T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

UZAKTAN KONTROLLÜ SUALTI ARACI İÇİN KUMANDA KONSOLU GELİŞTİRİLMESİ VE AÇIK ÇEVRİM MOTOR KONTROL UYGULAMASI

SAİD YAYLA
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

GEBZE
2017

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

UZAKTAN KONTROLLÜ SUALTI ARACI İÇİN KUMANDA KONSOLU GELİŞTİRİLMESİ VE AÇIK ÇEVRİM MOTOR KONTROL UYGULAMASI

SAİD YAYLA
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMANI
DOÇ. DR. ABDULKADİR BALIKÇI
II. DANIŞMANI
DOÇ. DR. CENK ULU

GEBZE
2017

T.R.

GEBZE TECHNICAL UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

CONTROL CONSOLE DEVELOPMENT AND OPEN LOOP THRUSTER CONTROL APPLICATION FOR THE REMOTELY OPERATED UNDERWATERVEHICLE

SAİD YAYLA

A THESIS SUBMITTED FOR THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE

DEPARTMENT OF ELECTRONIC ENGINEERING

THESIS SUPERVISOR

DOÇ. DR. ABDULKADİR BALIKÇI

II. THESIS SUPERVISOR

DOÇ. DR. CENK ULU

GEBZE

2017

GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ	**YÜKSEK LİSANS JÜRİ ONAY FORMU**

GTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 22/06/2017 tarih ve 2017/34 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 20/07/2017 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Said Yayla'nın tez çalışması Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE
(TEZ DANIŞMANI) : Doç. Dr. Abdülkadir BALIKÇI

ÜYE : Prof. Dr. Mehmet Ali ARSLAN

ÜYE : Yrd. Doç. Dr. Uğur HASIRCI

ONAY

Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
...../...../..... tarih ve ...../..... sayılı kararı.

İMZA/MÜHÜR

Doç. Dr. Arif Çağdaş AYDINOĞLU
Gebze Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ÖZET

Su altında araştırma, gözlem, ölçüm ve operasyon yapmak gibi çeşitli amaçlar için uzaktan kontrollü sualtı araçları kullanılmaktadır. Bu araçların uzaktan kontrolü bir kumanda konsolu üzerinden sağlanmaktadır. Bu çalışmada bir sualtı aracının kumandası için kontrol konsolu geliştirilmiştir. Kontrol için gerekli fonksiyonlar belirlenerek kontrol konsolunun ekipman seçimi, elektronik tasarımı ve entegrasyonu yapılmıştır. Kumanda konsolu yazılımı softplc (Codesys) kullanılarak hazırlanmıştır. Sualtı aracının açık çevrim kontrol sistemi tasarımı gerçekleştirilmiştir. Tasarlanan sistemin doğrulaması için benzetim (Matlab/Simulink) çalışması yapılmıştır. Kontrol sistemi doğrulandıktan sonra geliştirilen kumanda konsolu ile bir sualtı aracının açık çevrim kontrol uygulaması gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kontrol Konsolu, Kontrol, Uzaktan Kontrollü Sualtı Aracı, İnsansız Sualtı Aracı.

SUMMARY

Remotely operated underwater vehicles are used for various purposes such as underwater research, observation, measurement and operation. The remote control of these vehicles is provided via a control console. In this study, a control console is developed for the control of an underwater vehicle. The necessary functions for control are determined and equipment selection, electronic design and integration of the control console are made. The control console software is prepared using softplc (Codesys). Open-loop control system design of underwater vehicle has been realized. A simulation (Matlab/Simulink) study has been done to verify the designed system. After the system is verified, the open loop control application with the developed control console is carried out on an underwater vehicle.

Key Words: Control Console, Control, Remotely Operated Underwater Vehicle, Unmanned Underwater Vehicle.

TEŞEKKÜR

Başta, yüksek lisans eğitimimde ve akademik hayatımda desteğini esirgemeyen akademik danışmanım Doç. Dr. Abdulkadir Balıkçı'ya, göstermiş olduğu desteklerinden dolayı kurumsal danışmanım Doç. Dr. Cenk Ulu'ya, bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan değerli arkadaşım Hüseyin Taşkın'a, yakın zamanda Hakk'a yolculadığım değerli babama, canım anneme ve sevgili eşime en içten teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca, 5132702 Nolu "MAM-R/V TUBİTAK Marmara için ROV Sistemi Geliştirilmesi" projesi kapsamında geliştirilen MarmaROV uzaktan kontrollü sualtı aracı üzerinde bu tez çalışmasının uygulama alanı bulabilmesi nedeniyle TÜBİTAK MAM Enerji Enstitüsü'ne ve Proje ekibine teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	v
SUMMARY	vi
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
TABLOLAR DİZİNİ	xiv
1. GİRİŞ	1
1.1. Kumanda Konsolu Tasarlanacak İnsansız Sualtı Aracı Özellikleri	3
1.2. Kumanda Konsolu Tasarlanacak İnsansız Sualtı Aracı Hareket Sistemi	7
2. KUMANDA KONSOL TASARIMI VE İMALATI	11
2.1. İsterlerin Belirlenmesi	13
2.2. Ürünlerin Belirlenmesi	16
2.2.1. Kumanda Kolları	16
2.2.1.1. Üç Eksenli Kumanda Kolu	17
2.2.1.2. Tek Eksenli Kumanda Kolu	18
2.2.1.3. İki Eksenli Kumanda Kolu	18
2.2.2. Butonlar	19
2.2.3. Acil Durum Butonu	20
2.2.4. Anahtar	20
2.2.5. Işıklar	20
2.2.6. Potansiyometreler	21
2.2.7. Analog Dijital I/O Modülleri	21
2.3. Elektrik-Elektronik Tasarım	22
2.4. Mekanik Tasarım	27
2.5. İmalat Ve Entegrasyon	29
2.5.1. Gövde İmalatı	29
2.5.2. Mekanik Entegrasyon	30
2.5.3. Elektriksel Entegrasyon	31

2.5.4. Elektriksel Test 33
3. KONSOL YAZILIMI VE UYGULAMASI 34
3.1. RS485 Dönüştürücü Modüllerin Bağlantısı 34
3.1.1. Modül Port Konfigürasyonu 35
3.1.2. Codesys Port Konfigürasyonu 36
3.2. Konsol Yazılımı 38
3.3. Kumanda Konsolu Yazılımı Fonksiyonel Testi 41
4. HAREKET KONTROL SİSTEMİ TASARIMI 43
4.1. UKSA Hareket Kontrolü için Donanım Mimarisi 43
4.2. UKSA Açık Çevrim Kontrolü 44
4.2.1. Açık Çevrim Kontrol Yazılımının Gerçeklenmesi 46
4.2.2. Açık Çevrim Kontrol Sisteminin Benzetimi 48
4.2.3. Açık Çevrim Kontrol Sisteminin Testi 50
5. SONUÇ 52

KAYNAKLAR 53
ÖZGEÇMİŞ 55
EKLER 56

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler ve Kısaltmalar		**Açıklamalar**
AHRS	:	Attitude Heading Reference System
DVL	:	Doppler Velocity Log
GND	:	Ground
LARS	:	Launch and Recovery System
IDE	:	Integrated Development Environment
KYS	:	KabloYönetim Sistemi
MarmaROV	:	MAM-R/V TÜBİTAK Marmara İçin Geliştirilen ROV Sistemi
SoftPLC	:	Software (PC-based) PLC
TMS	:	Tether Management System
UKSA	:	Uzaktan Kontrollü Sualtı Aracı
USBL	:	Ultra Short Baseline
V_{DC}	:	Doğru akım gerilimi

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil No:		Sayfa
1.1:	UKSA gövde tasarımı.	1
1.2:	Açık çerçeve form şeklinde tasarlanmış sualtı aracı.	2
1.3:	Kapalı yassı form b) Kapalı silindirik form.	2
1.4:	UKSA genel sistem mimarisi.	3
1.5:	Basınç sensörü.	4
1.6:	AHRS.	5
1.7:	Sonar.	5
1.8:	DVL.	5
1.9:	USBL alıcı ve vericisi.	6
1.10:	Altimetre.	6
1.11:	Robot kolu.	6
1.12:	Görüntüleme ve aydınlatma sistemi.	7
1.13:	UKSA motor yerleşimi.	7
1.14:	UKSA eksenleri ve kumanda kolu eksenleri.	8
2.1:	Örnek kumanda konsolları.	11
2.2:	Örnek bir UKSA kumanda konsolu.	12
2.3:	Kumanda konsolu ön tasarımı.	15
2.4:	a) Hareket kontrolü, b) Dalma-Çıkma kontrolü, c) Pan-Tilt kontrolü.	16
2.5:	Üç eksenli kumanda kolu eksenleri.	17
2.6:	UKSA motor yerleşimi ve numaralandırılması.	17
2.7:	Tek eksenli kumanda kolu ekseni.	18
2.8:	Pan-Tilt Ünitesi.	18
2.9:	İki eksenli kumanda kolu eksenleri.	19
2.10:	a) Buton, b) Acil durum butonu, c) İki durumlu anahtar.	19
2.11:	Işık.	20
2.12:	UKSA'nın güç, haberleşme ve motorlar için basınçlı kapları.	21
2.13:	Potansiyometre.	21
2.14:	Dijital giriş – RS485 dönüştürücü.	21
2.15:	Donanım blok şeması.	22
2.16:	Kumanda konsolu elektrik bağlantı şeması.	23

2.17: Trafo tek hattı acil durdur bağlantısı. 25
2.18: Modüller ve haberleşme bağlantı şeması. 26
2.19: Kumanda konsolu modeli. 27
2.20: Pan-Tilt alt biriminin bulunduğu plaka modeli. 27
2.21: Kumanda konsolu gövde modeli. 28
2.22: Kumanda konsolu 3D katı modeli. 28
2.23: Kumanda konsol gövdesinin CNC işlem tezgahında imalatı. 29
2.24: Kumanda konsol gövdesinin CNC işlem ile üretimi. 30
2.25: Plakalar üzerindeki elemanların montajı. 30
2.26: TMS biriminin olduğu plaka ve konnektör bağlantısı. 31
2.27: Elektrik bağlantısının alttan görünüşü. 31
2.28: Güç ve DB9 konnektörünün bulunduğu plaka. 32
2.29: Modüller kapatıldıktan sonra konsola alttan bakış. 32
2.30: Kumanda konsolu enerji verilmiş hali. 33
2.31: Otonom fonksiyonlarda buton testi. 33
3.1: Modül arayüzünde bağlı olan cihazların aranması. 35
3.2: Kumanda kollarının bağlı olduğu analog giriş modülü bilgileri. 36
3.3: RS485 Modüllerin codesys yazılım programına bağlanması. 36
3.4: Codesys Modbus COM ayarları. 37
3.5: Modbus master konfigrasyonu. 37
3.6: Modbus slave konfigrasyonu. 37
3.7: Kumanda konsolu yazılımında kullanılan fonksiyon blokları. 38
3.8: Main_Console fonksiyon bloğundaki DI_Converter. 38
3.9: Main_Console fonksiyon bloğundaki Analog bloklar. 39
3.10: Analog değişkenleri ölçeklendirilen bloklar. 39
3.11: Kumanda kolu x ekseni ölçeklendirme kodu. 40
3.12: Konsol izleme sayfası. 41
3.13: Kumanda konsolu testi. 42
4.1: UKSA açık çevrim kontrol blok diyagramı. 43
4.2: UKSA kumanda kolu ile motor kontrolü donanım şematiği. 44
4.3: UKSA motor yerleşimi. 44
4.4: UKSA tahrik sistemi yazılımı. 47
4.5: Simulink modeli. 49
4.6: J1 Kumanda kolu ile kontrolde motorların güç yüzdesi değişimi. 49

