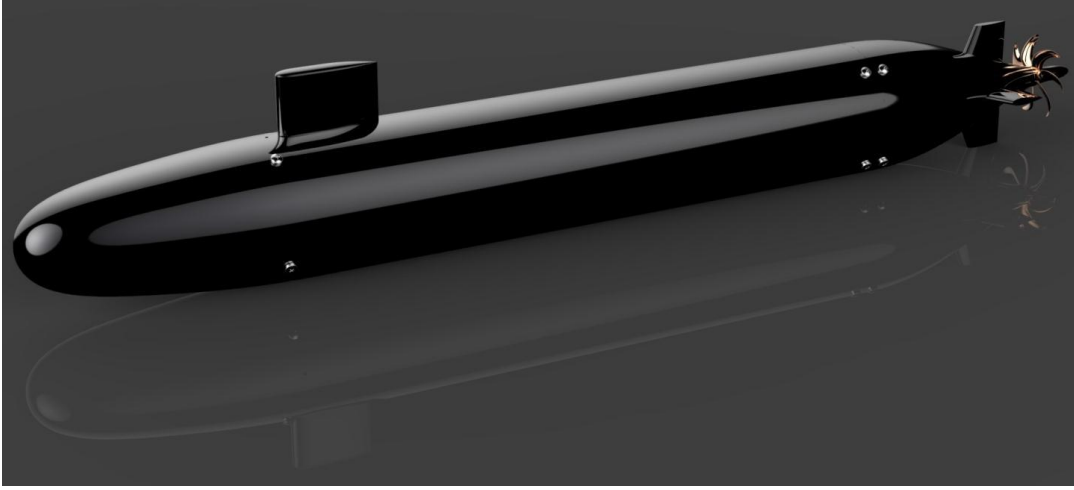
5.1 Mekanik Yapı

Ön tasarım ve analizler sonucu mekanik yapının tasarımına dair belirli bir altyapı oluşmuştur. Baş, gövde ve kış kısmın imal edileceği materyaller belirlenmiştir. Kurşun ağırlıkların yerleşimleri ve flanşlerin pozisyonlarına karar verilmiştir. Sızdırmazlık elemanlarına dair araştırmalar tamamlanmış ve bağlantı elemanları belirlenmiştir.

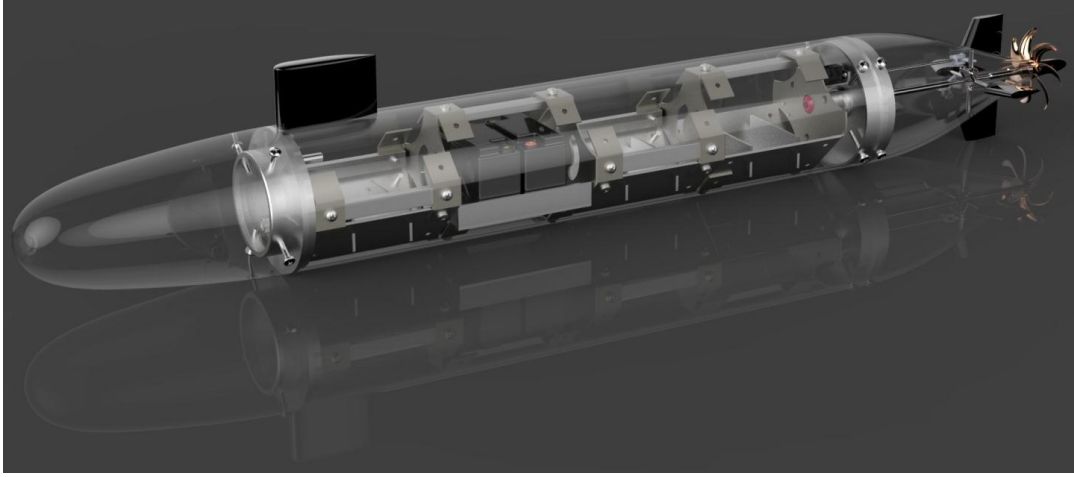
Detay tasarım esnasında, mekanik yapıların montaj sırası göz önünde bulundurulmuştur.

5.1.1 Gövde tasarımı

Denizaltı hidrodinamik araçlarında kullanılacak olan DARPA Suboff deneysel denizaltı formu ve Insean E1619 deneysel denizaltı pervanesinin serbest yüzebilir (self propulsion) modelinin detay tasarımı tamamlanmıştır. Şekil 5.1 ve Şekil 5.2’de görülen Solidworks programı kullanılarak hazırlanan 3B çizimlerin, uygun ölçülendirmelerinin tamamlanması ile 2B imalat resimleri türetilmiştir.



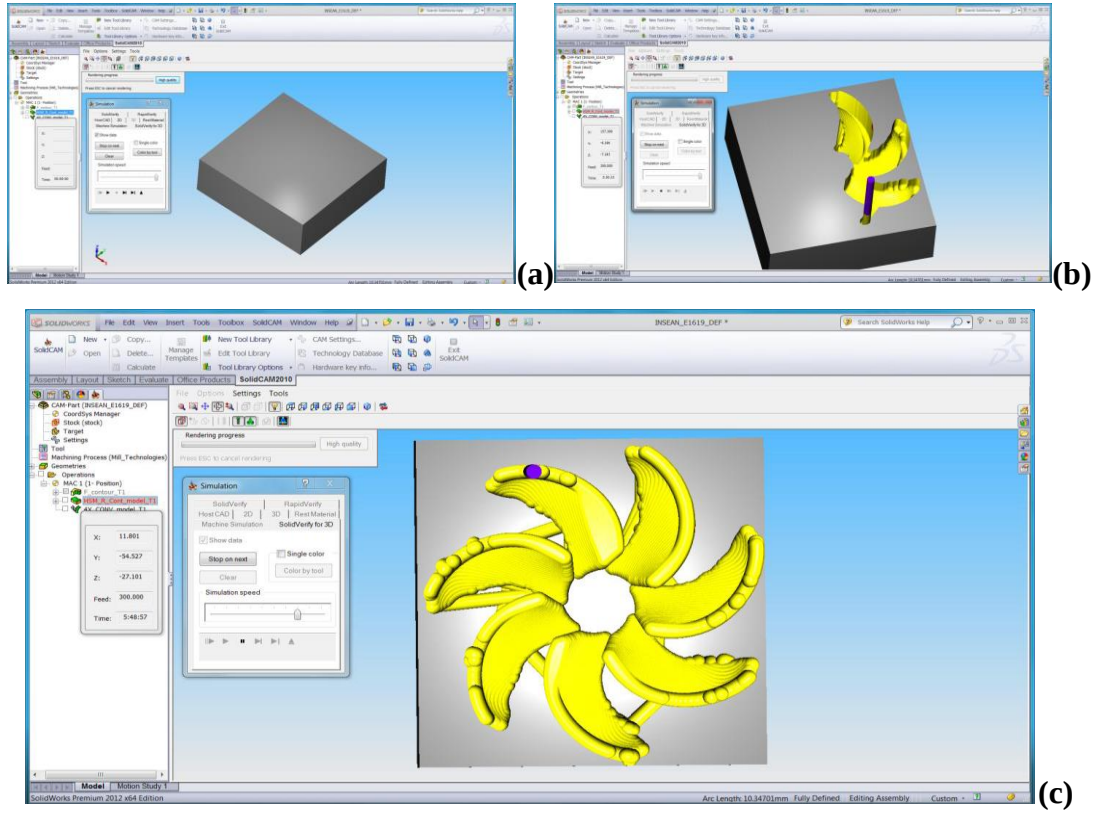
Şekil 5.1: Aracın Keyshot programında alınmış renderi.



Şekil 5.2: Aracın iç yerleşiminin Keyshot programında alınmış renderi.

5.1.2 Pervane

Insean 1619 pervanesi Mekatronik Laboratuvarı'nda bulunan 5 eksenli CNC tezgah ile imal edilecektir. Dolu kütük parçadan freze ile 5 eksenle işlenerek hazırlanacak olan pervanenin işlenmesinin simülasyonu ve gerekli olan G kodlar, Solid CAM programı kullanılarak hazırlanmıştır. Yapılan hazırlıklar sırasında alınmış olan ekran görüntüleri Şekil 5.3a, Şekil 5.3b ve Şekil 5.3c'de sunulmuştur.



Şekil 5.3: (a)Solid CAM programında hazırlanan pervane bloğu. (b)G kod oluşturulurken. (c)G kod biterken.

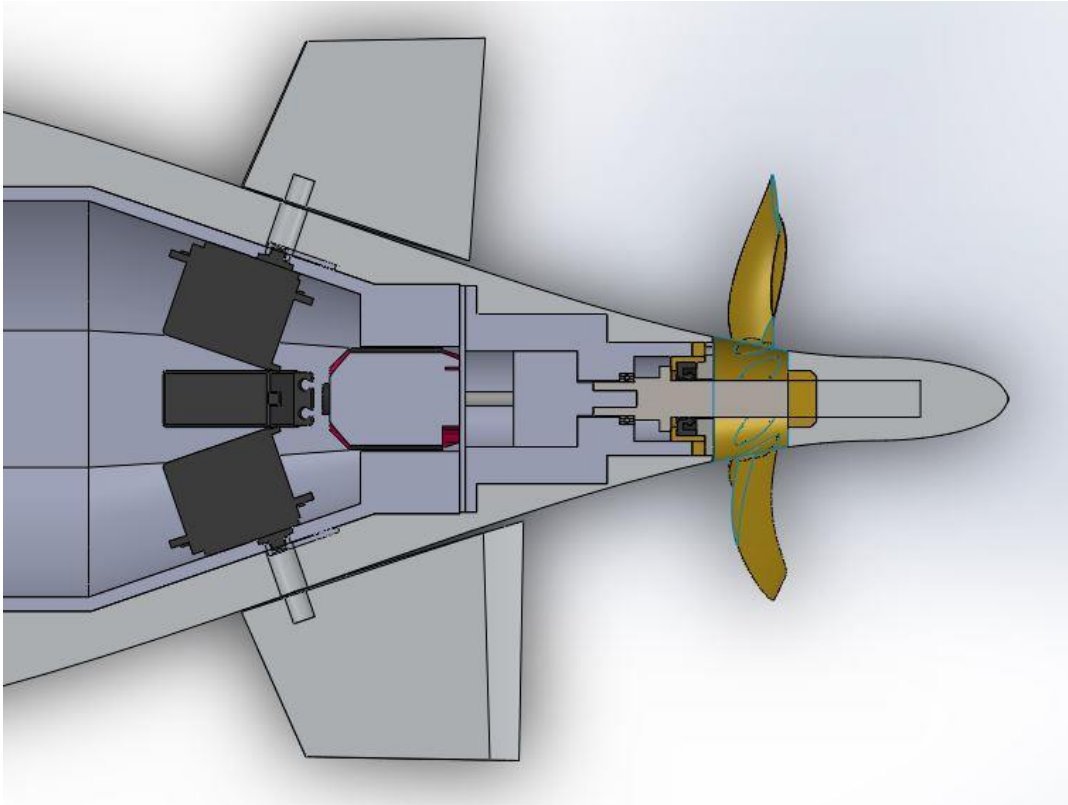
5.1.3 Dümen sistemi

Başlangıçta ortaya konulan ön tasarımda, mekanik sistem tasarımı, iki servo ve bir sevk motorunun denizaltı modeline ait pleksiglas paralel gövde içinde bulunma esası göz önünde bulundurularak gerçekleştirilmiştir. Burada dikey dümenlerin bir servo motor ile ve yatay dümenlerin bir servo motor ile kontrolü sağlanması planlanmıştı. Ancak ilerleyen süreçte dümen şaftlarının sızdırmazlığı amacıyla kullanılacak olan yağ keçesi, oring gibi salmastra elemanlarının şaftta kasılmaya neden olacağı düşüncesi ile, seyir esnasında dümene gelecek yükleri de karşılaması gereken bu servoların, gerekli torku sağlayamayacağı öngörülmüştür. Daha sonra ADAMS'ta modellenen denizaltının dümen yapısı, simülasyonlar sonucu isterleri karşılamamış, yeteri açılarda dönüşe imkan vermemiştir. Şekil 5.4'te görüldüğü üzere çakışmaya neden olmuştur. Bu nedenlerden ötürü tasarımda değişikliğe gidilmiştir.

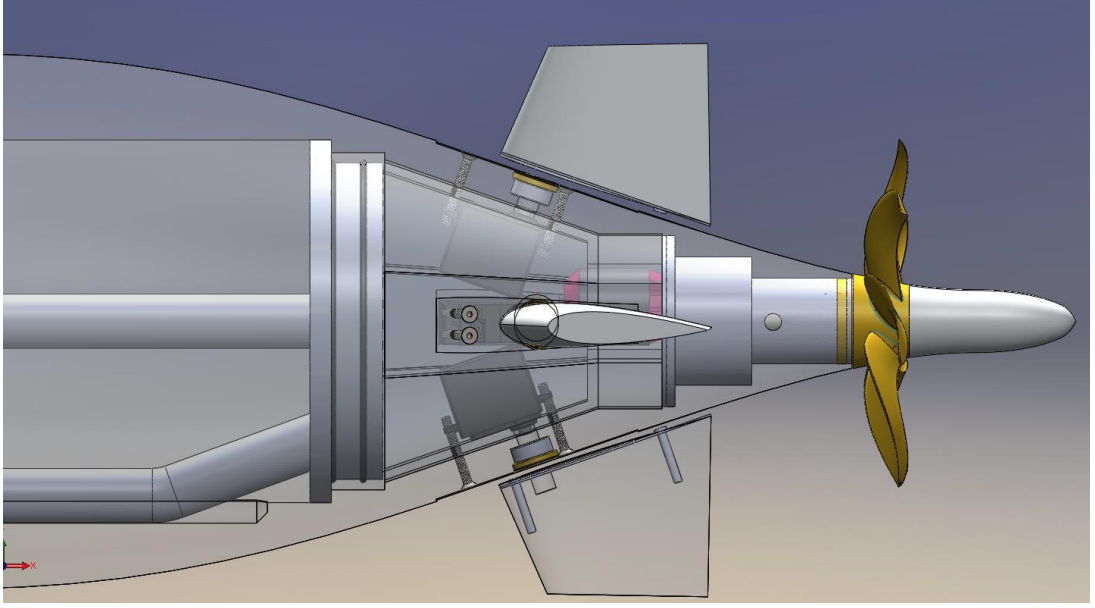


Şekil 5.4: Amudi dümen milinin sevk mili ile çakışması.

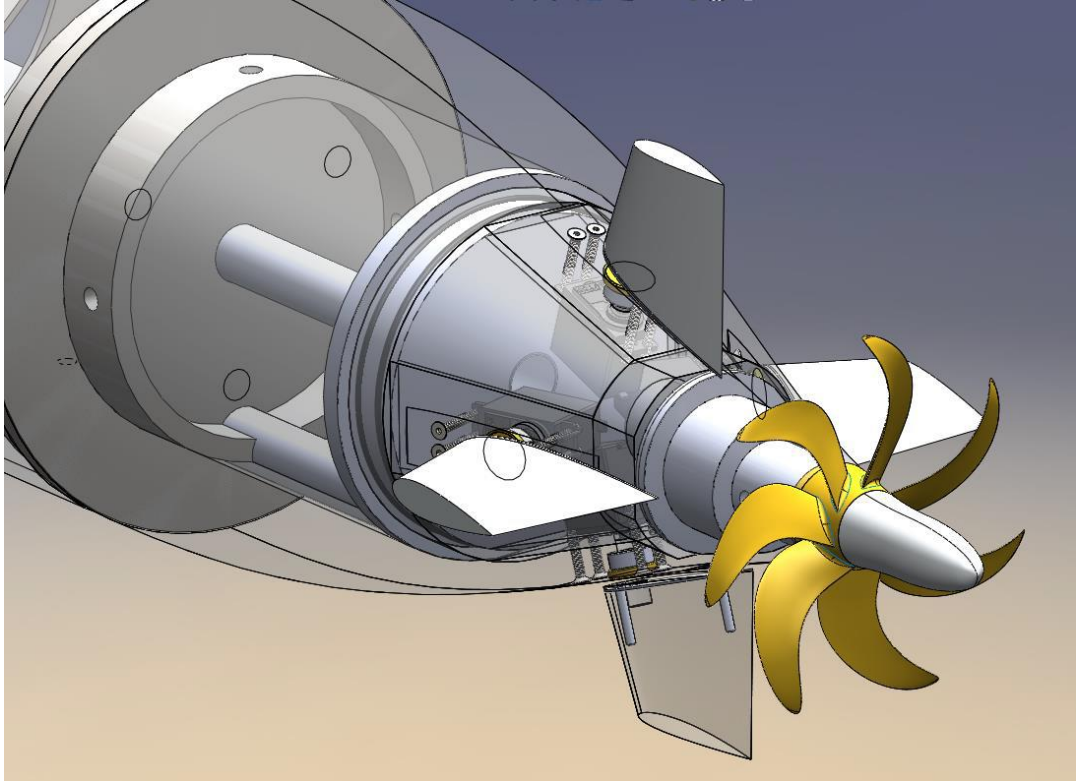
İlerleyen süreçte tasarım dört servo motor içerecek şekilde güncellenmiştir. Ancak bu yeni durumda servo motorların paralel gövde içerisinde yer alması, kıç kısımdaki koniklikle daralan yapı nedeniyle mümkün olmamıştır ve bu kısımda yeni bir su geçirmez gövde tasarlamak ihtiyaç haline gelmiştir. Bu yeni su geçirmez bölme içerisinde dört servo motor doğrudan şaft dümenlerine bağlanacak şekilde yeni oluşum sağlanmıştır. Yeni tasarım Şekil 5.5, Şekil 5.6 ve Şekil 5.7’de görülmektedir.



Şekil 5.5: Dümen servo motorları ve sevk motorunun yeni yerleşimi.



Şekil 5.6: Sevk motoru montaj kanisteri ve dümen yekelerinin bağlantıları.



Şekil 5.7: Dümen yekelerinin ve servo motorların bağlantıları.

Bu yeni yapıda kapalı bir alüminyum blok içerisinde dört servo motor, dümenleri kontrol edecek şekilde sabitlenecektir. Bunların ardından sevk motoru yer alacak ve sevk motoru ile pervane arasında, motorun devrini, pervane devrine uygun hale getirmekle görevli olan redüktör yer alacaktır. Pervane şaftı, redüktör şaftına setuskur ile sıkıştırılmakta ve bunun ardında thrust bearing ve salmastra yapısı

yerleştirilmektedir. E1619 pervanesinin ardından, DARPA SUBOFF denizaltısının formuna sadık kalınarak pervane hab parçası ile araç son bulmaktadır. Bu değişiklikler ardından aracın son tasarımı Şekil 6.1a ve Şekil 6.1b’de gösterilmiştir.

5.2 Elektrik ve Elektronik Sistemler

Sistem tasarımı, kullanılan yeni sevk motoru ve dümen motorları ile yenilenmiştir. Sevk için 24V DC motorun kullanılmasına, dümen motorlarının ikiden dörde çıkarılmasına karar verilmiştir.

Akustik modem tedarik edilene kadar haberleşme çalışmaları Xbee üzerinden yürütülecektir.

5.2.1 Dümen ve sevk sistemi

Sevk motoru için yapılan çalışmalarda öncelikle Heinzmann PMS100 motoru kullanılıp, daha sonra Thunder Tiger Ripper fırçasız motoru tercih edilmiştir. Fakat kalkış için gerekli torkun sağlanamaması yeni bir motor arayışına sevk etmiştir. 24V DC, 1000RPM 100W bir motor sisteme dahil edilmiş, güç devresi tasarlanmış ve gerçekleştirilmiştir. Aynı devre üzerinde 4 dümen motorunun da güç ve pwm bağlantıları sağlanmıştır.

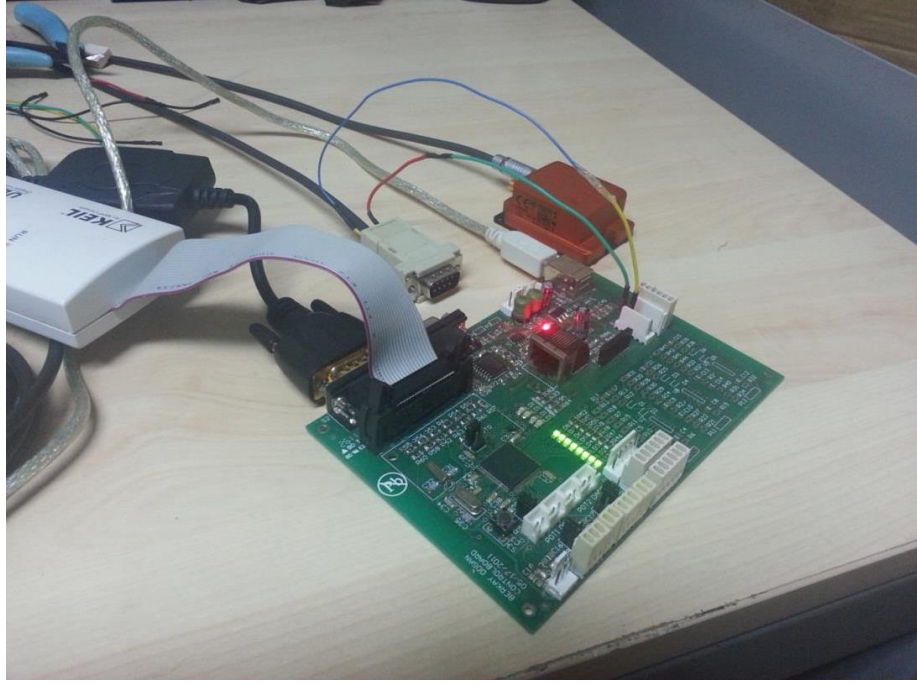
Aracın dört adet dümen kanadı bulunmaktadır. Bu kanatların çift halinde birer adet servo motorla kontrolünün sağlanması hedeflenmiştir. Dört adet servo motor kullanılarak her dümen kanadı tek tek kontrol edilmektedir. Bu yapı ile ilk tasarım sonucu karşılaşılan sorun çözülmüştür. Dümen motorlarının, kendi aralarında ters yönde dönerek senkron bir hareket sağlamaları sebebiyle kontrol kartında pwm kontrolüne dair kod çalışması yapılmıştır.

5.2.2 Navigasyon sistemi

XSENS MTI-G 700 ürünü ile ilgili yapılan çalışmalar, ham veri ve kalibre edilmiş veri üzerinde devam etmiştir.

Planlanan çalışmalar dahilinde seriporttan alınan verinin konfigürasyonu değiştirilecektir. Bu değişiklik ile sadece istenilen paket alınmış olacaktır. Bu data sayesinde aracın 3 boyutlu izi çıkarılabilecektir. Üretici firmadan Şekil 5.8’de görülen seri port haberleşme kablosu tedarik edildikten sonra gerekli data konfigürasyonu yapıp bu cihazdan calibrated free acceleration ismiyle üç eksen

ivme verileri alınmıştır. Elde edilen verilerin ayırık zamanda integrali alınıp üç eksene dair hız ve konum verileri hesaplanmıştır. Bu üç eksene ait konum verilerinin seri porttan arayüze aktarılması sağlanmıştır.



Şekil 5.8: MTI-G 700 sensörü ve kontrol kartı çalışmaları.

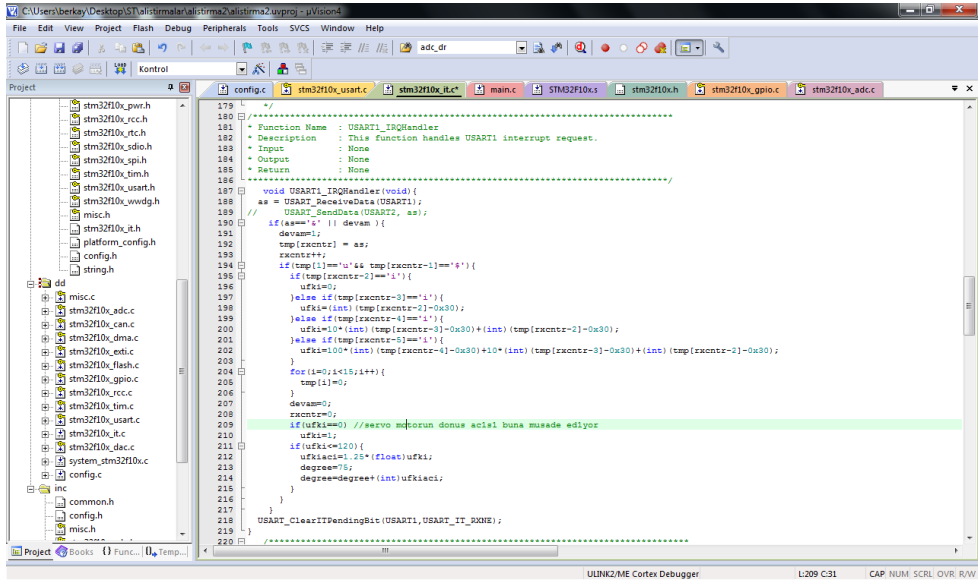
5.2.3 Haberleşme

Yapılan arayüz çalışmasına paralel olarak dümen pozisyonlarının kontrolü, sevk motoru rpm kontrolü ve aracın 3 ekseninde pozisyon bilgisi ile ilgili gömülü kod çalışması yapılmıştır. Bu çalışmalarda iki adet Xbee modülü bilgisayar ve kontrol kartı arasında haberleşmeyi sağlamıştır. Kart ile Xbee arasında ve kart ile XSENS MTI-G 700 arasında 115200 band genişliğinde haberleşme yapılmaktadır.

5.2.4 Kontrol kartı ve gömülü yazılım

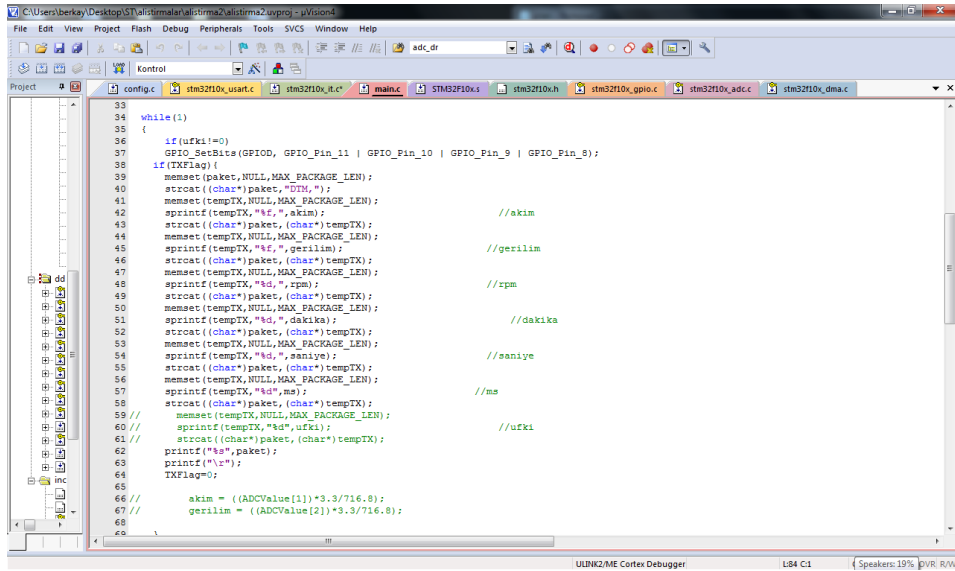
STM32F107 mikrokontrolöre sahip kontrol kartı ile kod çalışması yapılmaktadır. MicroVision4-Keil programı kullanılarak geliştirilen yazılım ile tasarlanan aracın hedeflenen bütün kontrolleri gerçekleştirilmiştir.

Sevk motoru, dümen kontrollerini sağlayan servo motorları, akım sensörü, gerilim sensörü ve haberleşme ile ilgili yapılmış olan kod çalışması Şekil 5.9, Şekil 5.10, Şekil 5.11 ve Şekil 5.12’de ki gibidir.



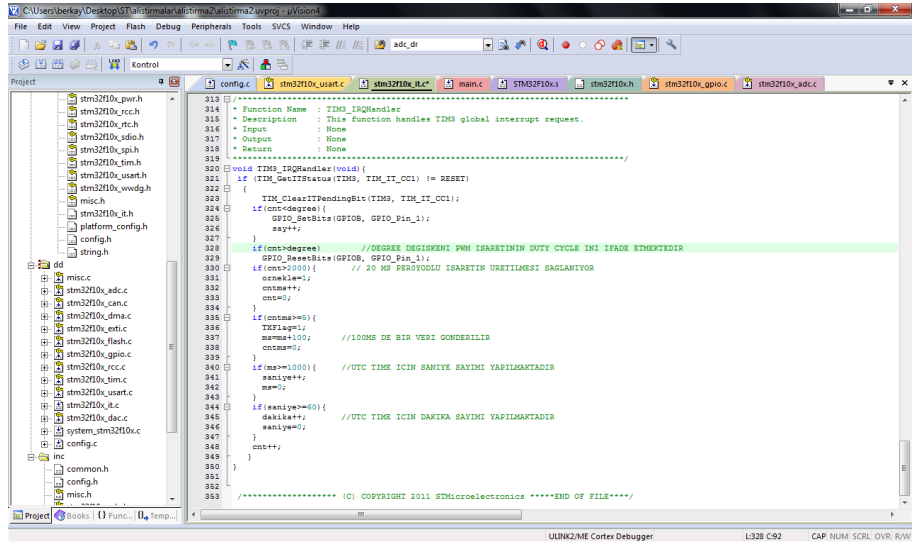
Şekil 5.9: MicroVision4-Keil programı, kara bilgisayarından alınan dümen pozisyon bilgilerinin servo motorlar için dönüşüm katsayıları.

Arayüzden gönderilen, ufki dümen, amudi dümen, sevk motoru verileri seriport kesmesi ile alınarak ilgili değişkenlere atanmaktadır. Gelen değerlere karşılık uygulanması gereken PWM işaretleri arasında kalibrasyon yapılmış ve bu kesmede değerler doğrulanarak atanmıştır.



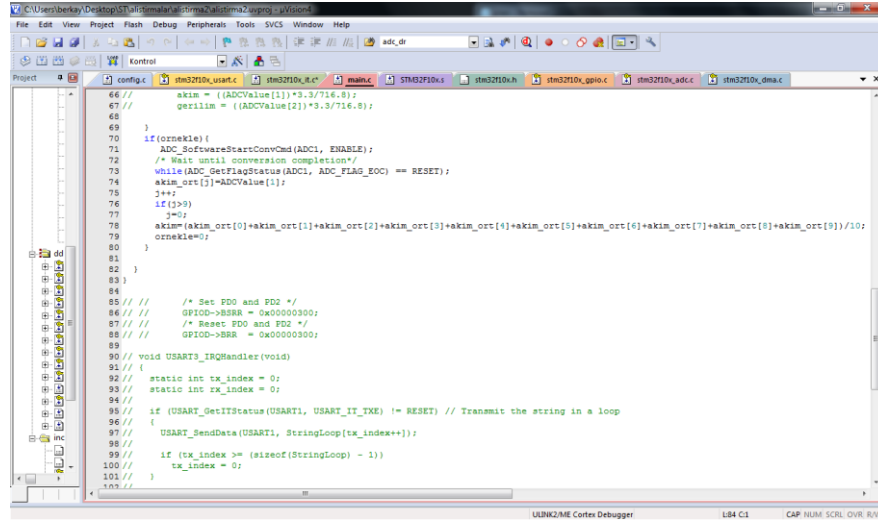
Şekil 5.10: MicroVision4-Keil, arayüze gönderilecek veri paketinin oluşturulması.

Toplanan veriler tek bir string haline dönüştürülmektedir. Akım, gerilim, RPM, dakika, saniye ve milisaniye verileri her 100 ms de bir gönderilmektedir.



Şekil 5.11: MicroVision4-Keil, PWM üretimi için zamanlayıcı ve UTC kodu.

Timer3 kesmesi düzenlenmiştir. PWM işareti burada üretilmiştir. INS ile data senkronizasyonunu sağlamak için gönderilen UTC Time burada düzenlenerek ms, saniye, dakika olarak PC ye gönderilmektedir. Veri gönderim sıklığı olarak 100 ms seçilmiştir. Burada TXFLAG 1 yapılarak 100 ms de bir veri gönderimi sağlanmıştır.