4.7: J2 Kumanda kolu ile kontrolde motorların güç yüzdesi değişimi. 50
4.8: UKSA havuz testi. 50
4.9: UKSA havuz testi sualtı kamerası. 51

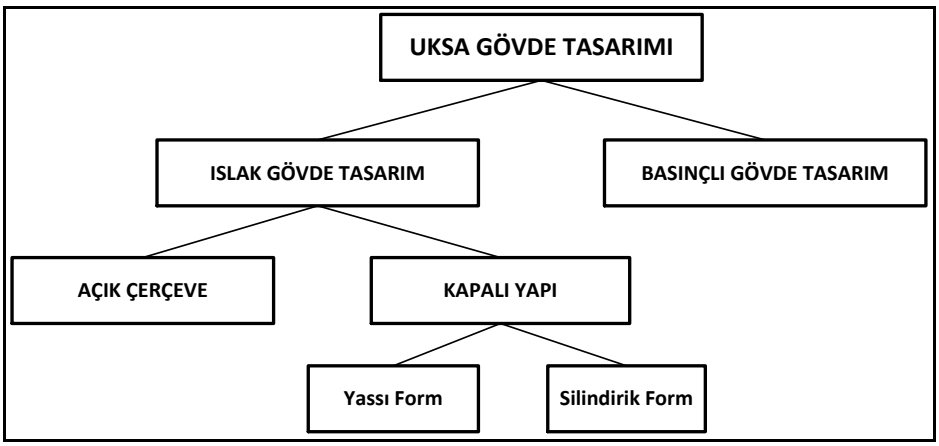
TABLOLAR DİZİNİ

Tablo No:		Sayfa
2.1:	El ile manipülasyonda insan boyu parametresi.	13
2.2:	Genel isterler.	13
2.3:	Kumanda konsolundaki fonksiyon isterleri ve gerekli malzemeler.	14
2.4:	Ürün kısaltmaları.	24
2.5:	Modül ve güç kısaltmaları.	26
3.1:	IEC 61131-3 standartı programlama dilleri.	34
3.2:	Modüllerin slave adresleri ve baud rate hızları.	35
3.3:	Test prosedürü.	42
4.1:	Motor atama matrisinin gerçeklenmesi.	47

1. GİRİŞ

UKSA, uzaktan kontrollü insansız sualtı araçlarına verilen isimdir. Denizlerde gerçekleştirilen bilimsel araştırmalar, endüstriyel ve askeri çalışmalar uzaktan kontrollü insansız sualtı araçları ile yapılmaktadır [1]. İnsanlı sualtı araçlarının inemediği derinliklerde bu araçlar ile istenilen görevleri gerçekleştirme imkânı doğmuştur. İnsansız sualtı araçları ile yüksek derinliklerde bile gözlem, araştırma, denetleme, veri toplama, numune toplama, arama-kurtarma, bakım, onarım, kazı ve boru hattı döşeme gibi çeşitli uygulamalar gerçekleştirilebilmektedir [2].

UKSA'lar kullanım özelliklerine göre farklı şekillerde tasarlanabilir. UKSA gövde tasarım yöntemleri Şekil 1.1'de gösterilmektedir. UKSA gövde tasarımı ıslak tasarım ve basınçlı gövde tasarım kavramları gibi iki ana kategoriye ayrılabilir [3]. Basınçlı gövde tasarım yönteminde UKSA, hidrodinamik biçimini oluşturan su geçirmez ve basınca dayanıklı bir dış gövdeye sahiptir [4].



Şekil 1.1: UKSA gövde tasarımı.

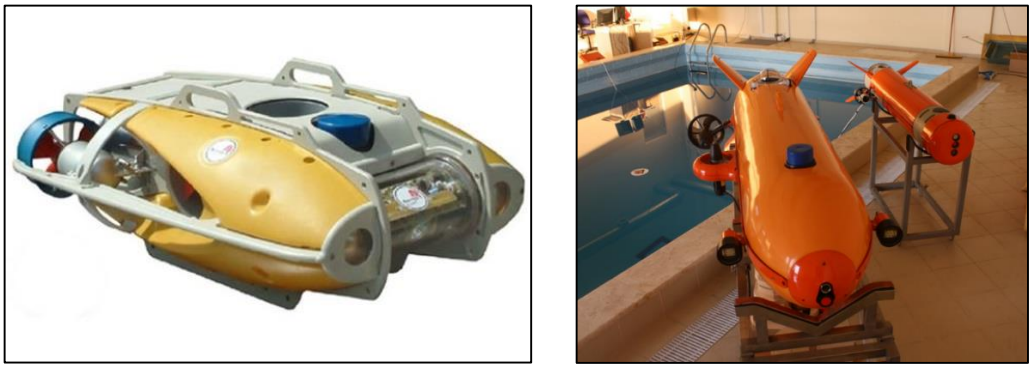
Islak gövde tasarım yönteminde, kendi basınç dayanımına ve su sızdırmazlığa sahip bileşenler ve sensörler kullanılmaktadır. Bu yöntemde aracın içerisine su doğrudan girmekte ve su sızdırmaz basınca dayanıklı hazır ürünler dışındaki araca ait tüm elektrik ve elektronik üniteler basınçlı kaplar içerisinde korunmaktadır [5].

Islak gövde tasarım yönteminde açık çerçeve ve kapalı yapı olmak üzere iki tasarım modeli mevcuttur [3]. Açık çerçeve tasarım yönteminde, bileşenler aracın dikdörtgenler prizması şeklindeki çerçevesine yerleştirilir. Bu araçlar diğer tasarım yöntemlerindeki araçlar ile kıyaslandığında kararlı ve daha yüksek manevra kabiliyetli

olduğu görülmekte ve modülerlik, bakım kolaylığı özellikleri de avantaj oluşturmaktadır [4]. Açık çerçeve tasarımın bir örneği Şekil 1.2'de görülmektedir [Seaeye, Lynx].

Şekil 1.2: Açık çerçeve form şeklinde tasarlanmış sualtı aracı.

Kapalı yapı tasarımda UKSA'lar dış formlarına göre ikiye ayrılır [3]. Bunlardan biri kapalı yassı form olarak adlandırılabilir. Şekil 1.3.a)'da bir örneği görülen UKSA'da ekipmanların üzeri bir dış gövde ile kapatılmıştır ve aracın genel tasarımı yassı bir yapıdadır [5], [Subathlantic, Najavo]. Diğer form yapısı ise kapalı silindirik form yapısıdır. Şekil 1.3.b)'de bir örneği görülen UKSA silindirik yapıda tasarlanmış olup üzerinde silindirik bir dış kaplama bulunmaktadır [5], [Tübitak MAM, MOSA].



a) b)

Şekil 1.3: Kapalı yassı form b) Kapalı silindirik form.

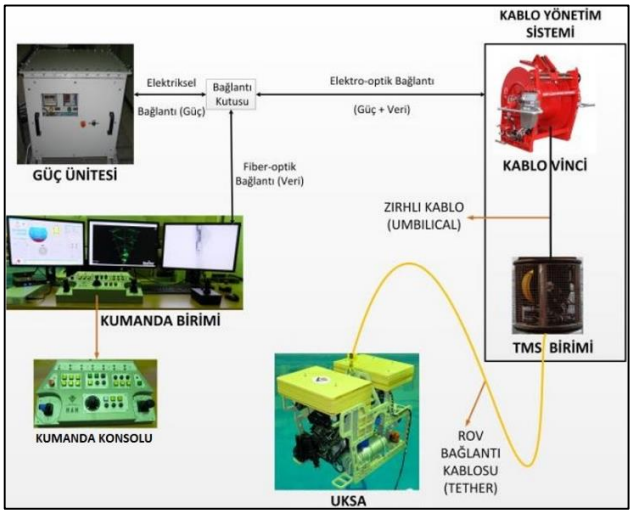
UKSA kumanda konsolu sabit ve taşınabilir olmak üzere iki şekilde tasarlanabilmektedir [6]. Sabit şekilde tasarlanan kumanda konsolu, kumanda odasındaki sabit panel üzerine monte edilmiş şekilde çalışmaktadır. Taşınabilir

kumanda konsolu, operatör için hareket kolaylığı sağlamaktadır. Kumanda odasında kullanılabileceği gibi güverte üzerinde de kullanılabilmektedir.

Bu çalışmada sualtı çalışmalarında gözlem, araştırma, veri toplama ve numune alma amaçlı kullanılan açık çerçeve yapısında bir UKSA'nın uzaktan kontrolü için taşınabilir tipte bir kumanda konsolunun tasarımı, üretimi ve yazılım geliştirme çalışmaları yapılmıştır. Bunun yanında UKSA'nın açık çevrim kontrol sistemi tasarımı, benzetimi ve gerçeklenmesi yapılmıştır. Son olarak, geliştirilen kumanda konsolu üzerinden UKSA'nın açık çevrim kontrol uygulaması gerçekleştirilmiştir.

1.1. Kumanda Konsolu Tasarlanacak İnsansız Sualtı Aracı Özellikleri

Uzaktan kontrollü sualtı araçlarının sistem tasarımları genellikle dört alt sistemden oluşmaktadır [4]. Bunlar uzaktan kontrollü sualtı aracı, kumanda odası, güç ünitesi ve kablo yönetim sistemidir [4]. Şekil 1.4'te örnek bir UKSA genel sistem mimarisi görülmektedir [Tübitak MAM, MarmaROV].



Şekil 1.4: UKSA genel sistem mimarisi.

• Güç Ünitesi

UKSA sisteminin enerjisi üzerinde bulunduğu gemiden sağlanır. Gemiden alınan gerilim güç kabini tarafından uygun gerilim değerine yükseltilerek elektro-optik kablo ile UKSA'ya iletilmektedir.

• Kumanda Odası

Kumanda odası, kontrol bilgisayarı, görüntüleme bilgisayarı, monitörler ve kumanda konsolunun bulunduğu, operasyonların içerisinden yürütüldüğü odadır. Kontrol bilgisayarı, UKSA'nın uzaktan kontrolü için gerekli yazılımları çalıştıran bilgisayardır.

UKSA genel sistem fonksiyonları ve hareket kontrolleri ise kumanda konsolu üzerinden yapılmaktadır. Kumanda konsolu üzerinde bulunan kumanda kolları yardımı ile motor kontrolü yapılarak UKSA'nın dört eksende hareketi sağlanmaktadır. Üzerinde bulunan buton, anahtar ve potansiyometreler yardımı ile fonksiyon seçimleri ve bazı kritik ayarlar yapılmaktadır. Konsolda operatör için kritik uyarıları gösteren uyarı ışıkları bulunmaktadır.

• Kablo Yönetim Sistemi

Gemi üzerindeki kumanda odasından sualtı aracına hem elektrik hem de veri iletimini sağlamak üzere elektro-optik kablo kullanılmaktadır. 500 metreden derinde çalışacak sistemlerde TMS adı verilen su altı kafes sistemi ile LARS adı verilen gemiden bağımsız, vinç ve kablo sarma sisteminden oluşan üniteler kullanılmaktadır [7]. Bu yardımcı üniteler sayesinde sualtı operasyonlarında serbest kablonun denetimi sağlanarak UKSA üzerine etkiyen istenmeyen kablo sürüklenme kuvvetleri azaltılır.