Şekil 5.12: MicroVision4-Keil, okunan akım verisinin ortalamasının alınması.

16 bit çözünürlüğe sahip olan ADC portundan LEM firmasına ait LA-100 akım sensöründen veri alınmaktadır. Her 10 verinin ortalaması alınarak akım verisi oluşturulmaktadır.

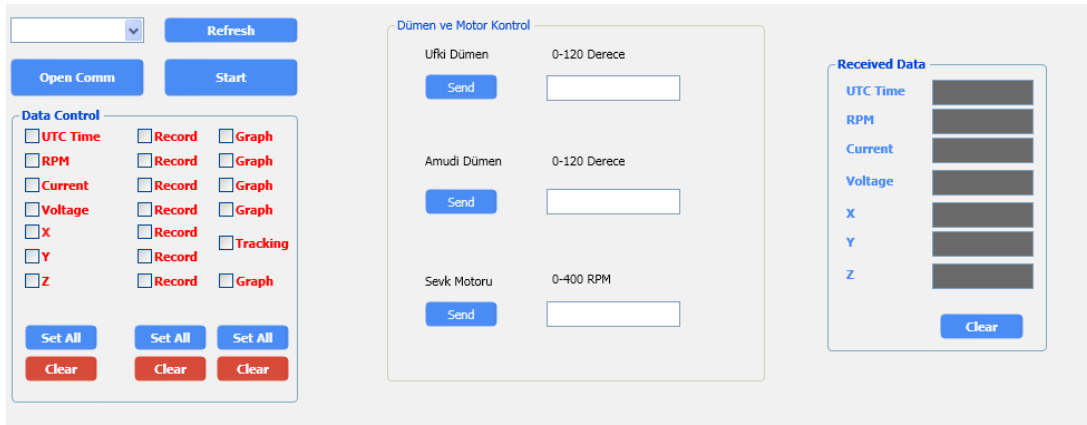
Dümen kanatlarında bulunan servo motorlarına ve sevk motorunun sürücüsüne, gerekli olan PWM sinyallerini vermektedir. Kontrol kartında kullanılan algoritmaya ait akış diyagramı Şekil 7.2'deki gibidir.

5.2.5 Dümen ve sevk sistemi

Karttan üretilen PWM sinyalleri ile bu yapıların pozisyon ve hız kontrolleri yapılmaktadır. Sevk motorunun sürücüsü, kartın 1.PWM çıkışı ile kontrol edilmektedir. Ufki dümene ait kanatlarda bulunan iki adet servo motor 2. ve 3.PWM çıkışları ile kontrol edilmektedir. Amudi dümene ait kanatlarda bulunan iki adet servo motor 4. ve 5.PWM çıkışları ile kontrol edilmektedir.

5.3 Arayüz Yazılımı

Arayüz ekranı araçla olan iletişimi sağlamaktadır. Gerçek zamanlı veri gönderimi ve gerçek zamanlı veri alımına olanak sağlar. Toplanan veriler kaydedilir ve grafikleri çizdirilir. Şekil 5.13'te görüldüğü üzere, anlık olarak alınan veriler sağ tarafta görülür.



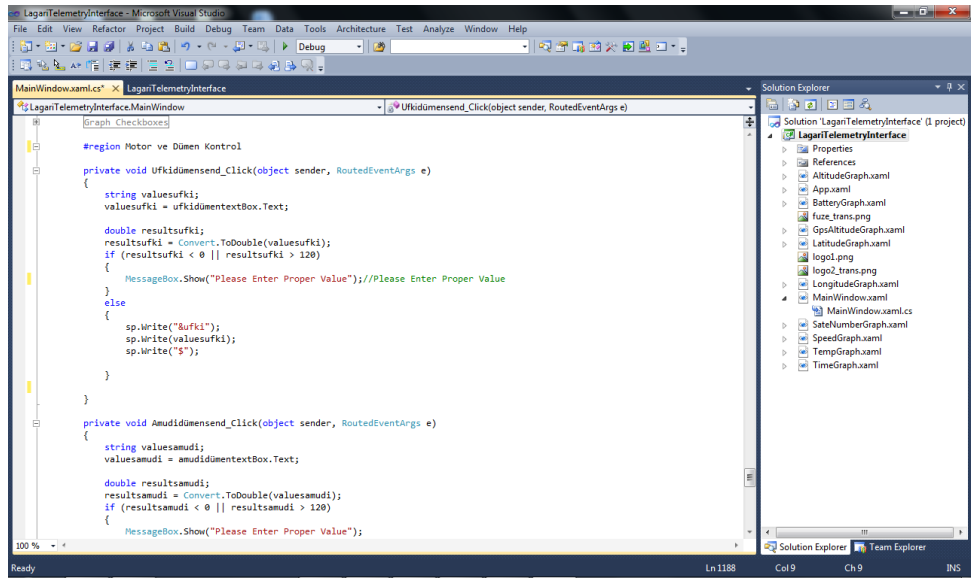
Şekil 5.13: Visual Studio 2012 programında geliştirilen arayüz.

Yukarıda görülen arayüz görüntüsünde daha önce bulunmayan, X,Y ve Z eksenlerindeki konum takibi ile ilgili gerekli checkbox ve pencereler eklenmiştir.

Aracın harekete başladığı nokta 0,0,0 noktası kabul edilerek aracın hareketi boyunca kat ettiği X,Y,Z eksenlerindeki yolun takip edilebilmesi, kayıt edilebilmesi için gerekli kodlar tamamlanmıştır.

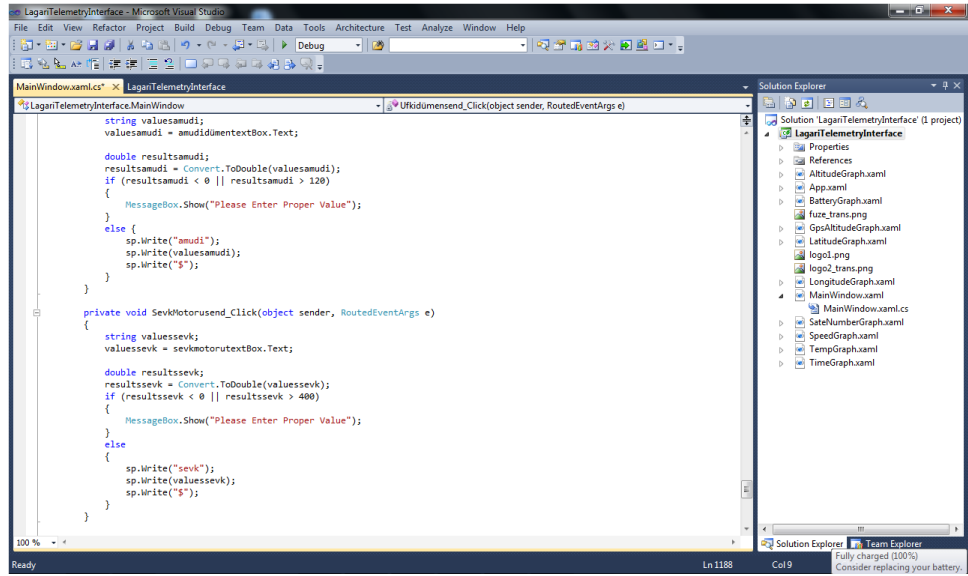
X ve Y değerlerini aynı grafik üzerinde çizdirecek, tracking data oluşturacak yapı eklenmiştir. Z değerinin ise altitude olarak zamana bağlı grafiğinin çizimi gerçekleştirilmiştir.

Şekil 5.14'te görülen kodda ufki dümenin istenen pozisyon bilgileri alınır. Burada alınan veriler seriport üzerinden karta gönderilir.



Şekil 5.14: Visual Studio 2012, ufki dümen pozisyonlarının kontrol kartına aktarılması.

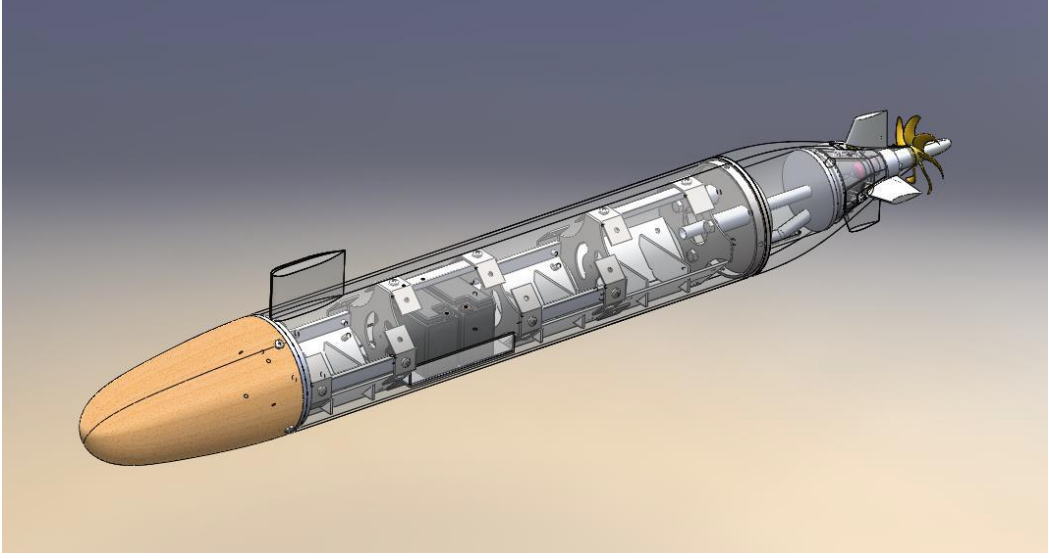
Şekil 5.15'te görülen koddaki sevk motoru ve amüdi dümenin istenen hız ve pozisyon bilgileri alınır. Burada alınan veriler seriport üzerinden karta gönderilir.



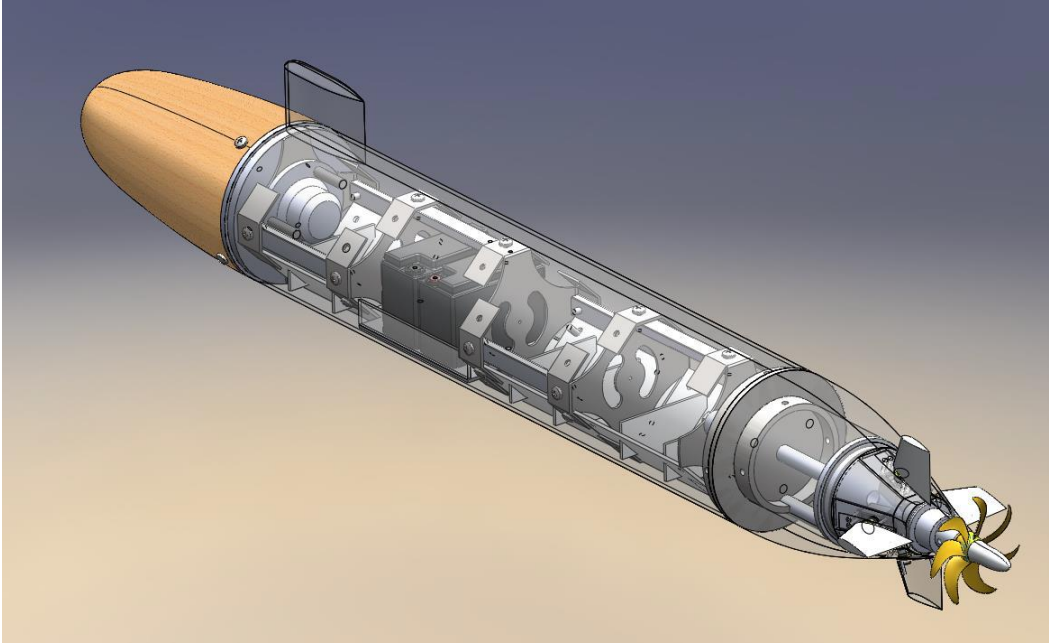
Şekil 5.15: Visual Studio 2012 amüdi dümen pozisyonlarının kontrol kartına aktarılması.

6. MODEL İMALATI

Detay tasarımı tamamlanan modelin imalatına başlanmıştır. Ahşap, kestamit, alüminyum, paslanmaz çelik, pleksi ve pirinç malzemeleri kullanılarak model şekillenmiştir. Yapılan çalışma Şekil 6.1 ve Şekil 6.2’de görülmektedir.



Şekil 6.1: Aracın tasarım değişikliklerinin ardından görünümü.



Şekil 6.2: Aracın tasarım değişikliklerinin ardından görünümü.

6.1 Baş İmalatı

Denizaltı modelinin baş formu ağaç tornası kullanılarak imal edilmiştir. İmalat sırasında formun oval yapısına sadık kalabilmek için birebir ölçüde alınan ozalit çıktısı master olarak kullanılmıştır. İmalat sırasında parçayı tornaya bağlayabilmek için baş kısımda bir çıkıntı bırakılmıştır. Parçanın flanş uyumu sağlandıktan sonra bu kısım kesilerek zımparalanacak ve parça macunlanarak boyanacaktır, şekil 6.3.



şekil 6.3: Ahşaptan imal edilen baş kısmı.

6.2 Gövde İmalatı

Diğer yandan, denizaltı modelinin paralel gövdesini oluşturan pleksiglas parça uygun ölçüde kestirilmıştir. Bu paralel gövde içerisinde malzemelerin yerleşimi, akülerin ve sephiyeyi dengelemek için kullanılacak kurşun ağırlıkların sabitlenmesi için kullanılacak bükümlü sa parçalar iki boyutlu resimlere sadık kalınarak lazer ile kestirilmıştir ve daha sonra giyotin makas ile istenilen şekillerde bktrlmştir.

Bu sac parçalar arasındaki bağlantıyı sağlayan 10x30'luk profiller yine ölçüye uygun olarak kesilmiş ve sabitleme için delikleri delinmiştir. Elektrik devreleri, kurşun ağırlıklar ve akülerin zemini oluşturması için tasarlanan duvar ve taban parçalar ise lazer ile pleksiglastan kestirilmiştir.

Bu parçaların pleksiglas paralel gövde içinde yer almasını sağlayan ve üzerinde bulunan oringler sayesinde bu kısma su girmesine engel olan flenç parçalar ise Şekil 6.4 ve Şekil 6.5'te görülen CNC torna tezgahları kullanılarak imal edilmiştir.

6.3 Flanş İmalatları

6.3.1 İmalat tezgahları

Parçaların imalatında kullanılan tezgahlar;

CNC Torna

Modelde kullanılan flanş parçaları, kış formu ve sevk motoru yataklanmasında kullanılan parça üretilmiştir. CNC olması sebebiyle operatör hataları en aza indirilmiş olup imalat ve yüzey kalitesi oldukça yükselmiştir.

Universal Torna

Pervane şaftı ve dümen şaftları başta olmak üzere rulman ve keçe kovanları üretilmiştir. İmalat kalitesi operatör ustalığı ile doğrudan alakalı olup üretilen parçaların büyük çoğunluğunda hatalar meydana gelmiş istenen toleranslara ulaşılamamıştır. Ayrıca piyasada bulunan tornacılar genelde küçük parçaları, çok uğraştırdığı için yapmak istememektedirler.

Matkap

Dümen deliklerinin ve universal tornada üretilen parçaların sabitlenme deliklerinin oluşturulmasında kullanılmıştır.

Lazer Kesim

Şasiyi oluşturan parçaların tamamı yine bir CNC tezgah olan lazer kesim tezgahında üretilmiştir. Tolerans açısından ± 0.5 mm ye varan toleranslara sahiptir. Eğer kullanılacak parçaların toleransı çok önemli değil ise bu tezgah kullanılması üretim hızı ve maliyet açısından uygun olacaktır.

İşleme Merkezi

CNC tezgahta üretilen parçaların deliklerinin delinmesinde ve kılavuzlarının çekilmesinde kullanılan CNC tezgahtır. Geometrik ve boyutsal tolerans açısından oldukça kaliteli üretim yapabilmektedir. Şekil 6.6 ve Şekil 6.7’de işleme merkezine ait görseller görülmektedir.



Şekil 6.4: İşleme Merkezi dikey delik delme pozisyonu.



Şekil 6.5: İşleme Merkezi dikey delik delme pozisyonu.



Şekil 6.6: İşleme Merkezi dikey delik delme pozisyonu.



Şekil 6.7: İşleme Merkezi radyal yönde delik delme pozisyonu.

Abkant Pres

Şasi parçalarının lazer kesim işleminden sonra istenilen açıyla bükülmelerini sağlayan tezgahdır. NC bir tezgah olan abkant pres çözünürlük değeri komut sisteminde yüksek olmakla beraber metalin geri yaylanma değerinden dolayı çok hassas olamamaktadır.

Dikey Freze

Şekil 6.8'deki dikey freze sadece pervane miline kama kanalı açılmasında kullanılmıştır.



Şekil 6.8: Dikey freze.

İmalat sonunda üretilen parçalar Şekil 6.9'da görülmektedir.



Şekil 6.9: Üretilen parçalar ve teknik resimler.

6.4 Kıç İmalatı

Üç eksenli dikey freze ile öncelikle kütük içindeki malzemenin alınması, sonrasında iç yüzeylerin detaylarının işlenmesi gerçekleştirilmiştir. İç yüzeyleri işlenen kıçın, CNC tornaya bağlanarak dış yüzeyi de işlenmiştir. Dış yüzeyi de işlenmiş parça, beş eksenli frezeye bağlanmıştır. Kıç formunda düzgün geometrik yere sahip olmayan delikler bu tezgahta işlenmiştir.

Parçaların imalatında bir dizi sorunla karşılaşmıştır. Sırasıyla incelenen sorunlar sırayla anlatılmıştır.

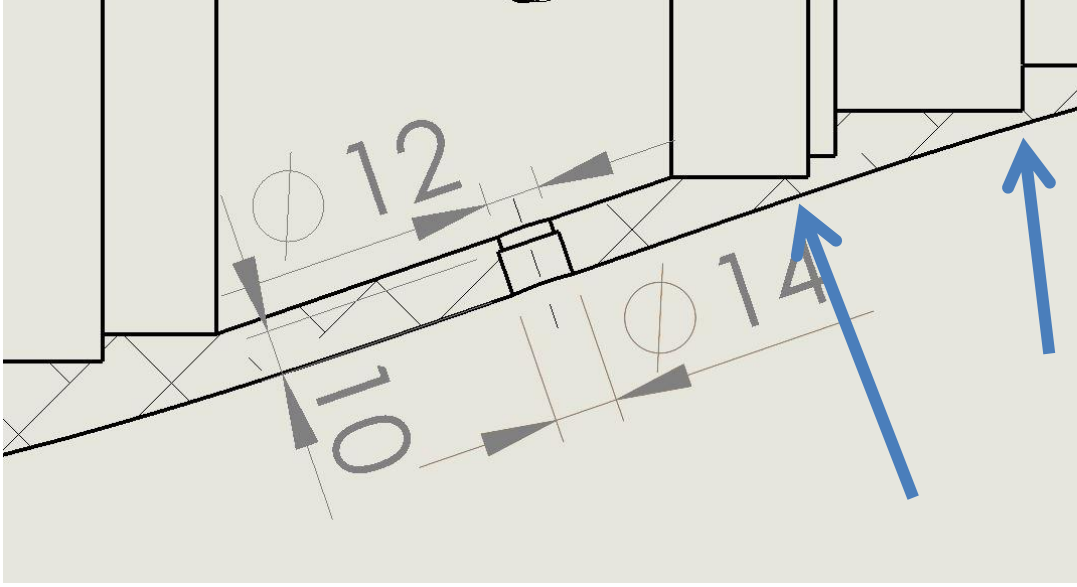
- Kıç formu malzemesi olarak düşünülen kestamid imalat sırasında 3 eksenli dikey CNC frezeye bağlanmıştır. İşlem esnasında aşırı iç gerilmeler nedeniyle kestamit kütük deforme olmuştur.



Şekil 6.10: İmalat sırasında kırılan kestamid parça.

- Kıç formunun oyulması gereken iç kısmının et kalınlıklarının kritik oranda düşmesi sonucu parçanın imalat sırasında kırılma riski olmuştur. Nitekim gerekli et kalınlığı artırma işlemi yapılmasına rağmen kestamid parça kırılmıştır. Alüminyum parçada ise böyle bir sorun olmamıştır. Operatörle

yapılan görüşmede et kalınlığının 5mm'nin altına inmesinin bu probleme neden olduğu anlaşılmıştır.



Şekil 6.11: Kıç formunun et kalınlıklarının kritik olduğu noktalar.

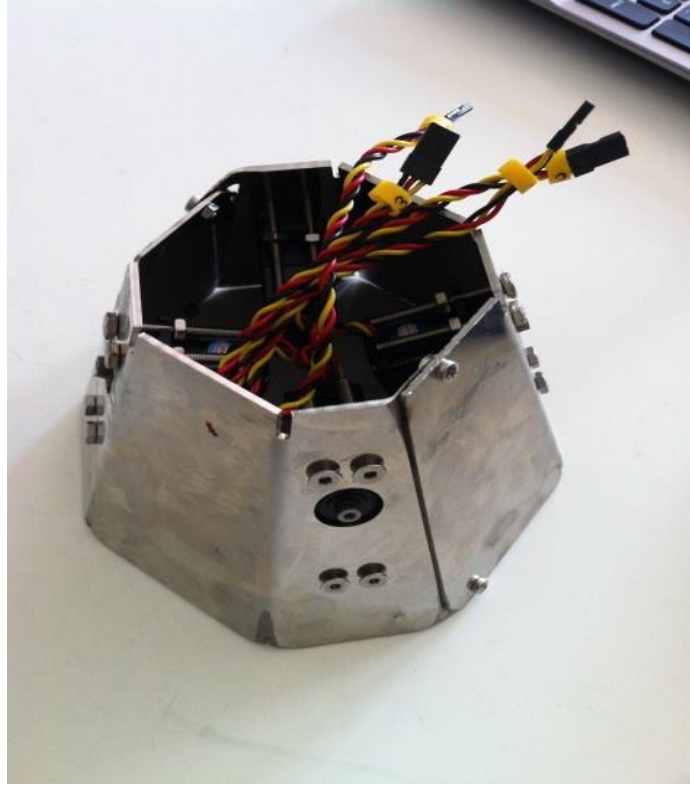
Kıç formunun oluşturulmasında et kalınlıklarının operatörün istediği şekilde düzenlenmesine rağmen kendi insiyatifleriyle birkaç mm daha genişletilmiş olup kıç formu teknik resimle aynı ölçülerde çıkmamıştır.

- Birbiri ile eş çalışacak parçaların farklı tezgahlarda, istenen toleranslarda üretilmemesi sonucu örneğin mil-göbek, flanş-boru arasında istenen geçmelerin sağlanamaması

6.5 Dümen Sistemi İmalatı

Dümen motorları yeni tasarım gereği Şekil 6.12’de görülen paslanmaz çelik şasiye monte edilmiştir. Şasi iki parçadan oluşmakta, iki vida ve iki geçme noktası ile birbirine kilitlenmektedir.

Sızdırmazlık elemanlarının takılmasında imalat hatalarından dolayı istenen sıkılık sağlanamamıştır. Şekil 6.13’te görülen oring yatakları kıça dıştan monte edilecek şekilde imal edilmiştir.



Şekil 6.12: Lazer kesim dümen motorları şasesi.



Şekil 6.13: Dümen şaft yatakları.

7. SİSTEM ENTEGRASYONU

7.1 Arayüz, Haberleşme ve Kontrol Sistemi Entegrasyonu

Main programında, Şekil 7.1’de de görüldüğü gibi TXFLAG’ın 1 olması ile birlikte gönderilecek olan paket oluşturulur ve seriport üzerinde arayüze gönderilir.

ADC ORNEKLE’nin 1 olması durumuyla akım ve gerilim değerleri örneklenir. Sonrasında ADC ORNEKLE bayrağı sıfırlanır.

UFKI DUMEN için arayüzden gönderilen değer, servonun sürüleceği pwm değerini belirler. Bu değer SAYICI ile kontrol edilir. SAYICI olması gereken pwm değerinden küçük olduğu müddetçe B0, 1 olur. SAYICI pwm değerini geçince B0, sıfırlanır.

AMUDİ DUMEN için arayüzden gönderilen değer, servonun sürüleceği pwm değerini belirler. Bu değer SAYICI ile kontrol edilir. SAYICI olması gereken pwm değerinden küçük olduğu müddetçe B1, 1 olur. SAYICI pwm değerini geçince, B1 sıfırlanır.

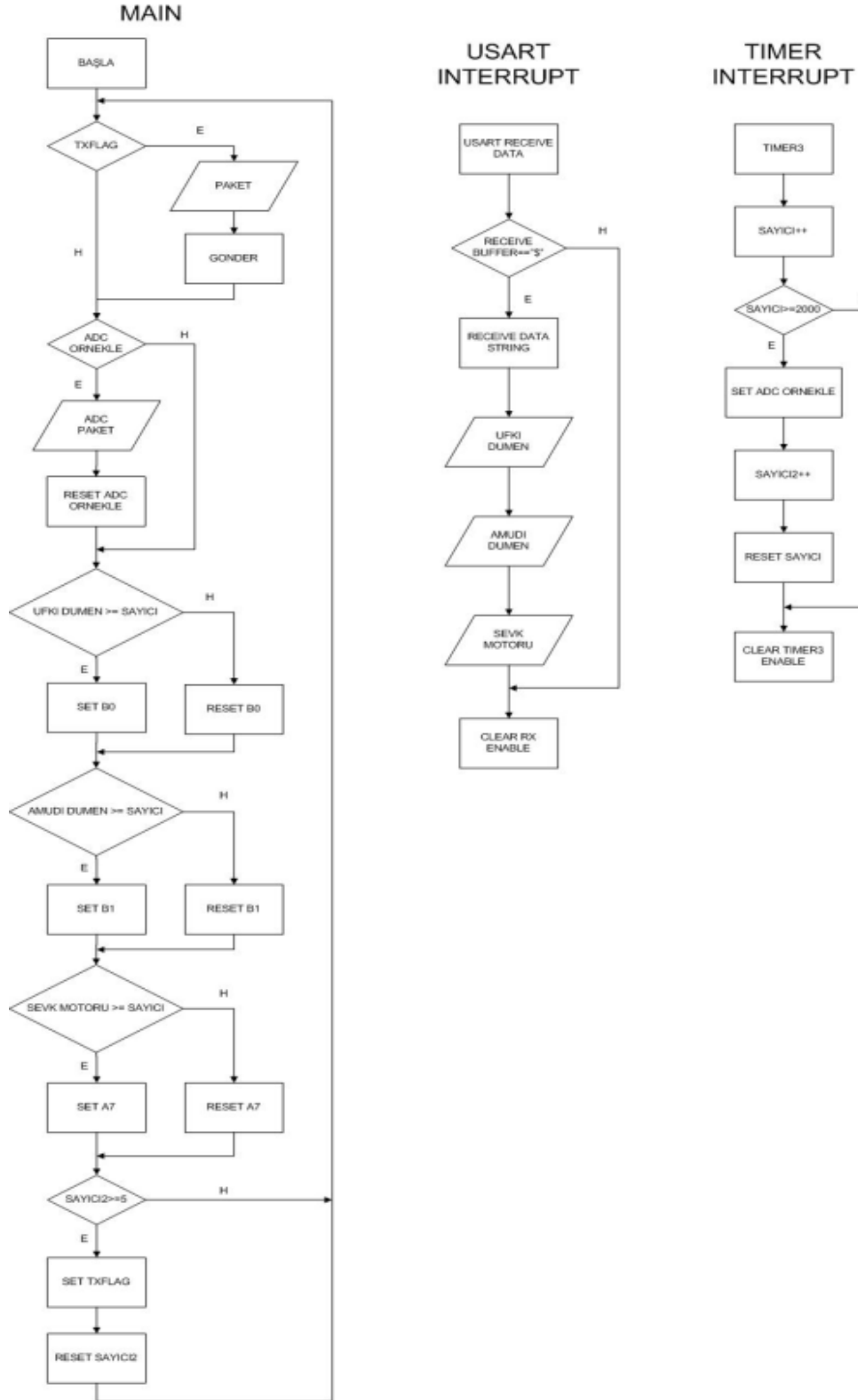
SEVK MOTORU için arayüzden gönderilen değer, sürücünün kontrol edileceği pwm değerini belirler. Bu değer SAYICI ile kontrol edilir. SAYICI olması gereken pwm değerinden küçük olduğu müddetçe A7, 1 olur. SAYICI pwm değerini geçince A7, sıfırlanır.

100ms için sayım yapan SAYICI2 değişkeni 5 değerine ulaşınca, TXFLAG 1 olur. SAYICI2 sıfırlanır. Döngü başa döner.

USART INTERRUPT’ta data gelmesi ile birlikte karakter kontrol edilir. Data “\$” karakteri değil ise RX ENABLE biti sıfırlanır, kesmeden çıkılır. Eğer data “\$” karakteri ise arkasından gelen data diziye kaydedilir. İşlenen data, UFKI DUMEN, AMUDI DUMEN ve SEVK MOTORU değişkenlerine sırasıyla atanır. RX ENABLE biti sıfırlanılarak kesmeden çıkılır.

TIMER INTERRUPT’ta her 10us de bir girilmektedir. SAYICI değişkeni her seferinde 1 arttırılmaktadır. SAYICI eğer 2000 den küçük ise TIMER3 ENABLE biti

sıfırlanır. Eğer SAYICI 2000 den büyük ise ADC ORNEKLE bayrağı 1 yapılır, SAYICI2 değışkeni bir arttırılır. SAYICI sıfırlanır. TIMER3 ENABLE biti sıfırlanır, kesmeden çıkılır.



Şekil 7.1: Gömülü sistem akış diagramı.

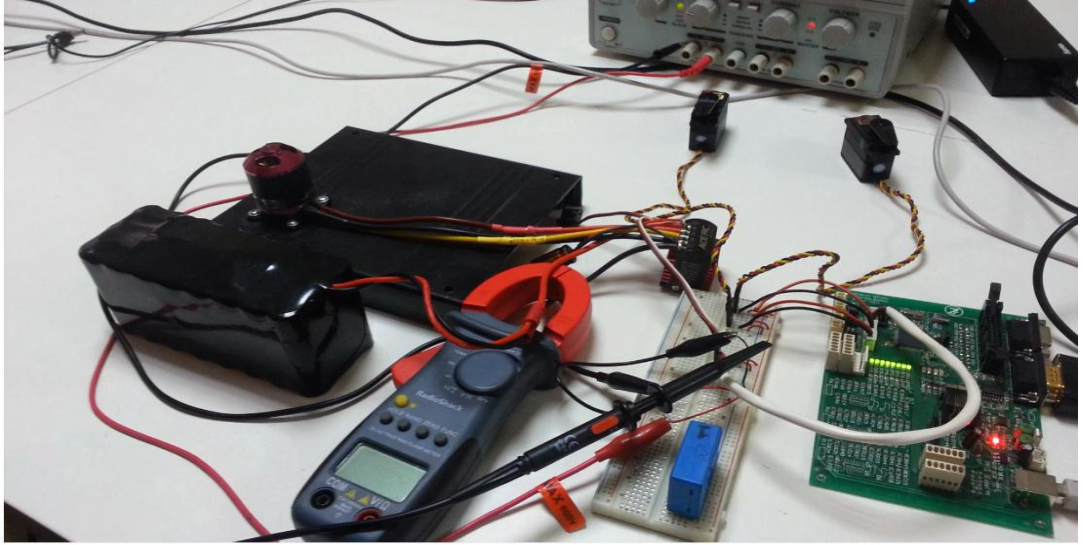
8. MONTAJ VE KONTROL TESTLERİ

Kontrol kartı ile dümen ve servo motorların kontrolüne dair son düzenlemeler tamamlanmıştır.

İmalatı tamamlanan denizaltı modelinin montaj çalışmaları yapılmıştır. Çizimler ile örtüşmeyen bağlantı delikleri yeniden düzenlenmiştir.

8.1. Kontrol Kartı Testleri

Şekil 8.1’de görünen iki adet servo motor ufki ve amudi dümeni kontrol etmektedir. Bu hedef ile $\pm 30^\circ$ açılı kontrolü gerçekleştirilmiştir. Ayrıca siyah plaka üzerine sabitlenmiş olan sevk motoruna ait hız kontrolü de yine arayüzden seriport vasıtası ile yapılmaktadır.