• UKSA

Uzaktan kontrollü sualtı aracı bu sistemin ana bileşenidir. Mühendislik uygulamalarının bütününü içeren çok disiplinli bir çalışmanın ürünü olarak ortaya çıkmıştır. UKSA üzerinde bulunan alt sistem ve sensörler aşağıda anlatılmıştır.

- Basınç Sensörü

Bulunan derinliğe bağlı olarak ortam basıncını belirlemek için kullanılır. UKSA üzerinde kullanılan basınç sensörü Şekil 1.5'te görülmektedir.

Şekil 1.5: Basınç sensörü.

- AHRS

Hareket ve oryantasyon sensörleri savrulma, yunuslama ve yalpalama serbestlik derecelerinde doğrudan durum bilgisi veren algılayıcılardır [3]. Bu sensör ile oryantasyon, hız, ivme değerleri okunabilmektedir. UKSA'da kullanılan AHRS Şekil 1.6'da görülmektedir.

Şekil 1.6: AHRS.

- Sonar

Uzun mesafedeki engellerin belirlenmesi ve su altında görüşün kısıtlı olduğu durumlarda UKSA operatörüne destek olması amacıyla kullanılır. Geniş açılı akustik görüntüsü sağlar [4]. UKSA üzerinde kullanılan sonar Şekil 1.7'de görülmektedir.

Şekil 1.7: Sonar.

- DVL

Doppler etkisinden faydalanarak deniz aracının deniz tabanına göre hız vektörünün tespit edilmesini sağlayan sonar sistemidir [4]. UKSA üzerinde kullanılan DVL Şekil 1.8'de görülmektedir.

Şekil 1.8: DVL.

- USBL

Gemide konumlandırılan alıcı ve UKSA üzerinde bulunan verici olmak üzere iki parçalı sistemden oluşmaktadır. Aracın gemiye göre sualtı akustik konumlandırmasını sağlamaktadır. USBL alıcı ve vericisi Şekil 1.9'da görülmektedir.

Şekil 1.9: USBL alıcı ve vericisi.

- Altimetre

Hedef cisme ya da zemine olan mesafe ölçümünde kullanılan cihazdır. Mesafe ölçümünde ultrasonik yöntemler kullanmaktadır. UKSA üzerinde kullanılan altimetre Şekil 1.10'da görülmektedir.

Şekil 1.10: Altimetre.

- Robot Kolu

UKSA'nın operasyon sırasındaki cisim alma yerleştirme, numune toplama gibi ihtiyaçları robot kolu ile sağlanmaktadır. UKSA üzerinde kullanılan robot kolu Şekil 1.11'de görülmektedir.

Şekil 1.11: Robot kolu.

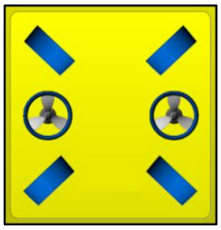
- Görüntüleme ve Aydınlatma Sistemi

UKSA'nın ön kısmında Pan-Tilt adı verilen iki eksende hareket eden bir sistem üzerine genelde iki adet led ve bir adet kamera koyularak görüntüleme ve aydınlatma sistemi oluşturulur. UKSA üzerinde bulunan görüntüleme ve aydınlatma sistemi Şekil 1.12'de görülmektedir.

Şekil 1.12: Görüntüleme ve aydınlatma sistemi.

1.2. Kumanda Konsolu Tasarlanacak İnsansız Sualtı Aracı Hareket Sistemi

Kumanda konsolu geliştirilecek olan UKSA'nın tahrik sisteminde 6'lı motor modeli kullanılmıştır. Aracın motor yerleşimi Şekil 1.13'te gösterilmiştir. UKSA'nın hareketleri sırasında kendi ekseni etrafında istenmeyen dönme momentlerini engellemek için aracın sol ve sağ tarafındaki motor çiftleri farklı yönlerde çalışacak şekilde seçilmiştir.



Şekil 1.13: UKSA motor yerleşimi.

UKSA bu motor yerleşimi ile boy öteleme (surge), yan öteleme (sway), savrulma (yaw), dalma-çıkma (heave) ve yalpalama (roll) hareketlerini gerçekleştirebilmektedir [8]. Yatay motorlar ile UKSA'nın boy öteleme, yan öteleme ve savrulma hareketleri

yapılmaktadır. Dikey motorlar ile dalma-çıkma hareketi yapılmaktadır. UKSA'nın açık çevrim kontrolünde boy öteleme, yan öteleme, savrulma ve dalma-çıkma hareketleri yapılmaktadır [9]. Bu dört hareket için dört eksenli bir kumanda kolu gerekmektedir. Genel bir kullanım şekli, üç eksenli ve tek eksenli olmak üzere iki kumanda kolu kullanmaktır. Üç eksenli kumanda kolu ile UKSA'nın savrulma ve öteleme hareketleri, tek eksenli kumanda kolu ile UKSA'nın dalma-çıkma hareketi yapılacak şekilde tasarlanacaktır.

- UKSA Açık Çevrim Kontrolü

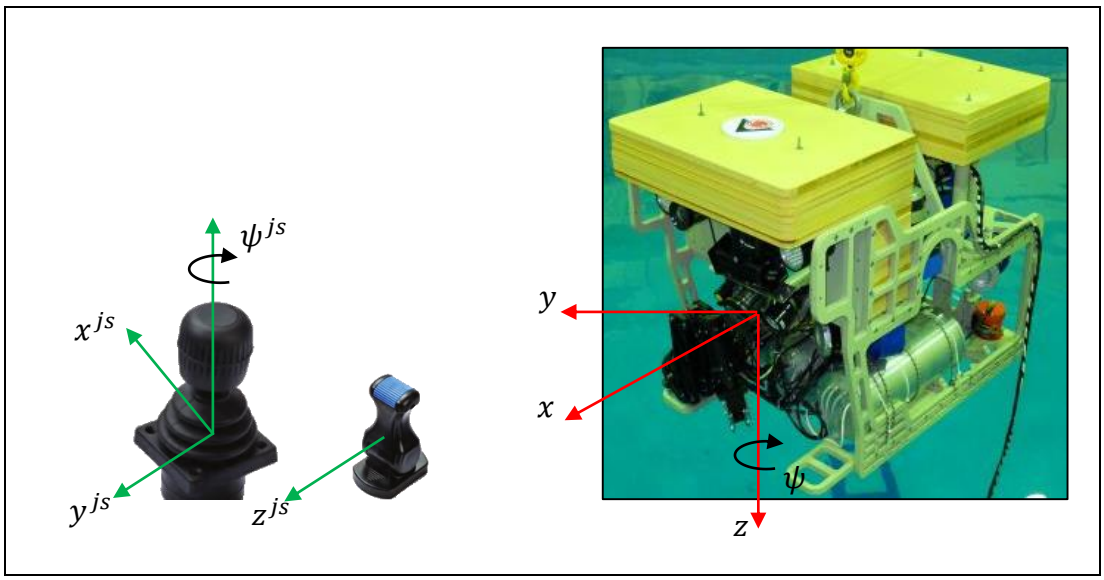
UKSA hareket sistemi 6 serbestlik derecesine sahiptir. Şekil 1.14'te UKSA üzerinde bu hareket eksenleri görülmektedir. Bu eksenler için konum, hız ve tork vektörleri sırasıyla aşağıda verilmiştir [8];

$$\eta_1 = [\, x\; y\; z \,]^T \qquad \eta_2 = [\, \phi\; \theta\; \psi \,]^T; \qquad \eta = [\, \eta_1^T\; \eta_2^T \,]^T \tag{1.1}$$

$$v_1 = [\, u\; v\; w \,]^T \qquad v_2 = [\, p\; q\; r \,]^T; \qquad v = [\, v_1^T\; v_2^T \,]^T \tag{1.2}$$

$$\tau_1 = [\, X\; Y\; Z \,]^T \qquad \tau_2 = [\, K\; M\; N \,]^T; \qquad \tau = [\, \tau_1^T\; \tau_2^T \,]^T \tag{1.3}$$

UKSA açık çevrim kontrolündeki 4 serbestlik derecesi için kullanılacak olan kumanda kolları ve eksenleri ile UKSA hareket eksenleri Şekil 1.14'te görülmektedir.



Şekil 1.14: UKSA eksenleri ve kumanda kolu eksenleri.

Kumanda kolu eksenleri olan $[x^{js}\ y^{js}\ \psi^{js}\ \mathrm{z}^{\mathrm{js}}]$ vektörü ile UKSA'nın sırasıyla boy öteleme, yan öteleme, savrulma ve dalma-çıkma hareketleri kontrol edilerek, $[x\ y\ \psi\ z]$ vektörü elde edilmektedir.

Birinci kumanda kolunun x^{js}, y^{js} eksenleri ve ψ^{js} rotasyonu vardır. İkinci kumanda kolu ise sadece z^{js} eksenine sahiptir. Pozitif yönler oklarla verilir ve sağ el koordinat sistemine göre yapılır [10]. Kumanda kolu komutları Θ^{js} vektörü ile ifade edilir;

$$\Theta^{js} = [\, x^{js}\ y^{js}\ \psi^{js}\ \mathrm{z}^{\mathrm{js}}\,]^T \tag{1.4}$$

Normalize edilmiş kumanda kolu komutlarıyla çalışmak açılara göre çalışmaktan daha pratiktir [10]. Kumanda kolu komutlarıyla ilgili vektör $[-100, 100]$ arasında ölçeklendirildiğinde [10];

$$\overline{\Theta}^{js} = [\, \bar{x}^{js}\ \bar{y}^{js}\ \bar{\psi}^{js}\ \bar{\mathrm{z}}^{js}\,]^T \qquad \bar{x}^{js}, y^{js}, \bar{\psi}^{js}, \bar{z}^{js}\ \epsilon\ \mathbb{R} \subseteq [-100, 100] \tag{1.5}$$

UKSA'nın eksenleri Şekil 1.14'te sağda görülmektedir. UKSA'nın açık çevrimde kontrol edilecek eksenleri aşağıdaki gibidir;

$$\Theta^{UKSA} = [x\ y\ \psi\ z\,]^T \tag{1.6}$$

UKSA'nın genelleştirilmiş 4 serbestlik derecesi konumu ve gövdesindeki hızı şu şekilde verilmiştir [10];

$$\eta = [x\ y\ z\ \psi]^T,\ \upsilon = [u\ v\ w\ r]^{\,T} \tag{1.7}$$

$x,\ y,\ z$ konum ve ψ yönelme açısını ifade etmektedir. u, v, w, r sırasıyla boy öteleme, yan öteleme, dalma-çıkma ve savrulma hızlarıdır. Kumanda kolu eksenleri olan $[x^{js}\ y^{js}\ \psi^{js}\ \mathrm{z}^{\mathrm{js}}]$ vektörü ile UKSA'nın sırasıyla boy öteleme, yan öteleme, savrulma ve dalma-çıkma hareketleri kontrol edilerek, aracın $[x\ y\ \psi\ z]$ vektörü elde edilmektedir.

$$[x^{js}\ y^{js}\ \psi^{js}\ \mathrm{z}^{\mathrm{js}}] \longrightarrow [x\ y\ \psi\ z\,] \tag{1.8}$$

Aktüatör kuvvetleri 4 serbestlik derecesi için aşağıdaki vektör ile verilir [10];

$$\tau = [X\ Y\ Z\ N]^T \tag{1.9}$$

UKSA'nın τ eksenel kuvvet vektörü aşağıdaki gibi belirlenir;

$$\tau = B * f \tag{1.10}$$

Burada B motor kontrol atama matrisini ve f motorların sağladığı itici kuvvet vektörünü ifade etmektedir. (1.10) denkleminden yararlanarak, UKSA'nın istenen τ eksenel kuvvet vektörünü sağlaması için motorlar tarafından uygulanması gereken f itici kuvvet vektörü aşağıdaki gibi belirlenir [8];

$$f = B^{-1} * \tau \tag{1.11}$$

UKSA'nın motor yerleşimine bağlı olarak (1.11) ifadesi aşağıdaki şekilde ifade edilir;

$$\begin{bmatrix} f_{Motor1} \\ f_{Motor2} \\ f_{Motor3} \\ f_{Motor4} \\ f_{Motor5} \\ f_{Motor6} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 0 \\ -1 & 1 & 1 & 0 \\ -1 & -1 & 1 & 0 \\ 1 & -1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} \tau_{boy\ öteleme} \\ \tau_{yan\ öteleme} \\ \tau_{savrulma} \\ \tau_{dalıp\ çıkma} \end{bmatrix} \tag{1.12}$$

2. KUMANDA KONSOL TASARIMI VE İMALATI

UKSA'nın uzaktan kontrolü için kumanda konsolu tasarımı ve imalatı yapılmıştır. Bu tasarım için deniz altı teknolojilerinde dünyanın önde gelen firmalarından olan Seaeye, Subatlantic, Rovop UKSA kumanda konsolları başta olmak üzere Şekil 2.1'deki gibi örnek kumanda konsolları incelenmiştir.