Şekil 8.1: Kontrol kartı, motor sürme, veri toplama ve veri gönderme çalışmaları.

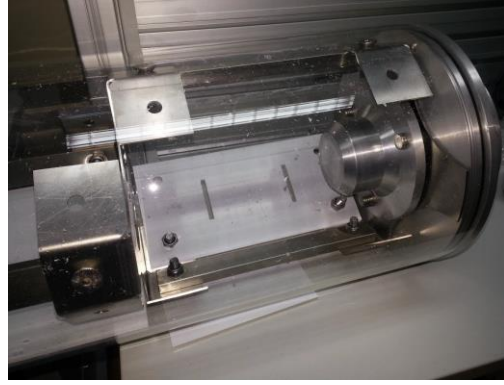
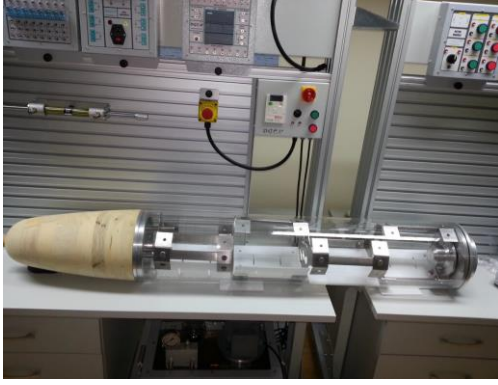
Elde edilen akım sensörü verileri bir akım probundan eş zamanlı alınan veriler vasıtası ile kalibre edilmiştir. 10 verinin ortalamasının alınması sebebiyle yaklaşık 100 ms gecikme ile veriler arayüze aktarılmıştır.

Servo motorların pozisyon kontrolü, 1° hassasiyetle yapılmıştır. Ufki dümen ve amudi dümen yekelerini kontrol eden servo motorların senkronizasyonları, testler sonucu tamamlanmıştır.

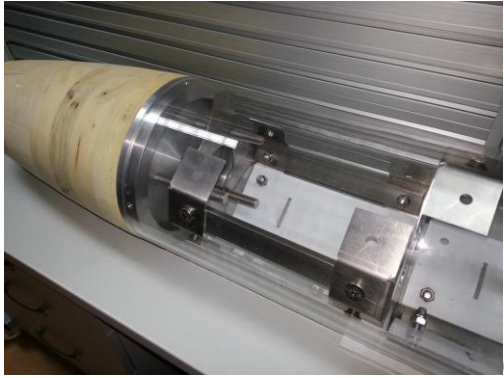
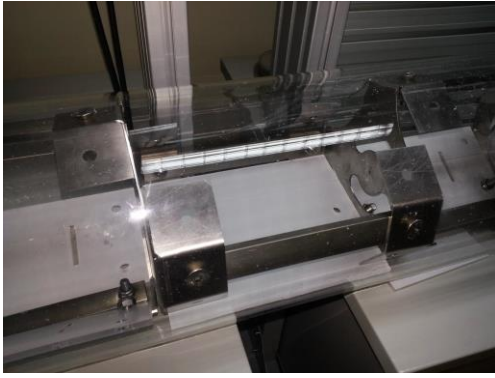
Sevk motoru kontrolü, motorun efektif gücünün lineer bir throttle eşleştirmesiyle sağlanmıştır.

8.2. Montaj Testleri

İmalatları tamamlanan parçalar için bağlantı ekipmanları tedarik edilmiştir. Ahşap başın Şekil 8.2a ve Şekil 8.3b’de görülen öndeki flanşa bağlantısı için üç adet 120° açılı ile delik açılmıştır. Ön flanşın gövde içindeki bağlantı kilidi için tornada parça imal edilmiştir. Bağlantıları tamamlanan paslanmaz çelik iskelet gövde içerisine sürülmüştür. Şekil 8.2b ve Şekil 8.3a’da kış taraftaki flanş bağlantıları yapılan iskeletin daha sonra ön flanş bağlantısı yapılmıştır. Son olarak baş kısmın montajı tamamlanmıştır.



Şekil 8.2: (a)Baş ve gövde bağlantıları tamamlanmış model. (a)Tornada imal edilen ön flinch kilit bağlantısı.

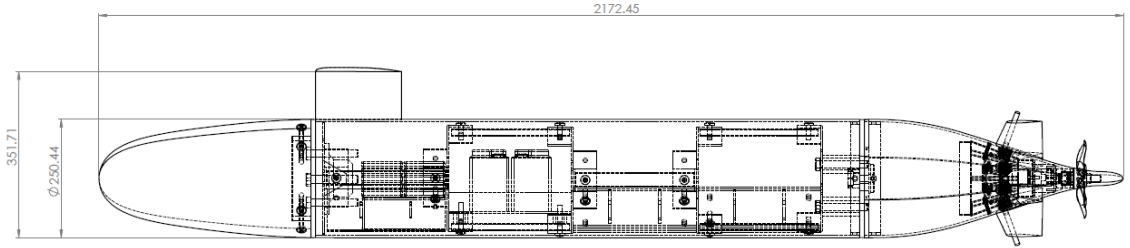


Şekil 8.3: (a)Montajı tamamlanmış paslanmaz çelik iskelet ve pleksi yüzeyler. (b)Montajı tamamlanan gövde ve ahşap baş.

9. PROTOTİP İNCELEMESİ

Model denizaltının dış formu standart bir forma sahip olup tasarımın işlevselliği ile ilgili, techizatların yerleştirilmesi ve modelin kullanılabilirliği amaçlanmaktadır. Şekil 9.1’de görülen modelin tasarımındaki önemli noktalar şunlardır;

- Sevk motorunun ve redüktörün uygun yere sabitlenmesi ve işlevselliği,
- Dümen servo motorlarının dış forma uygun bir yere sabitlenmesi ve işlevini yerine getirebilmesi,
- Gerekli elektronik cihazları ve bataryanın sabitlenip kablo tesisatının yapılabileceği iç iskelet tasarımı,
- Bilinen alt parçaların montaj kolaylığı
- Sistemin dinamik ve statik parçalarının sızdırmazlıklarının sağlanması ve gerekli elemanların seçimi,



Şekil 9.1: Modelin genel ölçüleri.

9.1 Konstrüksiyon

Farklı materyallerden imal edilen ana kısımların, iç iskelet ve flanşlar ile bir birleri arasındaki bağlantıları tamamlanmıştır. İç iskelet ve pleksi gövdenin tasarım öncesi düşünülen fonksiyonlarını yerine getirmişlerdir. Bunlar, şeffaf olma ve yerleşim kompartmanlarının oluşmasıdır. Fakat 3 mm et kalınlığına sahip pleksi gövdedeki esneme, flanş ve pleksi arasındaki contalardan su sızmasına neden olmuştur. Bu hata da paslanmaz çelik iç iskeletin rijit bir gövde oluşturamamasından da kaynaklanmaktadır.

9.1.1 Sızdırmazlık

Bütün sızdırmazlık elemanlarının genel çalışma prensibine göre mutlaka bir miktar önyükleme (sıkma payı) ile montaj yapılmalı ve sızdırmazlık elemanı kanalında uygun miktarda boşluk olmalıdır. Basınçlı akışkan, çalışma anında bu boşluğa dolarak sızdırmazlık elemanına etkimeli ve sızdırmazlık dudaklarını açarak ya da keçe malzemesini basınç etkisi ile şişirerek görev yapmasını sağlamalıdır.

Şekil 9.2’de pervane sızdırmazlığı için yapılan çalışma görülmektedir.

9.1.1.1 Dinamik sızdırmazlık

Model denizaltının dördü dümenlerin, bir tanesi pervanenin olmak üzere toplamda beş adet dönme hareketine sahip uzvu bulunmaktadır. Dinamik sızdırmazlık elemanı olarak Şekil 9.3 ve Şekil 9.4’te görülen SKF firmasının sızdırmazlık keçeleri kullanılmıştır.

- Stok numarası: 563795 tanımlama : 13x26x7 HMSA 10V 1 ADET
- Stok numarası: 3930 tanımlama : 10x14x3 HM4 R 4 ADET



Şekil 9.2: Pervane mili sızdırmazlık.



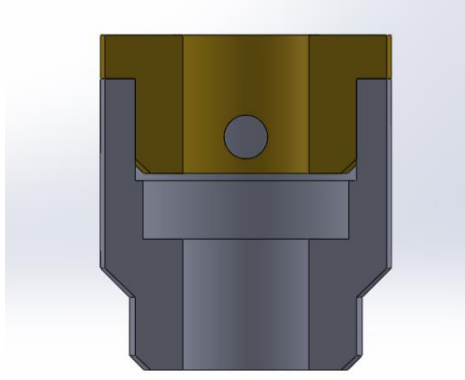
Şekil 9.3: SKF marka kullanılan keçeler.



Şekil 9.4: Dinamik parçalarda kullanılan keçeler.

Dinamik elemanlarda sızdırmazlık için kullanılan keçeler dinamik test şansımız olmadığından test edilememiştir. Fakat dümen milleri için kullanılan 3930 kodlu keçelerin yetersiz olduğu kanısıyla 10x16x4 ölçülerinde ilave bir adet daha keçe kullanılmıştır. Dinamik durumlarda sızdırmazlık elemanı mil dengesizliği, titreşim, form sapması gibi etkiler nedeniyle sızdırma yapabilir. Bu nedenle bu uzuvların imalatının yüksek kalitede yapılması ve son derece iyi şekilde yataklanması gerekmektedir. Ayrıca sızdırmazlık elemanlarında sistemin çalışma sıcaklığı ve basıncı sızdırmazlık elemanı seçiminde önemli rol oynamaktadır.

Şekil 9.5a'da görülen sızdırmazlık yatağına Şekil 9.5b'de görülen oring eklenmiştir. Şekil 9.5c'de görülen eski yatağın Şekil 9.5d'de görülen yeni yatak ile değiştirilmiştir.



(a)



(b)



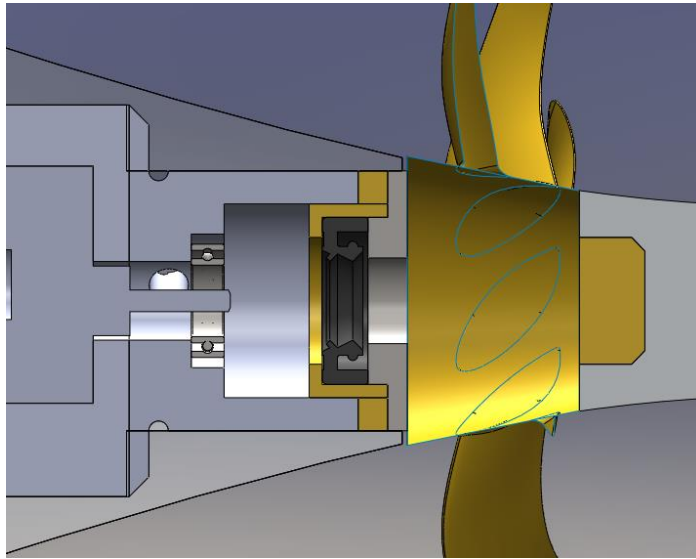
(c)



(d)

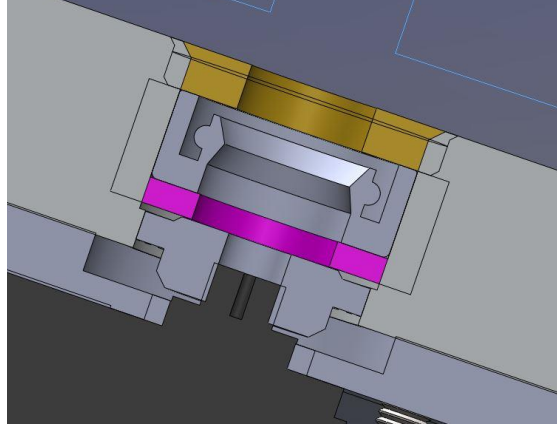
Şekil 9.5: (a)Dümen şaftı tasarımı. (b)Dümen şaftında kullanılan ilave keçe. (c)Önceki dümen şaftı yatakları. (d)Son üretilen dümen şaftı yatakları.

Konstrüksiyon olarak Şekil 9.6’da görülen sistem sırasıyla içten dışa doğru rulmanlar, keçenin oturacağı kovan ve kapaktan oluşmaktadır. Dikkat edilmesi gereken husus kapağın keçeyi ön yükleme yapmak suretiyle çok sıkılamaması gerektiği ve keçenin açık yüzeyinin dışa bakacak konumda olması gerektiğidir.



Şekil 9.6: Pervane sızdırmazlık tertibatı.

Şekil 9.7’de dümen şaftlarının sızdırmazlık tertibatına dair yapılan çizim görülmektedir. Şekil 9.8’de imalat ve montaj sonrası sızdırmazlık için gerek duyulduğu ön görülen tedbir görülmektedir.



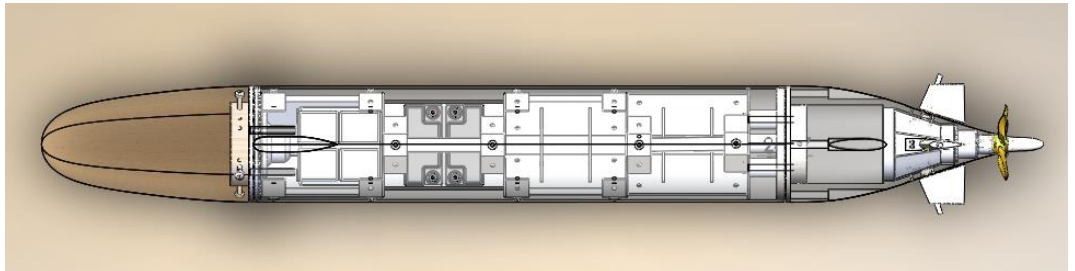
Şekil 9.7: Dümen sızdırmazlık tertibatı.



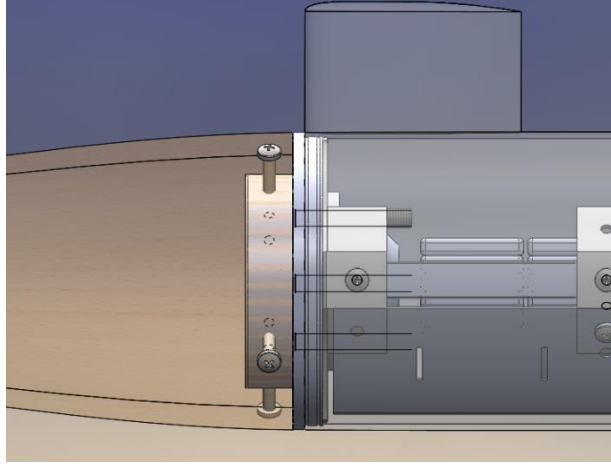
Şekil 9.8: Pervane milini yataklama yetersizliğinden dolayı eğilmesi ve sızdırma olasılığı.

9.1.1.2 Statik sızdırmazlık

Statik sızdırmazlık elemanları model denizaltının 3 önemli parçasının birleştirilmesinde kullanılmıştır. Bunlar, Şekil 9.9’da montaj haliyle bulunan, Şekil 9.10, Şekil 9.11, Şekil 9.12 ve Şekil 9.13’te görülen, baş, gövde ve kıçtır.



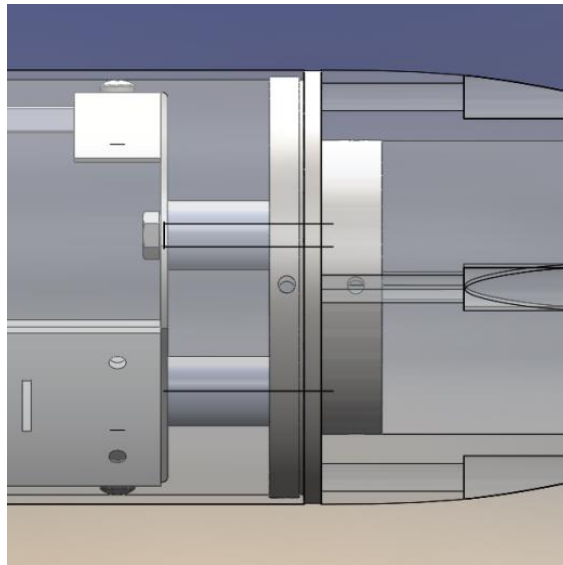
Şekil 9.9: Mekanik bağlantı noktaları.