Şekil 2.1: Örnek kumanda konsolları.

Şekil 2.2'de Aglantha isimli UKSA'nın kumanda konsolu gösterilmektedir. Bu kumanda konsolunun üzerinde hareketli kamera sistemi, otomatik fonksiyonlar, motor kontrolü için ayrı ayrı kontrol bölümlerinin olduğu görülmektedir. Bu bölümlerin içerisinde çeşitli buton, anahtar, ışık, potansiyometre ve kumanda kolları görülmektedir.

Şekil 2.2: Örnek bir UKSA kumanda konsolu.

Kumanda konsolu üzerinde araç hareket kontrolü ve pan-tilt ünitesi kontrolü için kumanda kolları, ilgili birimlerin kontrolü için butonlar, potansiyometreler ve uyarı ışıkları gerekmektedir. UKSA'nın kontrol odasından kontrolü için kumanda konsolundan verilen komutların kontrol yazılımına aktarılması gerekmektedir. Ayrıca UKSA'dan gelen önemli uyarıların ve kritik sistem durum bilgilerinin kumanda konsoluna aktarılması ve operatörün konsol üzerindeki ilgili uyarı lambaları ile uyarılması UKSA kontrol ekibinin başlıca isterlerini oluşturmaktadır.

UKSA operasyonları çok dikkat gerektiren ve uzun sürebilen operasyonlar olduğu için kumanda odası ve kumanda konsolu tasarımına da özen gösterilmesi gerekmektedir. Kumanda konsolu tasarımı operatörün rahatlıkla operasyonu sürdürebileceği şekilde ergonomik olarak tasarlanmalıdır [11]. Kontrol paneli için ergonomik bir tasarım elde etmenin birkaç yolu vardır. Bu yollardan biri ile ergonomik tasarım şöyle önerilmektedir [12];

- Gereksiz unsurları ortadan kaldırın,
- Öğeleri basit tutun,
- Mümkünse uyumlu unsurları birleştirin,
- Sık kullanılanları grup halinde birleştirin
- En çok kullanılan öğeleri en uygun yerlere yerleştirin.

Kumanda konsolunda kullanılacak olan buton, anahtar, potansiyometre ve kumanda kolu için boyut seçiminde Tablo 2.1'den yararlanılmıştır [13].

Tablo 2.1: El ile manipülasyonda insan boyu parametresi.

ELEMAN	BOYUT
Buton ve Anahtar	Parmakucu: Dmin = 1.25cm, Başparmak: Dmin = 1.80cm
Potansiyometre	D = 1.0-3.0cm, Yükseklik = 1.5-2.5cm
Kumanda Kolu	Parmak kavrama: D=2.0cm, El kavrama: D=3.0-4.0cm

UKSA'nın tasarımında bu kriterler sağlanarak kullanım ergonomisi oluşturulmuştur. UKSA kumanda konsolunun tasarım ve imalat aşamaları sırasıyla şu başlıklar altında incelenecektir; isterlerin belirlenmesi, ürünlerin belirlenmesi, elektrik-elektronik tasarım, mekanik tasarım, imalat ve entegrasyon.

2.1. İsterlerin Belirlenmesi

Genel isterler olarak kumanda konsolunun besleme gerilimi, haberleşmesi, IP standardı ve taşınabilirliği belirlenmiştir. Kumanda konsolunun besleme gerilimi, sistem entegrasyonuna uygunluğu açısından $24V_{DC}$ gerilim seçilmiştir. Konsol içerisinde kullanılacak olan analog/dijital giriş/çıkış modülleri ve ışıklı uyarı lambaları besleme gerilimine uygun olarak $24V_{DC}$ seçilmiştir.

Haberleşme için analog/dijital giriş/çıkışların modüler yapıda olduğu ve çıkışlarının doğrudan RS485 seri haberleşmeye dönüştürüldüğü cihazlar kullanılmıştır. UKSA'nın kontrol odası haricinde güverteden kontrol edilebilmesi için toz geçirmez, her yönden gelebilecek şiddetli suya karşı sızdırmaz standardı olan IP65 standardı belirlenmiştir [14]. Genel isterler tablosu Tablo 2.2'de görülmektedir.

Tablo 2.2: Genel isterler.

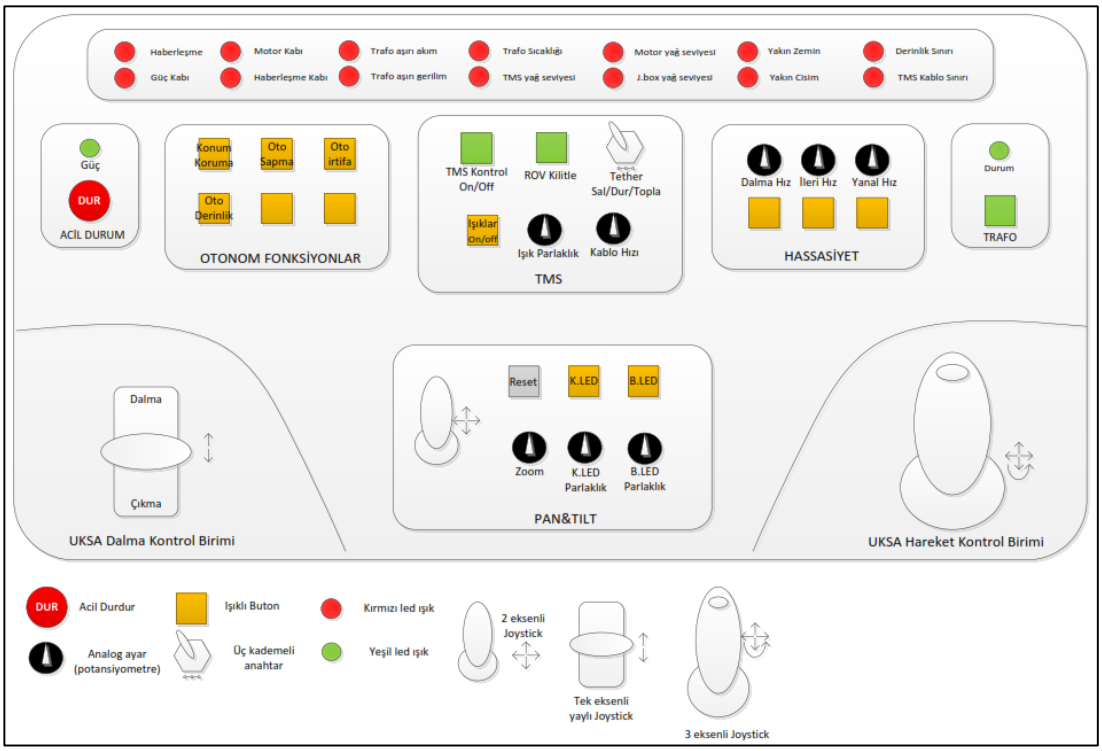
GENEL İSTERLER	ÖZELLİK
Besleme Gerilimi	$24V_{DC}$
Haberleşme	RS485
IP Standardı	IP65
Taşınabilirlik	Taşınabilir

UKSA'nın kontrolü ve UKSA sisteminde bulunan TMS (Kablo birimi), Trafo (Güç birimi) gibi alt sistemlerin kontrolleri için gerekli olan fonksiyon isterleri oluşturulmuştur. Oluşturulan bu fonksiyon isterleri ve gerekli olan malzemeler Tablo 2.3'te görülmektedir.

Tablo 2.3: Kumanda konsolundaki fonksiyon isterleri ve gerekli malzemeler.

FONKSİYON İSTERLERİ	**GEREKLİ MALZEME**
UKSA hareket kontrolü	Üç Eksenli Kumanda kolu
UKSA dalma kontrolü	Tek Eksenli Kumanda kolu
Pan-Tilt kontrolü	İki Eksenli Kumanda kolu
UKSA ileri hareketinde çalışan motorların güç hassasiyeti	Potansiyometre
UKSA yanal hareketinde çalışan motorların güç hassasiyeti	Potansiyometre
UKSA Dalma hareketinde çalışan motorların güç hassasiyeti	Potansiyometre
Acil bir durumda UKSA'nın enerjisinin kesilmesi	Acil Durum Butonu
UKSA'nın sudaki derinliğinin korunması (oto-derinlik)	Kalıcı Durum Butonu
UKSA'nın zeminden olan mesafesinin korunması (oto-irtifa)	Kalıcı Durum Butonu
Akıntı durumunda aracın konumunun korunması (oto-pozisyon)	Kalıcı Durum Butonu
UKSA'nın baş açısının korunması (oto-pitch)	Kalıcı Durum Butonu
Pan-Tilt in düz bir konuma getirilmesi	Geçici Durum Butonu
Pan-Tilt üzerindeki küçük ışıkların kontrolü	Kalıcı Durum Butonu
Pan-Tilt üzerindeki küçük ışıkların parlaklık ayarı	Potansiyometre
UKSA üzerindeki büyük ışıkların kontrolü	Kalıcı durum Butonu
Pan-Tilt üzerindeki büyük ışıkların parlaklık ayarı	Potansiyometre
Pan-Tilt üzerindeki kameranın yakınlık ayarı	Potansiyometre
TMS biriminin açma-kapama kontrolü	Kalıcı Durum Butonu
UKSA'nın TMS içine girdikten sonra TMS içine kilitlenmesi	Kalıcı Durum Butonu
Tether kablosunun sarıldığı tamburun salınması ve toplanması	İki Durumlu Kalıcı Anahtar
Tamburun hız ayarı	Potansiyometre
TMS üzerindeki ışıkların kontrolü	Kalıcı Durum Butonu
TMS üzerindeki ışıkların parlaklık ayarı	Potansiyometre
UKSA üzerindeki sensörlerin haberleşme uyarısı	Kırmızı Işık
Güç kabından gelen alarm uyarısı	Kırmızı Işık
Motor kabından gelen alarm uyarısı	Kırmızı Işık
Haberleşme kabından gelen alarm uyarısı	Kırmızı Işık
Trafodan gelen aşırı akım uyarısı	Kırmızı Işık
Trafodan gelen aşırı gerilim uyarısı	Kırmızı Işık
Trafodan gelen sıcaklık uyarısı	Kırmızı Işık
TMS den gelen yağ seviyesi uyarısı	Kırmızı Işık
Motorlardan gelen yağ seviyesi uyarısı	Kırmızı Işık
Junction Kutusundan gelen yağ seviyesi uyarısı	Kırmızı Işık
Zemine yaklaşma uyarısı	Kırmızı Işık
Cisime yaklaşma uyarısı	Kırmızı Işık
UKSA'nın çalışabileceği derinlik sınırına yaklaşma uyarısı	Kırmızı Işık
TMS kablosunun sınıra yaklaşması uyarısı	Kırmızı Işık
Trafonun çalışma durum göstergesi	Yeşil Işık
Konsolun çalışma göstergesi	Yeşil Işık

UKSA kontrolü için gerekli olan birimler ve alt sistemler belirlendikten sonra kumanda konsolu ön tasarımı yapılmıştır. Birimler içerisindeki kumanda kolları, butonlar, ışıklar ve potansiyometreler kullanıma en uygun şekilde konumlandırılarak kumanda konsolu ön tasarımı Şekil 2.3'te gösterildiği gibi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2.3: Kumanda konsolu ön tasarımı.