Şekil 9.10: Ön - Boru arasındaki sızdırmazlık tertibatı için kullanılan flanş bağlantısı.



Şekil 9.11: Ön - Boru arasındaki sızdırmazlık tertibatı için kullanılan flanş parçası.

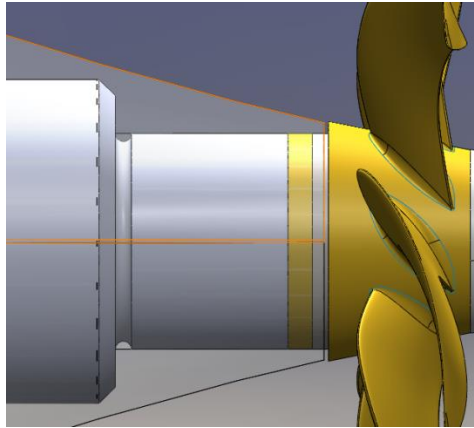


Şekil 9.12: Boru - K1ç arasındaki sızdırmazlık tertibatı için kullanılan flanş bağlantısı.



Şekil 9.13: Boru - K1ç arasındaki sızdırmazlık tertibatı için kullanılan flanş parçası.

Ana bağlantıların dışında, k1ç parça ile sevk motor yatağı arasında da sızdırmazlık tedbirleri alınmıştır. Şekil 9.14’te montajı görülen motor yatağı, Şekil 9.15’te görülmektedir.



Şekil 9.14: K1ç - Motor yatağı arasındaki sızdırmazlık tertibatı.



Şekil 9.15: İmalatı biten motor yatağı.

Resimlerden de görüldüğü üzere statik sızdırmazlık elemanı olarak sadece oringler kullanılmıştır. Fakat sızdırmazlık testlerinde bu kısımlardan su sızıntısı olmuştur. Bunları sıralanan sebeplere bağlayabiliriz.

- Gövde malzemesi olarak kullanılan pleksiglas'ın çap değerinin uniform olmaması ve kuvvet altında şekil değiştirerek yuvarlaklığının bozulması,
- Flanş parçaları ve boru arasındaki muylu boyunun yeteri kadar uzun olmaması
- Statik sızdırmazlık elemanı olarak genelde kullanılan contalar ve bunları aksenal yönde sıkıştıran cıvataların yerine sadece oringler kullanılması
- Sıvı conta veya kullanılan macunların istenen verimi verememesi (sıvı contanın geçici bir çözüm olması nedeniyle bir sonraki tasarımda kullanılmaması uygundur);
- Ayrıca Kıç parçası ile flanş arasında radyal yöndeki imbus cıvataların sızdırma olasılıkları

9.1.2 Montaj

İmalatı biten denizaltı modelinin montaj çalışmaları yapılmıştır. Gerekli bağlantı ve sızdırmazlık ekipmanları tedarik edilmiştir.

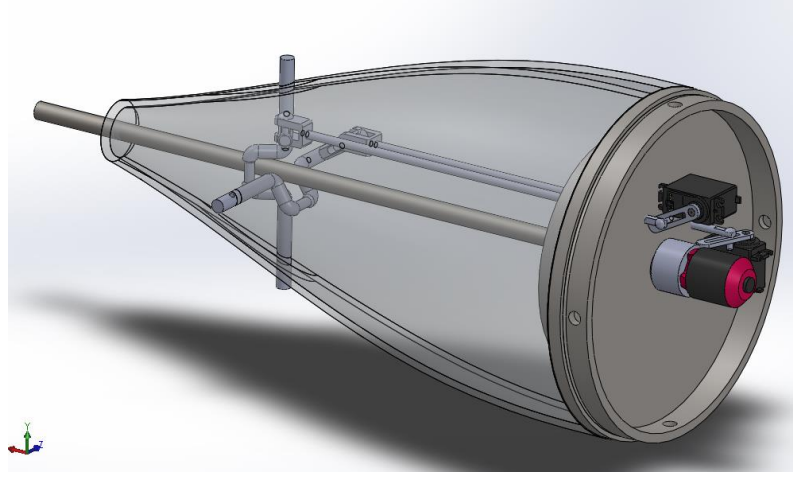
9.1.2.1 Hareketli aksam montajı

Hareketli aksam konstrüksiyonu sevk motoru, servo motorlar ve redüktörden oluşmaktadır. Bu parçaların tasarımı zaman içerisinde değiştirilmiştir. Hareketli aksam sadece kıç parçası içerisine tesbit edilmiştir. Kronolojik sıra ile tasarım değişiklikleri;

İlk tasarımda alttaki şekilden de anlaşılacağı üzere sevk motoru ve 13:1 tahvil oranına sahip redüktör kıç-boru flanş parçasına sabitlenmiş olup uzun bir şaft ve yataklama ile beraber pervaneye gücü iletmektedir. Fakat kullanılan DC motorun şaft çapı ile redüktör pinyon delik çapları birbirinden farklı olması sebebiyle montaj sorunları meydana gelmektedir.

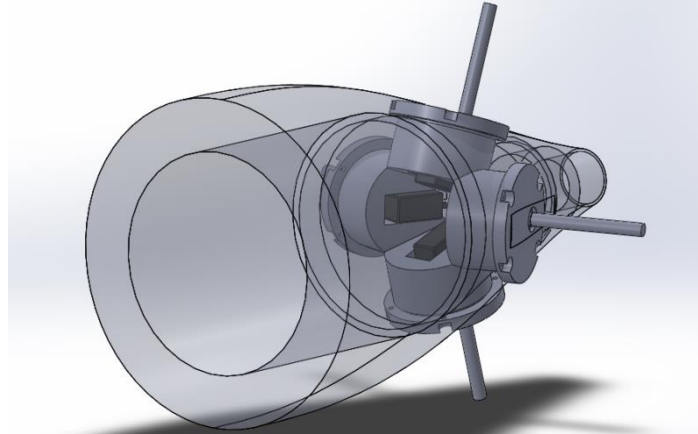
Dümen dönme mekanizmaları ise pervane şaftının dönmesini engellemeyecek şekilde ortasından kıvrımlı bir mil ile servonun dönme hareketini 3 uzuvlu tek serbestlik dereceli bir mekanizma ile dümene aktarmaktadır. Buradaki muhtemel sorun ise dümenlerin istenen dönme aralığına sahip olabilme sorunudur. Fakat bu tasarımın değiştirilme nedeni ise dümenlerin dönüşü sırasında kıç yüzeyine sürtünmeleridir. Ayrıca dümenlerin dönme eksenleri kıç formuna dik değildir.

Şekil 9.16’da görülen ikinci tasarımda ise her dümen için bir servo motor kullanılmasına karar verilmiştir. Gerekli sızdırmazlık tertibatı konstrüksiyon yapılmıştır. Fakat servo motorların sabitlenmesi konusunda sıkıntılar yaşanmıştır. Servo motorun sabitlenmesi için kullanılan dört adet M4 cıvata kış formuna direkt olarak monte edilebilirdi fakat toplamda 16 adet olan bu deliklerin başlı başına sızdırmazlık sorunları olabilmektedir. Sevk motoru redüktörlü bir DC motorla değiştirilmiş ve kış formunun en uç noktasına sıkı geçme sabitlenmiştir. Fakat ayrıca bir cıvata bağlantısı olması rijitlik açısından uygun olacaktır.



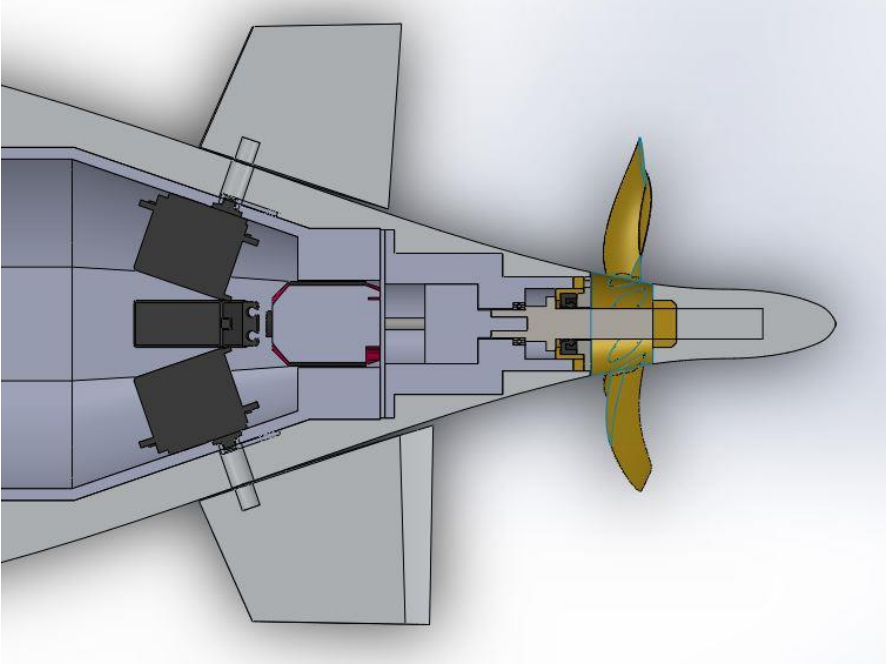
Şekil 9.16: Dinamik aksam ilk tasarım.

Şekil 9.17’de görülmekte olan üçüncü tasarımda ise servo motorların montaj zorluğu nedeniyle servo motorlara ayrı bir case yapıp kış formuna dıştan sabitlenebileceği bir tasarım yapılmıştır. Fakat bu tasarımın gerçekleştirilememesinin sebebi ileri teknoloji (5 eksenli CNC freze) imalat gerektirmesi ve bizim bu imkana sahip olamamamızdır. Ayrıca sızdırmazlık problemi meydana gelebilir.

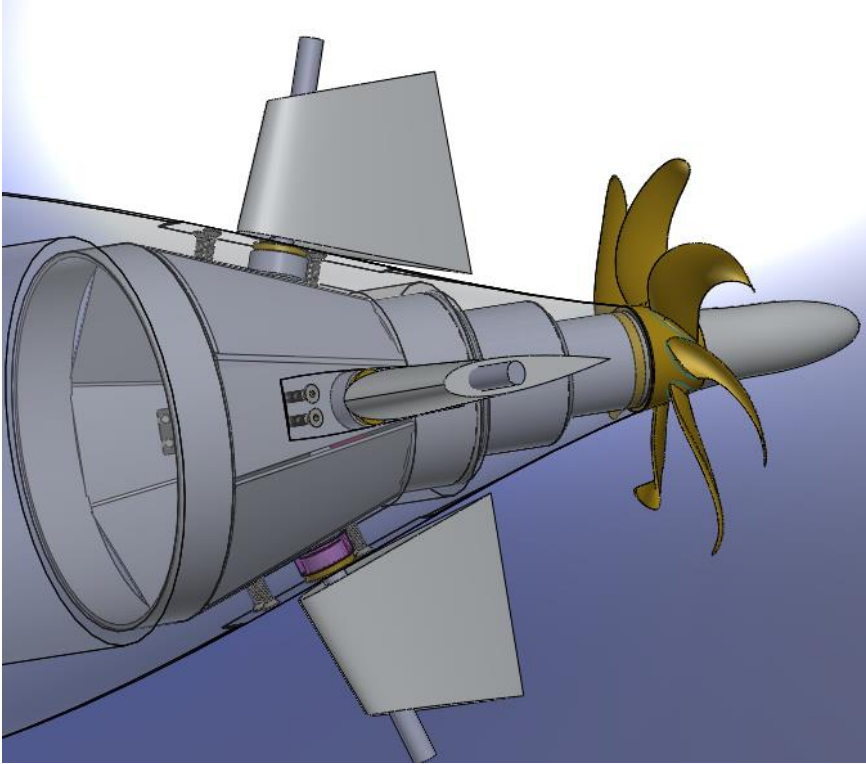


Şekil 9.17: Dinamik aksam ikinci tasarım.

Şekil 9.18 ve Şekil 9.19’da görülen dördüncü ve son tasarımda ise Şekil 9.20’de görülen servoları sabitleyecek lazer kesim paslanmaz çelikten bir şasi imal edilmiştir. Bu şekilde servo milleri ve delik eksenleri eş eksenli hale getirilmiştir. Fakat lazer kesim parçanın kış formuna sabitlenme gerekliliği vardır.



Şekil 9.18: Son durumda hareketli aksam montaj.



Şekil 9.19: Son durumda hareketli aksam montaj.

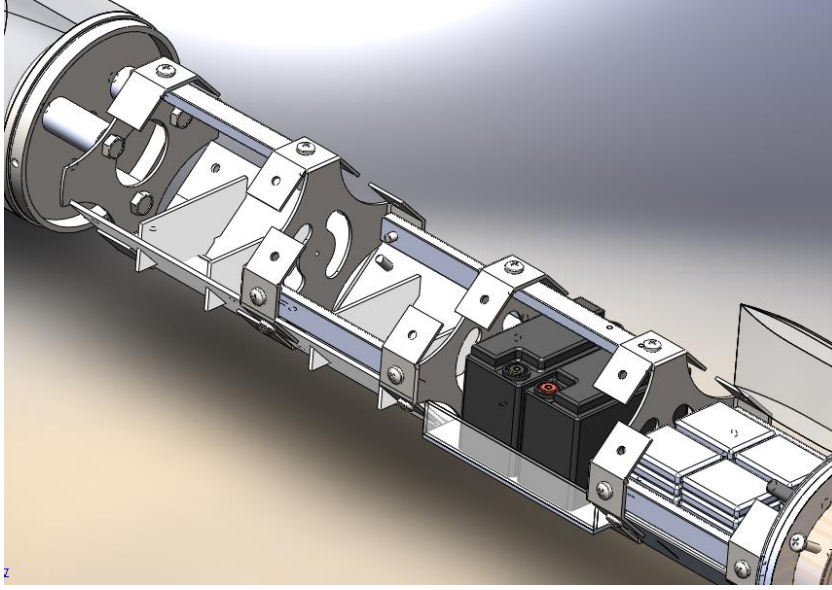


Şekil 9.20: Lazer kesim şasi.

Sevk motoru yataklanmasında kullanılan rulmanın yetersiz gelmesi sonucu milde eğilme meydana gelmektedir. Bu sebepten iki rulman kullanılması uygun olacaktır. Ayrıca motorun bağlı olduğu eksantrik deliği olan parçanın normal çelik olması sonucunda paslanma meydana gelmektedir. Bu parçanın alüminyum veya paslanmaz çelikle değiştirilmesi gerekmektedir. Ayrıca servo motorların montaj zorluğu bulunmaktadır. Bu sebepten Servocity internet sitesinden uzun servo milleri alınmıştır. Bir sonraki tasarımda bunların kullanılmasıyla dümen dönme mekanizmasındaki sorun ortadan kalkacaktır.

9.1.2.2 Sabit aksam montajı

İç iskelet yapı, bataryayı, elektronik kartları ve kurşun ağırlıkları taşımak amacıyla tasarlanmıştır. Toplamda dört adet ana bölmeden oluşmaktadır. İç kısmın bölmelerden oluşmasının sebebi denizaltının stabilitesini sağlamak amacıyla yerleştirilen kurşun ağırlıkların farklı yerlere kolayca eklenebilir olmasıdır. Şasiyi lazer kesim parçalar ve 30x10 paslanmaz profiller oluşturmaktadır. Başta ve sonda olmak üzere iki adet flanş parçası ise üçer adet M16 cıvata ile şasiye bağlanmaktadır. Bu civatalar sıkıldığında ortadaki şasiyi gerdirerek sistemin sabit kalmasını sağlamaktadır. Şekil 9.21’de yapılan tasarım görülmektedir. Şekil 9.22’de montajı yapılmakta olan gövde şasisi görülmektedir.



Şekil 9.21: İç iskelet 3B çizim.



Şekil 9.22: İç iskelet.