Tasarımda görsellik, modülerlik, montaj ve bakım kolaylığı gibi kriterler göz önünde bulundurularak kumanda konsolu ön yüzü aşağıda belirtilen sekiz birime ayrılmıştır;

- UKSA Hareket Kontrol Birimleri
- Otonom Fonksiyonlar Birimi
- Pan-Tilt Birimi
- Hassasiyet Birimi
- TMS Birimi
- Trafo Birimi
- Işıklı Uyarı Birimi
- Acil Durum Birimi

Belirlenen bu birimler ve onların fonksiyonlarına göre kumanda kolu, buton, anahtar, ışık ve potansiyometre adetleri de şu şekilde oluşmuştur;

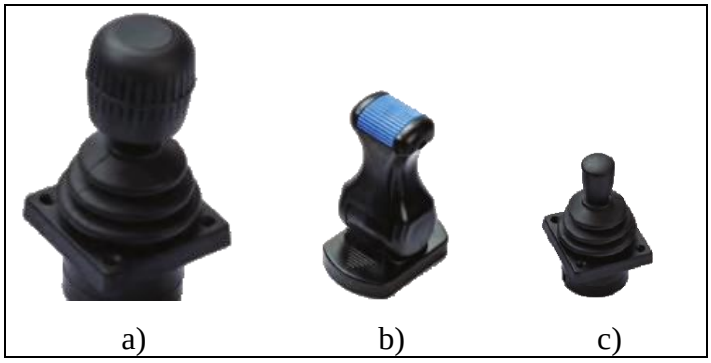
- 1 adet tek eksenli kumanda kolu
- 1 adet iki eksenli kumanda kolu
- 1 adet üç eksenli kumanda kolu
- 1 adet kalıcı, iki durumlu anahtar
- 15 adet kalıcı durum, 1 adet geçici durum, 1 adet acil durum butonu
- 16 adet ışıklı uyarı lambası
- 8 adet potansiyometre

2.2. Ürünlerin Belirlenmesi

Kumanda konsolunda kullanılan kumanda kolu, buton, anahtar, potansiyometre ve ışıkların belirlenmesinde, IP65 standardına uygun olarak toz geçirmez, her yönden gelebilecek şiddetli suya karşı sızdırmaz ürünler tercih edilmiştir [14]. Ayrıca ürün seçiminde UKSA operatörünün kullanım ergonomisine de dikkat edilmiştir.

2.2.1. Kumanda Kolları

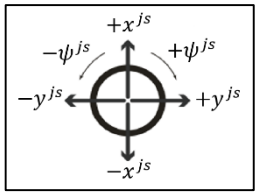
Analog çıkış veren kumanda kolu tipi seçilmiştir. 5 V_{DC} gerilim ile beslenen bu kumanda kolları, kendi referans çıkışları ile analog değerlerini merkezleyip her bir eksen için $+/-$ 2.5 V_{DC} arasında doğrusal bir çıkış vermektedir [15]. Konsolda tek, iki ve üç eksenli olmak üzere Şekil 2.4'te görülen 3 adet kumanda kolu kullanılmıştır.



Şekil 2.4: a) Hareket kontrolü, b) Dalma-Çıkma kontrolü, c) Pan-Tilt kontrolü.

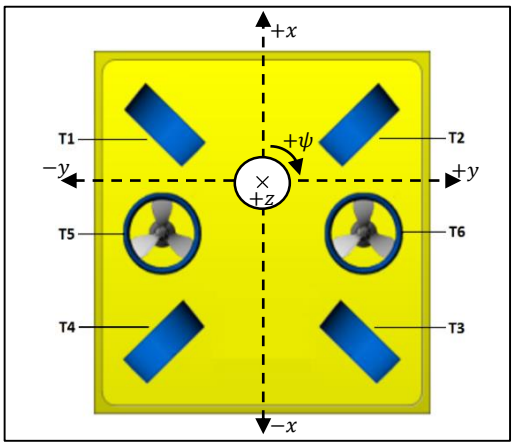
2.2.1.1. Üç Eksenli Kumanda Kolu

Şekil 2.4.a)'da görülen üç eksenli kumanda kolu ile UKSA'nın boy öteleme, yan öteleme ve savrulma hareketleri kontrol edilmektedir. Üç eksenli kumanda kolu eksenleri Şekil 2.5'te gösterilmektedir.



Şekil 2.5: Üç eksenli kumanda kolu eksenleri.

UKSA üzerindeki motor yerleşimi, numaralandırılması ve UKSA'nın hareket eksenleri Şekil 2.6'da görülmektedir.



Şekil 2.6: UKSA motor yerleşimi ve numaralandırılması.

Kumanda kolu Şekil 2.5'te gösterilen $+x^{js}$ yönünde itildiğinde, Şekil 2.6'da görülen T1 ve T4 saat yönünde, T2 ve T3 saat yönünün tersinde dönerek UKSA $+x$ yönünde hareket etmektedir. Kumanda kolu $-x^{js}$ yönünde itildiğinde, T1 ve T4 motorları saat yönünün tersinde, T2 ve T3 motorları saat yönünde dönerek UKSA $-x$ yönünde hareket etmektedir. Kumanda kolu $+y^{js}$ yönünde itildiğinde, T1 ve T2 saat yönünde, T3 ve T4 saat yönünün tersinde dönerek UKSA $+y$ yönünde hareket etmektedir. Kumanda kolu $-y^{js}$ yönünde itildiğinde, T1 ve T2 saat yönünün tersinde, T3 ve T4 saat yönünde dönerek UKSA $+y$ yönünde hareket etmektedir. Kumanda

kolu $+\psi^{js}$ yönünde döndürüldüğünde, T1, T2, T3 ve T4 saat yönünde dönerek UKSA $+\psi$ yönünde dönmektedir. Kumanda kolu $-\psi^{js}$ yönünde döndürüldüğünde, T1, T2, T3 ve T4 saat yönünün tersinde dönerek UKSA $-\psi$ yönünde dönmektedir.

2.2.1.2. Tek Eksenli Kumanda Kolu

Şekil 2.4.b)'de görülen tek eksenli ile UKSA'nın dalma ve çıkma hareketi kontrol edilmektedir. Tek eksenli kumanda kolu ekseni Şekil 2.7'de gösterilmektedir.

Şekil 2.7: Tek eksenli kumanda kolu ekseni.

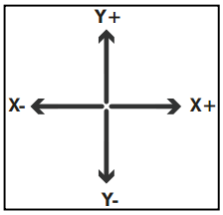
Kumanda kolu Şekil 2.7'de görülen $+z^{js}$ yönünde itildiğine Şekil 2.6'da görülen T5 motoru saat yönünde, T6 motoru saat yönünün tersinde dönerek UKSA $+z$ yönünde dalma hareketini yapmaktadır. Kumanda kolu $-z^{js}$ yönünde çekildiğinde, T5 motoru saat yönünün tersinde, T6 motoru saat yönünün tersinde dönerek UKSA $-z$ yönünde çıkma hareketini yapmaktadır.

2.2.1.3. İki Eksenli Kumanda Kolu

Şekil 2.4.c)'de gösterilen iki eksenli kumanda kolu ile UKSA üzerinde bulunan bir adet kamera ve iki adet küçük ışığı kapsayan Şekil 2.8'de görülen Pan-Tilt ünitesinin hareket kontrolü sağlanmaktadır.

Şekil 2.8: Pan-Tilt Ünitesi.

İki eksenli kumanda kolu hareket eksenleri Şekil 2.9'da görülmektedir.

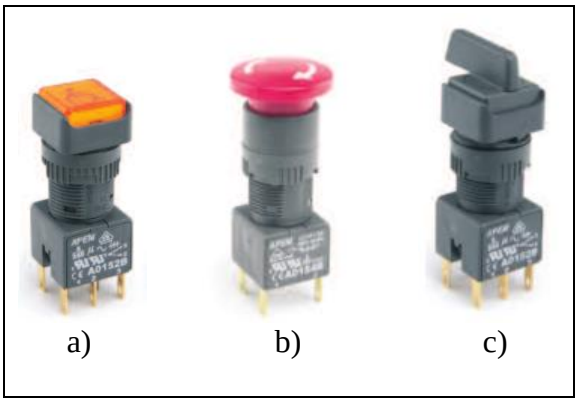


Şekil 2.9: İki eksenli kumanda kolu eksenleri.

Kumanda kolu Şekil 2.9'da görülen $+Y$ yönünde ileri itildiğinde, Tilt açısı azaltılarak kamera ve ışıklar aşağıya doğru bakmaktadır. Kumanda kolu $-Y$ yönünde geri çekildiğinde, Tilt açısı artırılarak kamera ve ışıklar yukarı doğru bakmaktadır. Kumanda kolu $+X$ yönünde sağa çekildiğinde Pan açısı artırılarak kamera ve ışıklar sağa doğru bakmaktadır. Kumanda kolu $-X$ yönünde sola çekildiğinde, Pan açısı azaltılarak kamera ve ışıklar sola doğru bakmaktadır.

2.2.2. Butonlar

Butonların boyutu üzerlerine yazılacak olan yazıların okunabilirliği düşünülerek belirlenmiştir. Buton ışıkları $24V_{DC}$ ile beslenip, $40mA$ akım çekmektedir [16]. Herhangi bir kontak arızası durumunda kontak değişiminin aynı buton üzerinden kolayca yapılabilmesi için Şekil 2.10.a)'da gösterilen çift kontaklı butonlar tercih edilmiştir.



Şekil 2.10: a) Buton, b) Acil durum butonu, c) İki durumlu anahtar.

2.2.3. Acil Durum Butonu

Acil bir durumda sistemin tüm enerjisini kesebilmek için Şekil 2.10.b)'de gösterilen Acil Durdur butonu kullanılmaktadır. Buton basılı değil iken sistemin enerjili olması, butona bastığımızda ise enerjinin kesilmesini istendiği için normalde kapalı buton seçilmiştir.