Sızdırmazlık Keçelerinin Montajı:

- Montaj yapılacak mekânın ve montaj masasının temizliği çok önemlidir. Burada kesinlikle yabancı madde bulunmamalıdır.
- Montaj öncesinde keçe ve yataklama kanal ölçüleri, kavis ve pahların yüzey kaliteleri kontrol edilmiş ve temiz olmalıdır. Köşelerde kalan çapaklar önemli bir tehlikedir.
- Sızdırmazlık elemanlarının temiz olmasına dikkat edilmelidir.
- Bütün sızdırmazlık elemanları tercihen sistem yağı ile yağlandıktan sonra montajı yapılmalıdır. Gresle yağlama yapmaktan kaçınılmalıdır.
- Keskin sivri köşelere sahip montaj aparatları kullanılmamalıdır.

- Sızdırmazlık elemanlarını montaj öncesinde kontrolsüz olarak ısıtmak son derece zararlıdır.
- Montaj sonrasında test yaparken basınç, sıcaklık, kayma hızı gibi özelliklerin dışına kesinlikle çıkılmamalıdır.
- Test sonrasında silindirle ilgili son işlemler yapılacaksa (Örneğin, boyama gibi.) sıcaklığın 80°C üzerine çıkmamasını sağlamak önemlidir [13].

9.1.2.3 Montaj değerlendirme

Parçaların test öncesi montajının yapılıp test ortamına götürülmesi ağırlığından dolayı zor olmaktadır. Ayrıca yapılacak küçük değişiklikler için tüm sistemin sökülmesi gerekmektedir. Montaj için gerekli el aletlerinin montaj bölgesine ulaşma sorunları da olmuştur.

Model denizaltının taşınması ve suya indirilmesi için ise ayrıca taşıma halkalarının takılabileceği bir tasarım yapılması gereklidir. Taşınması için özel bir taşıma aracı gereklidir.

Bunlara ek olarak iç iskeletin ağırlığından dolayı boru içerisine yerleştirme problemleri ve borunun tahrip olması neticesinde iskeletin muhtelif yerlerine ball transfer unit'lerin yerleştirilmesi uygundur.

Montaj için ise bir montaj şeması oluşturulup, montaj elemanları ve montaj sırası detaylarıyla verilmelidir. Montaj sırasında elektrik bağlantılarının yapılması da oldukça zor olmaktadır.

9.1.3 Dayanım

Model denizaltı dış gövdenin pleksiglas olması ve iç iskeletin çok parçalı olması sebebiyle rijit değildir. Bunun çözülebilmesi daha az alt parçadan oluşan bir iç iskelet ve daha rijit bir gövde malzemesi ile mümkündür. Dinamik parçalarda ise daha fazla rulman eklenmesi gereklidir.

9.1.4 Makine elemanları

9.1.4.1 Yataklar

Yataklama dümen şaftlarında ve pervane şaftında kullanılmıştır. Dümen şaftlarında 10x15x5 mm ölçülerinde bilyalı rulman kullanılmıştır. Bu kısım ile ilgili bir sorun yaşanmamıştır. Pervane şaftlarında ise Şekil 9.23'te görülen bir adet 12x21x5 mm

ölçülerinde tek sıra bilyalı rulman ve Şekil 9.24'te görülen 51102 kodlu eksenel bilya kullanılmıştır.



Şekil 9.23: Tek sıra bilyalı rulman.



Şekil 9.24: Eksenel rulman.

Pervane milinin yataklanmasında kullanılan bir adet tek sıra bilyalı rulman ve eksenel rulman yeterli gelmeyip mil eksenine dik kuvvet uygulandığında bir miktar eğilme yapmaktadır. Bu sebepten konstrüksüyona bir rulman daha eklenebilir.

9.1.4.2 Bağlama elemanları

Bağlama elemanı olarak statik elemanların birleştirilmesinde imbus civatalar, havşa başlı imbus vidalar, altı köşe başlı civatalar, dinamik parçaların birleştirilmesinde ise setskur vidalar kullanılmıştır. Bağlantı elemanı malzemelerinin hepsi paslanmaz çeliktir. İç iskelet yapının oluşturulmasında M10 havşa başlı imbus civatalar, flanş parçaları ile iç şasinin birleştirilmesin M16 altı köşebaşlı civatalar, kış formu ile flaşların birleştirilmesinde ise M8 imbus vidalar kullanılmaktadır. Bu civataların

büyük bir kısmı gereğinden daha kalın seçilmiştir. Fakat bunun konstrüksiyona negatif bir etkisi yoktur. Bu konu altında yaptığımız en büyük hata M10 cıvata somunlarını fiberli seçmektir. Fiberli somunların sıkılması ve sökülmesi büyük bir sorun haline gelmiş açılmayan cıvataların kesilmesi söz konusu olmuştur. Bu sebepten yaylı rondela, somun çifti ile birleştirilmenin yapılması konstrüksiyonun rahat sökülmesi açısından uygun olacaktır.

9.1.4.3 Seeger halkaları

Seeger halkası da denilen segmanlar sadece pervane milinin aksenel yönde sabitlenmesi amacıyla kullanılmıştır. Bir sorun yaşanmamıştır.

9.2 Saha Testleri

Montajı tamamlanan model, sızdırmazlık testleri yapılmak üzere Gemi İnşaat Fakültesi ATA NUTKU Model Deney Laboratuvarı'na getirilmiştir. Kantar üzerinde ağırlık ölçümü yapılmış, yüzer yapı hacmi göz önüne alınarak suda askıda kalması için ihtiyaç duyulan kurşun ağırlık miktarı belirlenmiştir. Ağırlık merkezinin istenilen noktaya kaydırılması maksadı ile baş ve kık kısma defalarca farklı kurşun ağırlıklar konulmuş, neticesinde doğru yerleşim bulunmuştur. Daha sonra modelin havuza taşınması esnasında iki noktadan askı sistemi kullanılmıştır. Taşıma esnasında model gözle görünür şekilde esnemiştir. Bu esneme durumu havuz içinde azalmıştır. Fakat bu azalma, modelin su almasını engellemeye yetmemiştir.

Şekil 9.25'te deneye hazırlanan model ve Şekil 9.26'da havuz içinde yapılan sızdırmazlık deneyi görülmektedir.



Şekil 9.25: Model denizaltı sızdırmazlık testi.



Şekil 9.26: Model denizaltı sızdırmazlık testi.

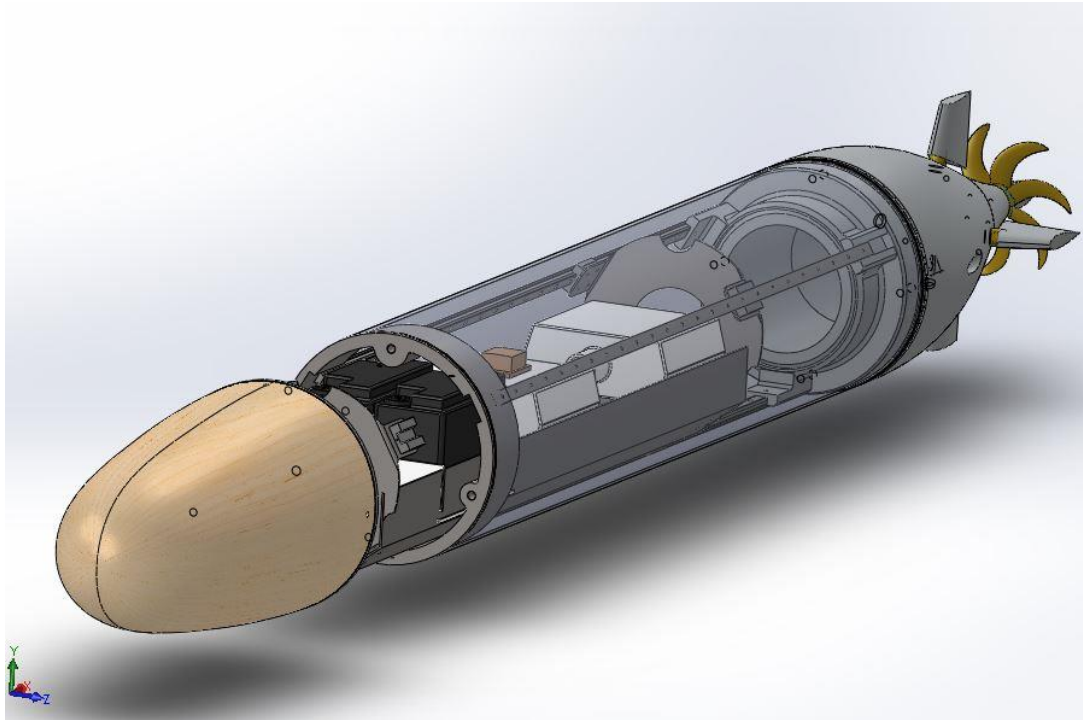
9.2.1 Saha testleri değerlendirme

- Modele dair taşıma zorlukları yaşanmıştır. Modelin laboratuara taşınması ve havuza indirilmesi için yatak ve çekme arabası gerekliliği ortaya çıkmıştır.
- Test öncesi montaj ve test sonrası demontaj işlemleri zor olmuştur. Ahşap ve kık kısmın montajının kolay, hızlı ve bir birinden bağımsız yapılması gerekmektedir.
- Her ağırlık yerleştirme ihtiyacında bütün montaj noktaları açılıp tekrar geri kapatılmaktadır. Ekstra kurşun ağırlıkların yerleştirilmesi için baş ve kık kısımda dışa basit bir kapakla açılabilen bölmeler oluşturulması gerektiği ortaya çıkmıştır.
- Esneyen gövdenin alternatif bir malzemeden imali gerekmektedir.
- Flanş bağlantı noktadaki vidalama sisteminin yanlış planlandığı görölmüştür. Flanş ve bağlanan yüzeyler arasındaki contalara baskı oluşturacak şekilde, vidaların contaların bulunduğu yüzeylere dik olarak sıkılması gerekmektedir.
- Sızdırma su yüzüne çıkan hava baloncuklarıyla test edilmiştir. Mevcut yöntemin başarılı olmadığı deney esnasında görölmüştür. Bölme içlerinde, içeri sızan suyun fark edilebilmesi için sensör kullanılması gerekmektedir.

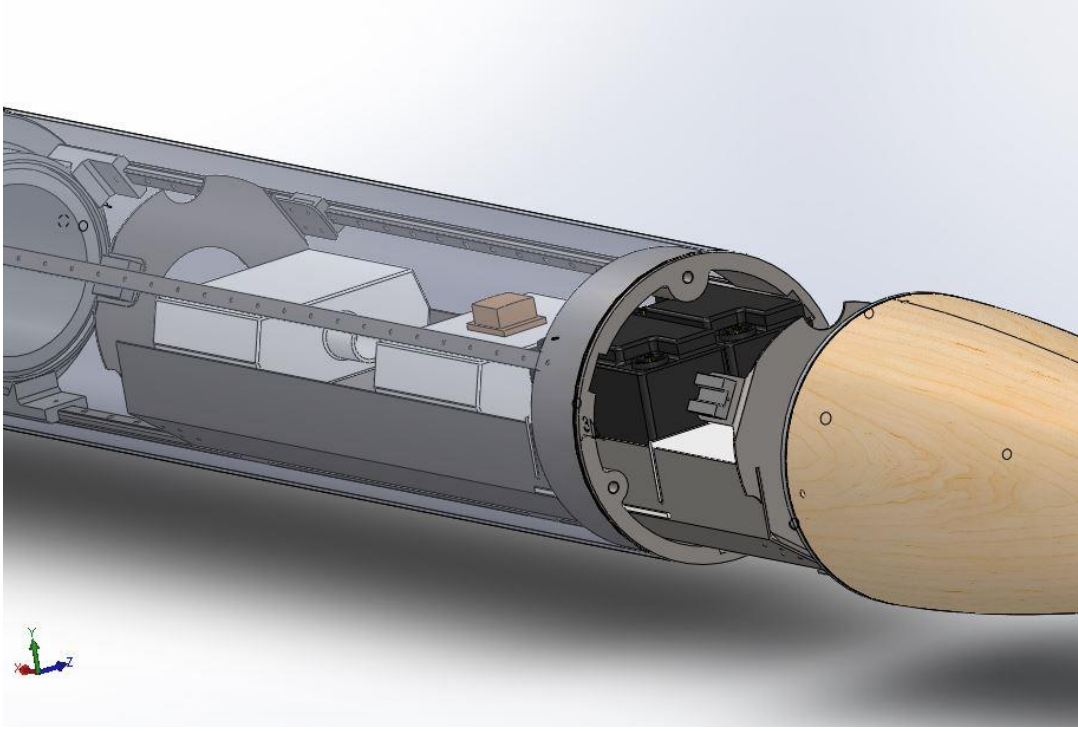
10. SONUÇ VE ÖNERİLER

Sızdırmazlık testleri sonrası mekanik tasarımın yenilenmesi gerektiği sonucuna varılmıştır. Değerlendirmeler neticesinde iç iskelet, gövde, flanş bağlantıları ve kışın imalat süreçleri değişmiştir.

Gövdenin 3 mm paslanmaz çelikten imal edilmesi, mukavemeti artırırken, gereken ekstra kurşun ağırlık ihtiyacını düşürecektir. Mukavemet sorunu paslanmaz çelik gövde ile çözüldükten sonra, iç iskelet yapısı değiştirilmiştir. Şekil 10.1 ve Şekil 10.2’de görülen iç iskelet, gövde içi sağ ve sol taraflara sabitlenerek sürgü aksamı ile baş taraftan içeri girip dışarı çıkabilmektedir. İç iskelet ve kış arasındaki kablo bağlantıları için karşılıklı konumlanmış bir dişi ve bir erkek konnektör kullanılmıştır. İskelet üzerindeki elektrik ve elektronik sistem, bu konnektörün kıştaki konnektöre geçmesi ile kıştaki motorlarla bağlantısını sağlamıştır.



Şekil 10.1: Değişen flanş bağlantıları ve sürgü sistemi.

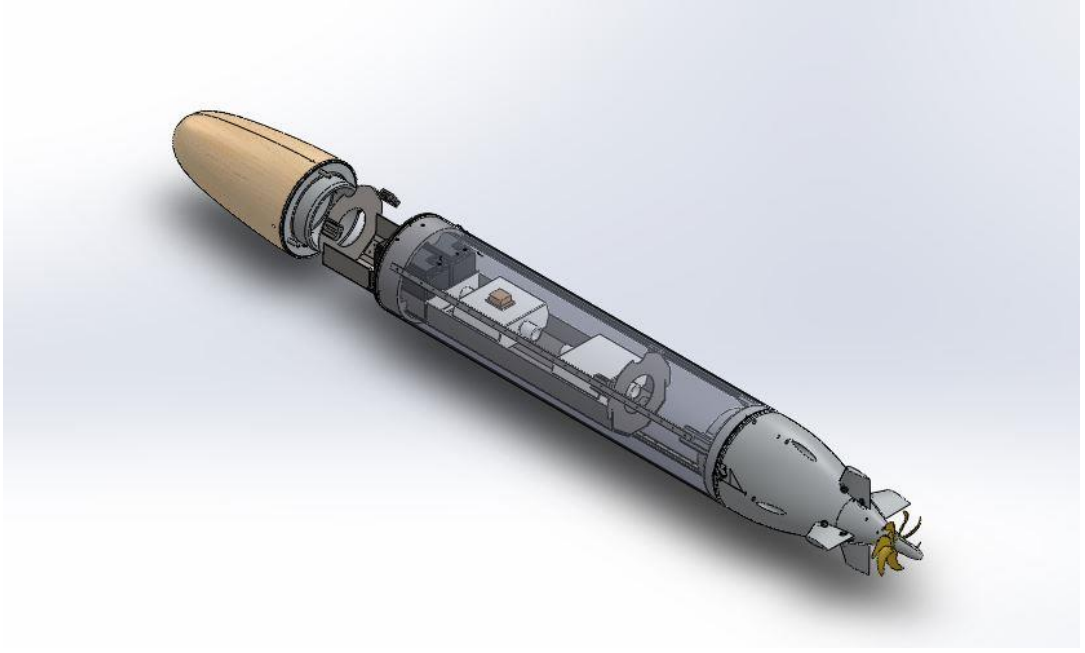


Şekil 10.2: Değişen flanş bağlantıları ve sürgü sistemi.

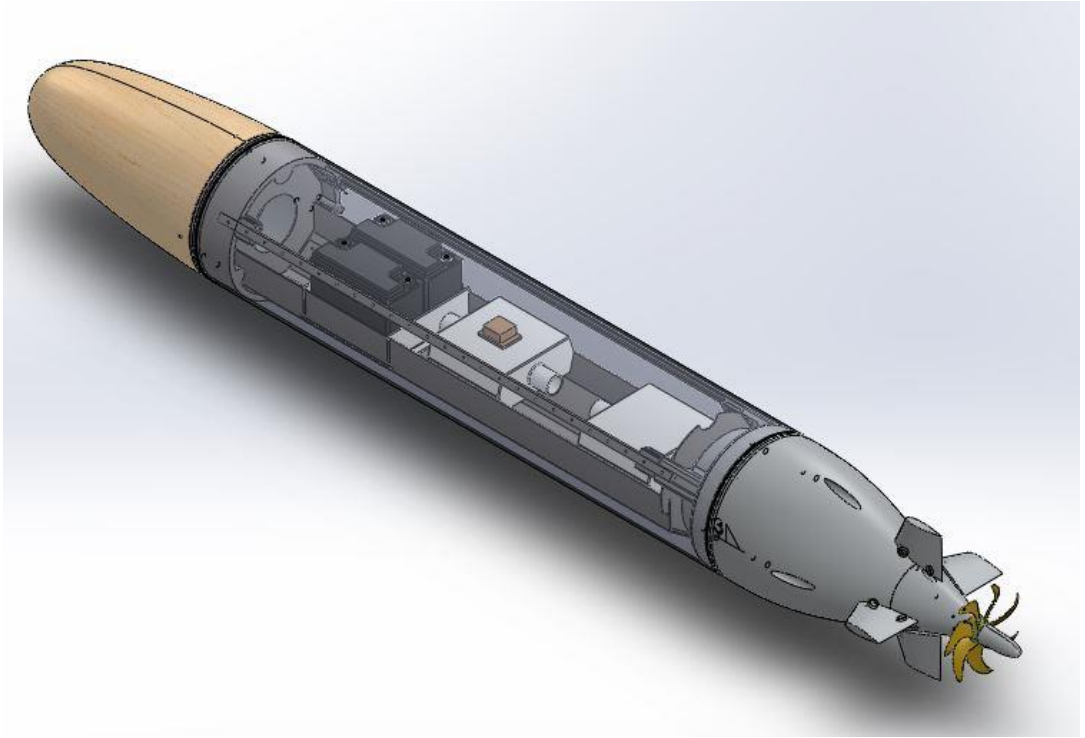
Flanş yüzeylerine dik vidalama yapılabilmesi için delikler açılmıştır. Aynı yüzeylere conta kanalları da açılmıştır. Bu şekilde flanş yüzeylerine dik vidalama yapılırken contalara baskı uygulanmış olacaktır.

İmalat, montaj ve sızdırmazlık sorunları sebebiyle kış kısmın iki ayrı parça şeklinde tasarımı uygun bulunmuştur. Sevk motoru ve dümen motorlarının bir birlerine çok yakın olması, montaj esnasında çok büyük zorluklara neden olmuştur. Montaj zorlukları sebebiyle sızdırmazlık sorunları artmıştır. Sarf malzeme miktarının çok büyük kısmının talaş olarak kaybedilmesi imalat esnasında bir başka sorun olarak görülmüştür. Bu sebeple iki farklı çaptaki alüminyum kütükten çok daha az malzeme kaybı ile kış parçaları imal edilebilecektir. Aynı zamanda imalat esnasında, et kalınlığının 3mm'ye inen kesitlerin, malzemenin kopması ihtimalini ortaya çıkarmış olması da bu durum üzerinde etkili olmuştur.

Şekil 10.3'te bağlantıları açık bir şekilde görülen denizaltı modelinin kapanmış hali Şekil 10.4'te görülmektedir.



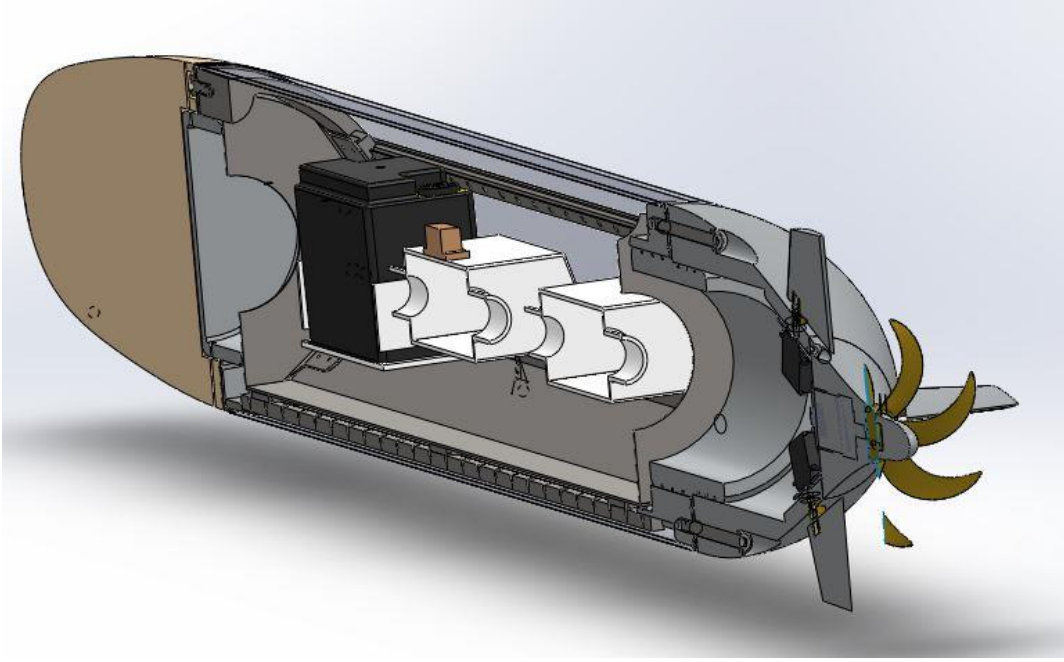
Şekil 10.3: Yeni tasarım ve bağlantılar.



Şekil 10.4: Montajı tamamlanmış denizaltı modeli.

Yeni tasarımı ortaya çıkan denizaltının montaj ve demontajının hızlı ve kolay olması öngörülmektedir. Sızdırmazlık sorunlarının ortadan kalkması beklenmektedir. Baş kısma açılacak bölme ile dışarıdan kurşun ekleme ve çıkarma işleminin yapılması, test sürecinde çok büyük kolaylık sağlayacaktır.

Kazanılan iç hacim, sisteme entegre edilmek istenecek, sonar, DVL ve vb.sensörler için gerekli yerleşim alanını sağlayacaktır. Şekil 10.5'teki sürgü sistemi üzerindeki elektrik elektronik sistemin kış ile bağlantısının sabit konnektörler aracılığı ile olacak olması montaj açısından büyük bir iyileştirme olacaktır. Testler esnasında buradaki montaj sorunu sebebiyle kontrol kartı üzerindeki konnektörlere fiziki olarak zarar verilmiştir.



Şekil 10.5: Yeni tasarımın kesit görseli.

KAYNAKLAR

- [1] **Roddy, R. F.**, Investigation of the stability and control characteristics of several configurations of the DARPA SUBOFF MODEL (DTRC Model 5470) from Captive-Model Experiments. David Taylor Research Center Report,1990
- [2] **Huang, T., Feldman, J.**, Methods of predicting the motions of submarines. ASME Winter Annual Meeting,1988
- [3] **Huang, T., Feldman, J.**, Development of mathematical models by experimental and analytical methods for predicting the stability, control and maneuvering characteristics of submarines. Modeling and Simulation Symposium for Underwater Systems and Subsystems, Cambridge, MA, Amerika Birleşik Devletleri,1988
- [4] **Gertler, M.**, The DTMB Planar Motion Mechanism System, David Taylor Model Report, Amerika Birleik Devletleri,1967
- [5] **Roddy, R., Bedel, J.**, Conceptual Design of a New Planar Motion Mechanism, Naval Surface Warfare Center, Amerika Birleik Devletleri,1995
- [6] **SVA Potsdam Planar Motion Mechanism**, <http://www.sva-potsdam.de/subpmmen.html>, (13.03.2011)
- [7] **Suk Won Lee et al.** “A Development of 3000-ton Class Submarine and the Study on its Hydrodynamic Performances”, International Offshore and Polar Engineering Conference, Amerika Birleşik Devletleri,2003
- [8] **Mackay, M.**, ”The Standart Submarine Model A Survey of Static Hydrodynamic”, DRDC Technical Report, Kanada,2003
- [9] **Krylov Enstitüsü Rüzgar Tüneli Çalışmaları**, <http://www.ksri.ru> – Krylov Institute, Rusya, 13.03.2011
- [10] **Sarıöz, K et.al.** “Gemi Mühendisliği El Kitabı – Manevra Bölümü” Gemi Mühendisleri Odası Yayınları, İstanbul,2007
- [11] **Chase, N.**, ”Simulations of the DARPA Suboff submarine including self propulsion with the E1619 propeller”, Iowa-ABD,2012
- [12] **Stokey,R., Freitag,L., Grund,M.**, ” A Compact Control Language for AUV Acoustic Communication”, Woods Hole Oceanographic Institution,2005
- [13] **Meslekî Eğitim Ve Öğretim Sisteminin Güçlendirilmesi Projesi**, Ankara, 2007

EKLER

EK A: Denizaltının Seyir Sürati ve Durum Analizi

EK A

```
Lmax=input('Denizaltinin Pervanesiz Boyunu (Lmax) Giriniz [m]: ');
D=input('Denizaltinin Capini (D) Giriniz [m]: ');
Amidship=input('Denizaltinin Ortakesit Alanini (Amidship) Giriniz [m^2]: ');
Venv=input('Denizaltinin Dümenleri ve Yelkeni Haric Tutularak Hacmini (Venv)
Giriniz [m^3]: ');
WS=input('Denizaltinin Dümenleri ve Yelkeni Haric Tutularak Islak Alanini (WS)
Giriniz [m^2]: ');
Sa=input('Denizaltinin Dumenlerinin Islak Alanlarini (Sa) Giriniz [m^2]: ');
Ss=input('Denizaltinin Yelkeninin Islak Alanini (Ss) Giriniz [m^2]: ');
etaH=input('Denizaltinin Kic Konikligi ile Degisen EtaH degerini Giriniz [boyutsuz]:
');
Mnetfuel = input('Denizaltinin Yakıt Kapasitesini (Mnetfuel) Giriniz [ton]: ');
Pdg=input('Denizaltinin Dizel Jeneratörlerinin Toplam Gücünü (Pdg) Giriniz [kW]:
');
fprintf('Standart Batarya Sayisi, bu programin yazarı Munir Cansin Ozden\n');
fprintf('tarafından yapılmış bir kabuldur. Degeri girmeden önce tezdin\n');
fprintf('ilgili kısmın okunması tavsiye edilir.\n');
Nc=input('Denizaltinin Standart Batarya Sayisini (Nc) Giriniz [adet]: ');
Lh=input('Hotel Elektrik Yükünü (Lh) giriniz [kW]: ');
cellNumber = Nc;
loadHotel = Lh;
DoD=0.8 ;
Nbc = 0.75;
SFC = 0.245 ;
%GIRDI KISMI SONU
%DONUSUM ORANLARI
MetredenFeete=3.2808 ;
knotdanmetresaniyeye=0.5144 ;
kWdenHPye=1.3405 ;
%DONUSUM ORANLARI SONU
%BIRIM DONUSUMLERI
LmaxUS=MetredenFeete*Lmax ;
```



```

DUS=MetredenFeete*D ;
AmidshipUS=(MetredenFeete^2)*Amidship ;
VenvUS=(MetredenFeete^3)*Venv ;
WSUS=(MetredenFeete^2)*WS ;
SaUS=(MetredenFeete^2)*Sa ;
SsUS=(MetredenFeete^2)*Ss ;
%BIRIM DONUSUMLERI SONU
%%%%%%%%%%%%DALMIS DURUM ICIN
HESAPLAR%%%%%%%%%%%%
%ARA HESAPLAR
DenizSuyuSicakligi=15 ; %ITTC tavsiyesi
Ca=0.0004 ; %Stenard1988
Cds=0.0090 ; %Stenard1988
Cda=0.0060 ; %Stenard1988
eta0=0.65 ; %Burcher&Rydill
etaR=1.02 ; %Burcher&Rydill
PC=eta0*etaR*etaH ;
Cp=Venv/(Amidship*Lmax) ;
KinematikViskozite=((0.659*10^(-3)*(DenizSuyuSicakligi-1)-
0.05076)*(DenizSuyuSicakligi-1)+1.7688)*10^(-6) ;
%ARA HESAP SONU
%ANA HESAP
SHP= zeros(1,22);
for V=1:22
ReynoldsSayisi=(V*knotdanmetresaniyeye)*Lmax/KinematikViskozite ;
Cf=0.075/((log10(ReynoldsSayisi)-2)^2) ;
Cr=Cf*(1.5*(D/Lmax)^1.5+7*(D/Lmax)^3+0.002*(Cp-0.6)) ;
EHP=0.00872*(V^3)*(WSUS*(Cf+Ca+Cr)+(SsUS*Cds)+(SaUS*Cda)) ;
SHP(1,V)=EHP/PC ;
end
%%%%%%%%%%%%DALMIS DURUM ICIN HESAP
SONU%%%%%%%%%%%%

```


ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad : Berkay Doğan

Doğum Yeri ve Tarihi: Londra 24.07.1989

E-Posta : berkay.dogan@avenco.com.tr

Lisans : İstanbul Teknik Üniversitesi- Kontrol Mühendisliği

Mesleki Deneyim ve Ödüller

Denizaltı Teknolojileri ve Uygulamalı Müh. Ar.Ge. San.Tic.Ltd.Şti (2012 Haziran-2014 Haziran)

Denizaltıların elektrik elektronik sistemlerinin araştırılması, 8 kişilik, 3 kişilik ve kablosuz, model ölçekli bir denizaltının elektrik elektronik sistemlerinin tasarımı sorumluluk alanımı oluşturmuştur. Bu araçların elektrik tesisatları hazırlanmış, gerekli elektronik teçhizat belirlenip, tedarik edilmiş, sistem entegrasyonu yapılmıştır.

BORDA Teknoloji- Araştırma & Geliştirme Departmanı (Haziran-Aralık 2010)
ARGE Stajı

Irobot için konum kontrolü algoritması geliştirilmesi

Atmel ARM7 tabanlı bir mikrokontrolöre uygulama geliştirilmesi

Eagle ortamında PCB tasarımları

SKF Quality Center Avusturya - Araştırma & Geliştirme Departmanı (Haziran-Eylül 2011)

MTSS Projesi'nde geliştirilen bir ürünün V2 ve V3 versiyonlarına yazılımsal bootloader

entegrasyonu ve kullanım kılavuzu oluşturulması (ARGE Stajı)

Rulman testlerinin yapılması (Donanım Stajı)

ITU Güneş Teknesi Takımı (<http://www.solarsplash.com/index.php>)

Tasarım ve Uygulamalar : 1.5 KW Tek Faz Motor Sürücü

Telemetry Sistemi

DAQ Kartı

Analog ve Dijital Sensor Uygulamaları

3 faz AC/DC Motor Sürücü

Lagari Cansat Takımı (Kaptan) (<http://www.lagari.itu.edu.tr/>)

Hedeflenen başarı doğrultusunda, takım olma bilincini sağlayarak, projenin yapılan plan doğrultusunda yönetimini sağlamak.

Tasarım ve Uygulamalar : Özel üretilmiş paraşütün sistem modelinin çıkarılması ve kontrolör tasarımı

Mekanik ve elektronik donanım tasarımı

İnsansız Hava Araçları Projesi (<http://www.meam.itu.edu.tr/research.html>)

Tasarım ve Uygulamalar : DAQ Kartı

Labview Arayüz Çalışması

Ödüller:

Patent Ödüllü Solar Tracker Tasarımı (ITURO Robot Olimpiyatları -Mayıs 2010)

2011 Solarsplash World Championship Dünya 3.lüğü

2012 Texas Annual Cansat Competition Dünya 4.lüğü