2.2.4. Anahtar

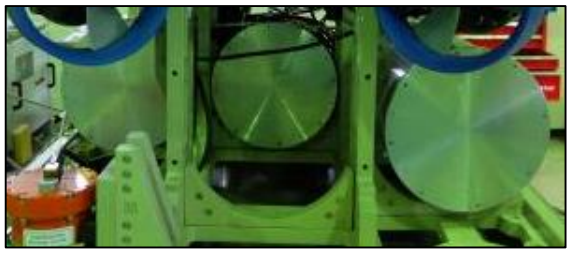
TMS sisteminde Tether kablosunu salıp toplayacak olan tamburun kontrolü Şekil 2.10.c)'de gösterilen anahtar üzerinden yapılacaktır. Sistem normalde kapalı olup, iki farklı durum için ayrı kontakları bulunmaktadır. On/Off/On kalıcı durumlu anahtar olarak adlandırılan bu elemanın sistemdeki çalışma prensibi sola çevrildiğinde kabloyu salacak, sağa çevrildiğinde ise kabloyu toplayacak şekilde tasarlanmıştır.

2.2.5. Işıklar

UKSA'dan gelen önemli alarm uyarılarını gösterecek olan ışıklar, kumanda konsolunda ışıklı uyarı biriminde kullanılacaktır. Sistem $24V_{DC}$ ile besleneceği için ışıklar ona uygun seçilmiştir. $21V_{DC}$ ile $26V_{DC}$ arasında çalışabilen ve yaklaşık $20mA$ akım çeken Şekil 2.11'de gösterilen bu led ışıklar, parlak krom malzemeden yapılıp sabit ışık vermektedir [17].

Şekil 2.11: Işık.

Şekil 2.11'de gösterilen ışıklı uyarı biriminde UKSA üzerinde bulunan Şekil 2.12'de görülen motor kabı, güç kabı, haberleşme kabı olmak üzere üç adet basınçlı kaptan gelecek uyarılar ile sistem üzerindeki ekipmanların sıcaklık ve yağ seviyelerine ait uyarılar gösterilmektedir.



Şekil 2.12: UKSA'nın güç, haberleşme ve motorlar için basınçlı kapları.

2.2.6. Potansiyometreler

Kumanda konsolunda analog ayarlar için 1K direnç değerine sahip 270˚ açı içerisinde çalışabilen 16mm düğme çapına sahip Şekil 2.13'te gösterilen düğme tip potansiyometreler kullanılmaktadır [18].

Şekil 2.13: Potansiyometre.

2.2.7. Analog Dijital I/O Modülleri

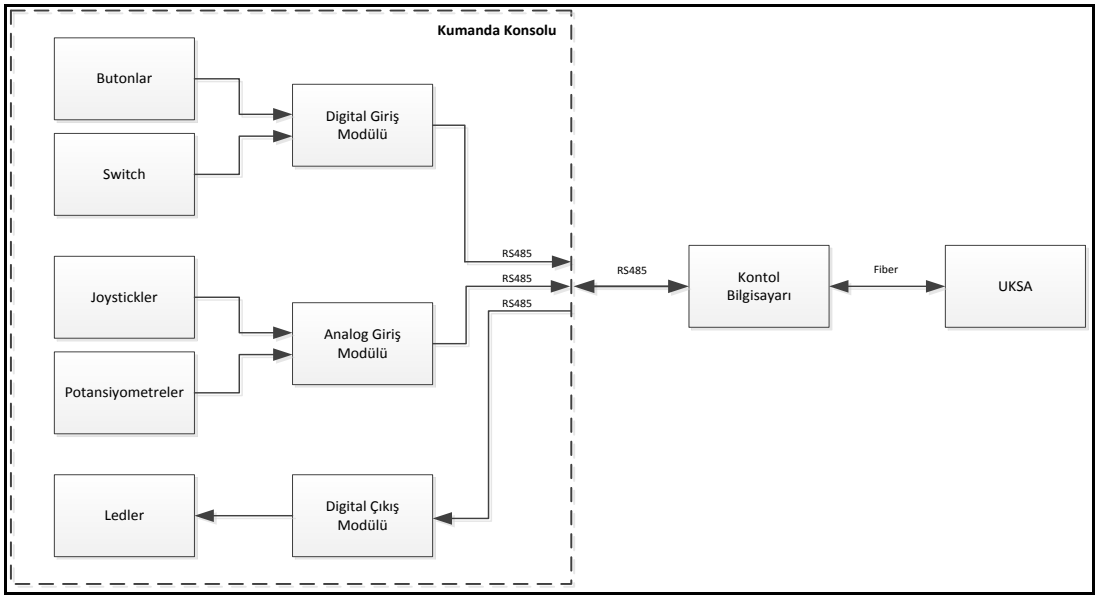
Kumanda konsolundaki buton ve anahtar dijital giriş olarak okunması gerekmektedir. Kumanda kolları ve potansiyometreler analog giriş olarak okunması gerekmektedir. Uyarı ışıkları ise UKSA kontrol yazılımı tarafından belirlenen kritik durumlara göre dijital çıkış olarak verilmektedir. Bunlar için $24V_{DC}$ besleme girişi olan, bilgileri doğrudan RS485 ile aktarabilen Şekil 2.14'te bir örneği görülen modüller kullanılmıştır [19].

Şekil 2.14: Dijital giriş – RS485 dönüştürücü.

2.3. Elektrik-Elektronik Tasarım

Kumanda konsolunun elektronik tasarımında, elektronik kart tasarımı yerine hızlı bir çözüm ve modüler olması sebebiyle Analog/Dijital giriş çıkışları olan hazır modüller kullanılmıştır. Kumanda konsolu haberleşmesinde uzun mesafelerde, gürültülü ortamlarda, yüksek hız gerektiren yerlerde kullanılmak üzere geliştirilmiş RS485 seri haberleşmesi kullanılmıştır [20]. Modüller, kumanda konsolundan gelen verileri RS485 sinyaline dönüştürüp modbus protokolü üzerinden seri haberleşme ile kontrol bilgisayarına aktarmaktadır. Analog sinyal dönüştürücü saniyede 100 örnek vermektedir. Bu da UKSA'nın kontrolünde kullanılan bir kumanda kolu için yeterli bir hızdır [21].

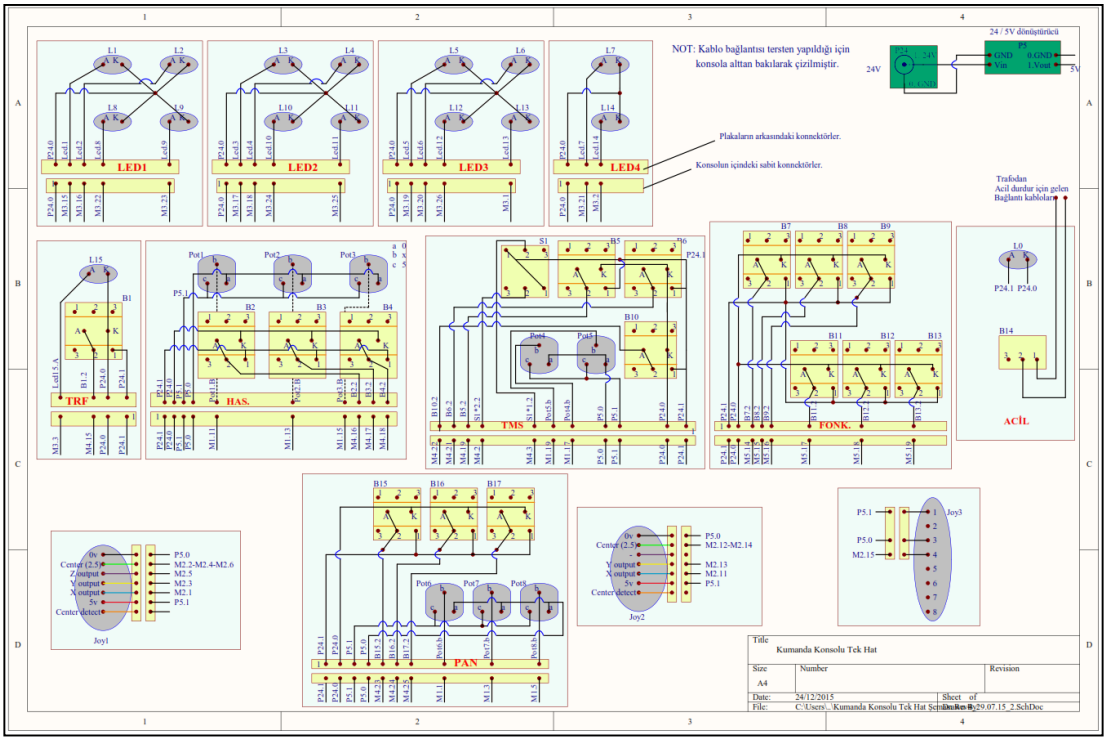
Kumanda konsolundan kontrol bilgisayarına gelen verilerin yazılım aracılığıyla UKSA'ya komut olarak gitmesi istenmektedir. UKSA'dan kontrol bilgisayarına gelen alarm uyarılarının da yazılım aracılığıyla kumanda konsolundaki ışıklı uyarı lambalarını yakması istenmektedir. Kumanda konsolu donanım blok şeması Şekil 2.15'te gösterilmiştir.



Şekil 2.15: Donanım blok şeması.

Kumanda konsolunun besleme gerilimi $24V_{DC}$ şeklindedir. Sistem mimarisi ve alınan ürünlerin katalog bilgileri dâhilinde elektrik bağlantıları şematik programında hazırlanmıştır. Şematik tasarımında Altium Designer programının şematik aracı kullanılmıştır. Tasarımda tüm bağlantıları tek sayfada görebilmek ve bağlantıların

kumanda konsolunun alttan görünümüne uygun olması için görsellik ön planda tutulmuştur. Her elemanın ve bağlantısının görüldüğü şematik Şekil 2.16'da verilmiştir.



Şekil 2.16: Kumanda konsolu elektrik bağlantı şeması.

Şematikteki açık mavi kutular her bir plakayı temsil etmektedir. Kumanda konsolunda sonradan ortaya çıkabilecek modifikasyonlar için her bir plakanın kablajı ayrı ayrı tasarlanmıştır. Bu plakalardaki kablo uçları da konsolun içinde her plakanın kendi konnektörüne bağlanacak şekilde tasarlanmıştır. Bu da plakanın sökülmesi gerektiğinde, konnektörden çıkarılabilip plakanın sistemden bağımsız hale kolayca getirilmesini sağlamaktadır.

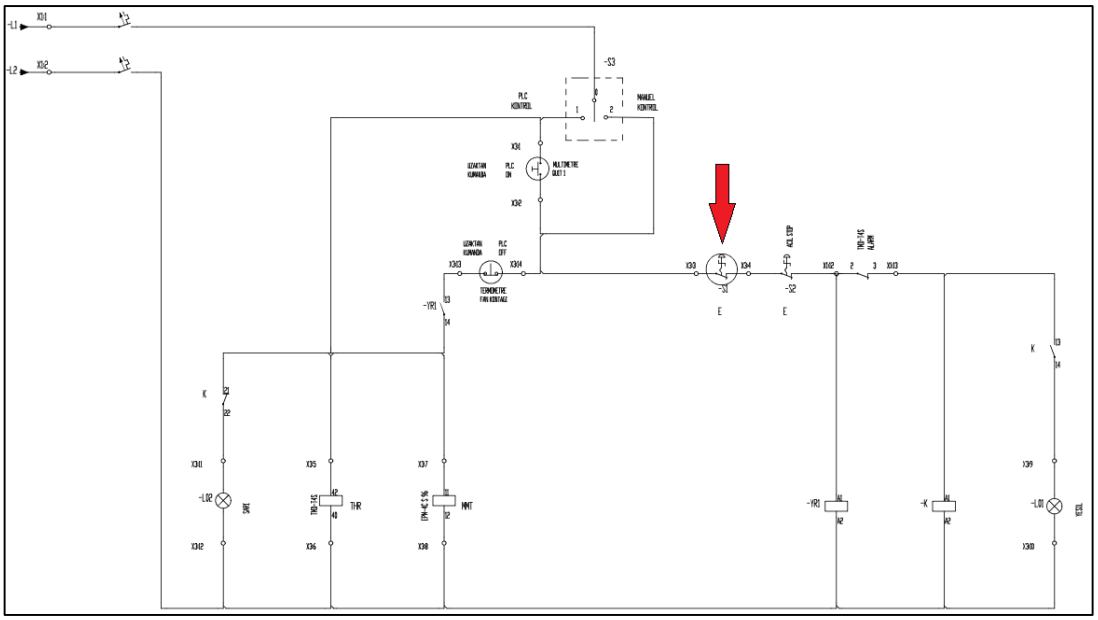
Şekil 2.16'da görülen şematikteki kısaltmaların hangi ürüne karşılık geldiği Tablo 2.4'te verilmiştir. Ürünlerin pinleri ya da kontakları ayrıca numaralandırılıp şematikte kullanılmıştır. Örneğin UKSA kilitle butonunun normalde açık kontağı için B5.2 numaralandırılması yapılmıştır.

Tablo 2.4: Ürün kısaltmaları.

Kısaltma	Ürün
Joy1	UKSA Kontrol Kumanda kolu
Joy2	Pan-Tilt Kumanda kolu
Joy3	UKSA Dalma Kumanda kolu
B1	Trafo Aktif Butonu
B2	Yedek Buton-1
B3	Yedek Buton-2
B4	Yedek Buton-3
B5	UKSA Kilitle Butonu
B6	TMS Aktif Butonu
B7	Oto İrtifa Butonu
B8	Oto Sapma Butonu
B9	Konum Koruma Butonu
B10	TMS Işıklar Butonu
B11	Yedek Buton-4
B12	Oto Yalpa Butonu
B13	Oto Derinlik Butonu
B14	Acil Durum Butonu
B15	Büyük Işık Butonu
B16	Küçük Işık Butonu
B17	Reset Butonu
Pot1	Yanal Hız Potansiyometresi
Pot2	İleri Hız Potansiyometresi

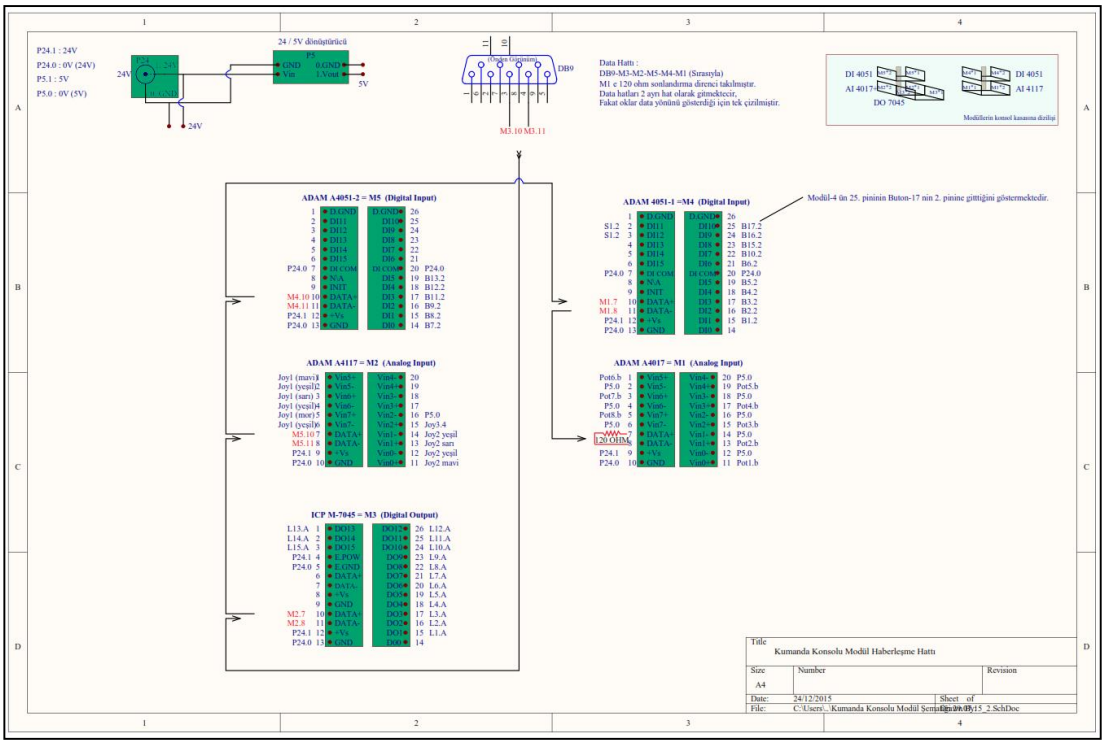
Kısaltma	Ürün
Pot3	Dalma Hızı Potansiyometresi
Pot4	Tether Hızı Potansiyometresi
Pot5	TMS Işık Parlaklık Potansiyometresi
Pot6	K.Işık Parlaklık Potansiyometresi
Pot7	B.Işık Parlaklık Potansiyometresi
Pot8	Zoom Potansiyoetresi
L0	Güç Durum Işığı
L1	Derinlik Sınırı Işığı
L2	Yakın Zemin Işığı
L3	Motor Yağ Seviyesi Işığı
L4	Trafo Sıcaklığı Işığı
L5	Trafo Aşırı akım Işığı
L6	Motor Kabı Işığı
L7	Haberleşme Işığı
L8	TMS Kablo Sınırı Işığı
L9	Yakın Cisim Işığı
L10	J.Box Yağ Seviyesi Işığı
L11	TMS Yağ Seviyesi Işığı
L12	Trafo Aşırı Gerilim Işığı
L13	Haberleşme Kabı Işığı
L14	Güç Kabı Işığı
L15	Trafo Durum Işığı

Kumanda konsolundaki acil durum butonu fiziksel olarak doğrudan UKSA güç ünitesinden gelen kontaktör uyartım bobininin uçlarına bağlanacak şekilde tasarlanmıştır. Şekil 2.17‘de güç ünitesinin tek hat şeması görülmektedir. Kırmızı ok ile gösterilen yerden gelen iki kablo ile acil durdur butonu konsola kadar taşınacak şekilde bağlantı yapılacaktır.



Şekil 2.17: Trafo tek hattı acil durdur bağlantısı.

Sistemde iki adet dijital giriş, iki adet analog giriş ve bir adet dijital çıkış olmak üzere beş adet modül bulunmaktadır. Bu modüllerin haberleşmesi, modüller birbirine paralel bağlanarak tek bir hat üzerinden olacak şekilde tasarlanmıştır. Şekil 2.18‘de gösterilen ok yönündeki sıra ile birbirlerine bağlanan modüllerin sonuncusunda 120 Ω sonlandırma direnci kullanılarak haberleşme hattındaki yansımaların engellenmesi amaçlanmıştır [20]. Kumanda konsolunun kontrol bilgisayarı ile bağlantısı için konsolun üzerinde DB9 konnektörü kullanılmaktadır. RS485 seri haberleşme hattı bu konnektörün 3 ve 4. pinleri üzerinden yapılacaktır.



Şekil 2.18: Modüller ve haberleşme bağlantı şeması.

Şekil 2.18‘de görülen modüller ve güç bağlantılarının kısaltmaları Tablo 2.5‘te verilmiştir. Örneğin UKSA kilitle butonunun normalde açık kontağı olan B5.2’nin, M4 dijital giriş modülünün 19. pini olan M4.19’a bağlanacağı gözükmektedir.

Tablo 2.5: Modül ve güç kısaltmaları.

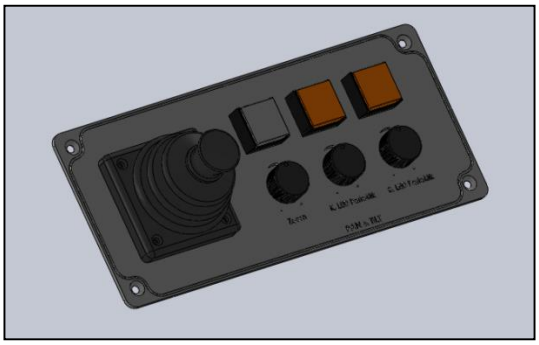
Kısaltma	Açıklama
M1	1. Analog Giriş Modülü
M2	2. Analog Giriş Modülü
M3	2. Dijital Çıkış Modülü
M4	1. Dijital Giriş Modülü
M5	2. Dijital Giriş Modülü
P24.0	GND (24V)
P24.1	Power (24V)
P5.0	GND (5V)
P5.1	Power (5V)

2.4. Mekanik Tasarım

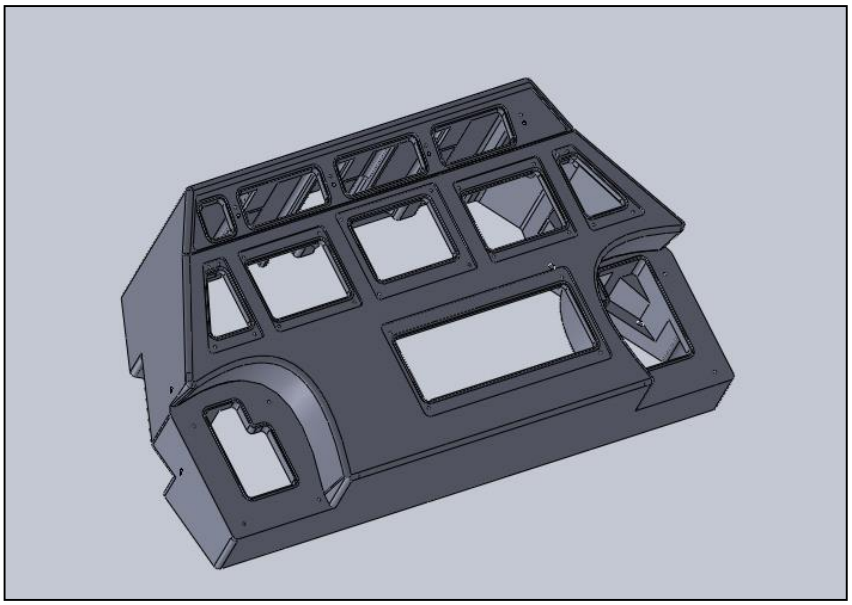
Şekil 2.3'te gösterilen ön tasarım göz önünde bulundurularak kumanda konsolunun mekanik tasarımı yaptırılmıştır. Kumanda konsolu nihai tasarımı Şekil 2.19'da gösterilmiştir.

Şekil 2.19: Kumanda konsolu modeli.

Şekil 2.20'de görülen plaka, Şekil 2.21'de görülen konsol gövdesine vidalar ile monte edilecek şekildedir. Bu sistem ile buton modifikasyonlarında sadece plaka değişimi amaçlanmaktadır. Böylece daha modüler bir yapı elde edilmiştir.



Şekil 2.20: Pan-Tilt alt biriminin bulunduğu plaka modeli.



Şekil 2.21: Kumanda konsolu gövde modeli.

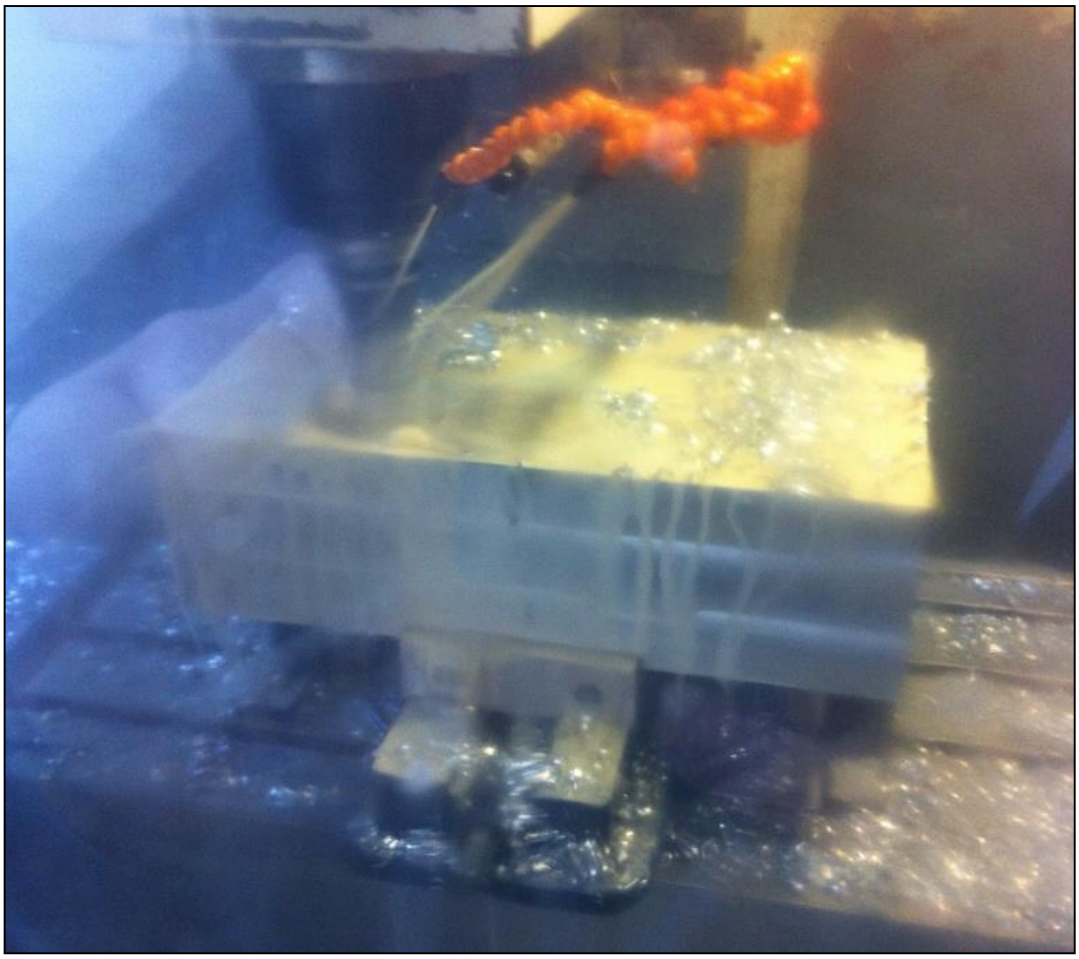
Alt birimlerin ve elemanların kullanımları dikkate alınarak, ergonomik bir şekilde tasarlanan kumanda konsolunun 3D katı modeli Şekil 2.22‘de görülmektedir.

Şekil 2.22: Kumanda konsolu 3D katı modeli.

2.5. İmalat Ve Entegrasyon

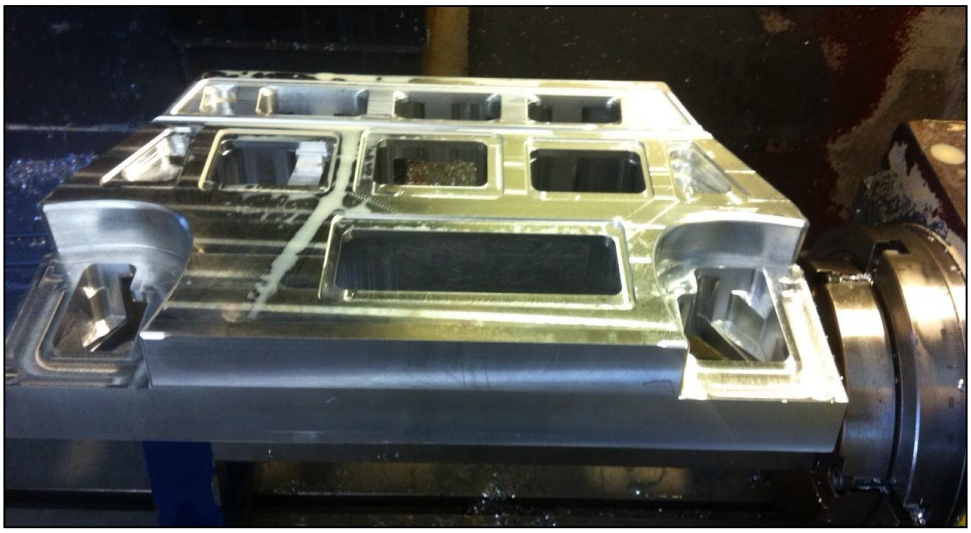
2.5.1. Gövde İmalatı

Konsolun gövde üretiminde AL5083 kodlu korozyona karşı dayanıklı alüminyum alaşım malzeme kullanılmıştır [22]. Gövdenin alüminyum alaşım kütük malzemeden üç eksenli CNC tezgâhında işlenme aşaması Şekil 2.23‘te gösterilmiştir.



Şekil 2.23: Kumanda konsol gövdesinin CNC işlem tezgahında imalatı.

Şekil 2.24‘te plakaların gövdeye yerleşeceği yerler ve sızdırmazlık için açılan kanallar görülmektedir.



Şekil 2.24: Kumanda konsol gövdesinin CNC işlem ile üretimi.

CNC işleme süreçleri tamamlandıktan sonra gövde ve plakalara metalik renk eloksal boya kaplama işlemi uygulanmıştır. Böylelikle hem çizik ve hasara karşı yüzey sertliği artırılmış hem de görsel açıdan daha iyi bir yüzey elde edilmiştir [23].

2.5.2. Mekanik Entegrasyon

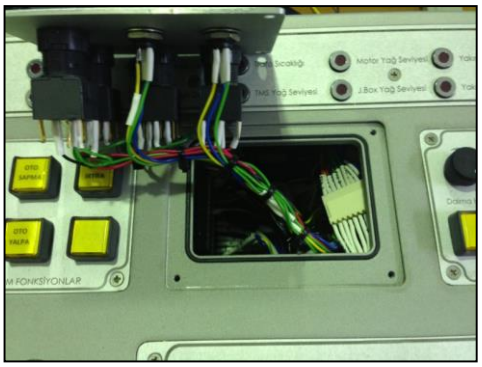
Buton, anahtar, kumanda kolu, potansiyometre ve ışıklar, plakalar üzerine Şekil 2.25‘teki gibi yerleştirilmiştir. Kumanda kolları katalog bilgilerine göre açılan vida deliklerinden sabitlenmiştir. Buton, anahtar, potansiyometre ve ışıklar kendi üzerlerinde bulunan somunlar ile sıkılarak sabitlenmiştir.

Şekil 2.25: Plakalar üzerindeki elemanların montajı.

2.5.3. Elektriksel Entegrasyon

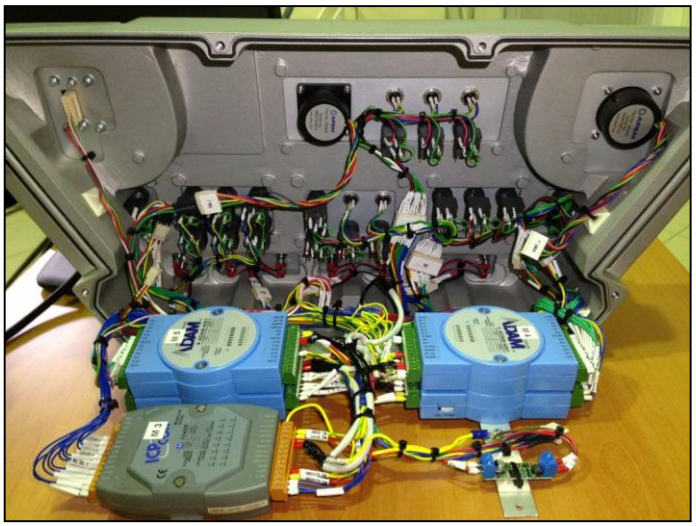
Sistem mimarisi ve alınan ürünlerin katalog bilgileri doğrultusunda hazırlanan şematiklere göre elektrik kablajı yapılmıştır. Kablaj sırası aşağıdaki şekilde gerçekleşmiştir.

Şematiklerden bakılarak kullanılacak pinlere kablolar lehimlenmiştir. Kablo uzunluğu, plakaların konsoldan $10cm$ dışarıya çıkabilecek seviyeye kadar bırakılmıştır. Kablo uçları Şekil 2.26'da gösterildiği gibi erkek konnektöre bağlanmıştır. Bu işlem her plaka için ayrı ayrı yapılmıştır.



Şekil 2.26: TMS biriminin olduğu plaka ve konnektör bağlantısı.

Modüllerde bulunan her bir analog/dijital giriş/çıkış Şekil 2.27'de gösterildiği gibi ait oldukları plakaların altına kadar kablolar ile taşınmıştır. Plakalardan gelen erkek konnektörlerin karşılıkları olarak dişi konnektörlere bağlanmıştır.

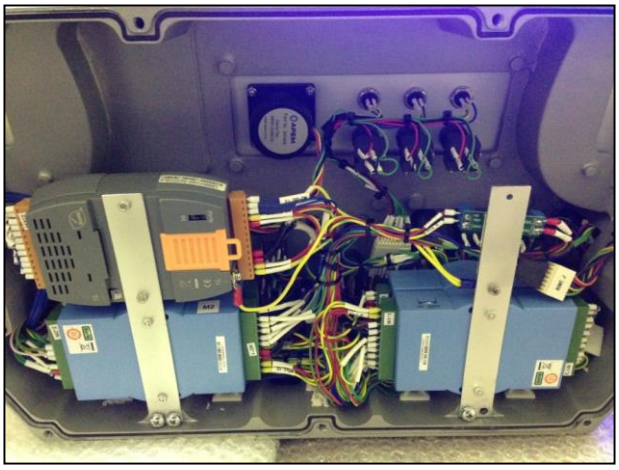


Şekil 2.27: Elektrik bağlantısının alttan görünüşü.

Her bir butonun kontak çıkışı dijital giriş modüllerindeki kanallara bağlanmıştır. Her bir ışığın anot ucu dijital çıkış modülüne bağlanmıştır. Her bir analog sinyal analog giriş modüllerindeki kanallara bağlanmıştır. Güç konnektöründen gelen $24V_{DC}$ gerilim ile modüller, ışıklar, buton ışıkları beslenmiştir. $24V_{DC}$ gerilim konsol içinde DC/DC dönüştürücü ile $5V_{DC}$'a düşürülmüştür. Potansiyometreler ve kumanda kolları $5V_{DC}$ ile beslenmiştir. DB9 konnektörünün 3. ve 4. pinleri sırasıyla modül-3, modül-2, modül-5, modül-4, modül-1 in DATA+ ile DATA- pinlerine bağlanmıştır. Haberleşme hattının sonuncu modülü olan modül-1 e DATA pinleri arasına sinyalin yansımasını engellemesi için $120\ \Omega$ sonlandırma direnci bağlanmıştır. Kumanda konsolunun güç ve haberleşme girişleri Şekil 2.28'de görülmektedir.

Şekil 2.28: Güç ve DB9 konnektörünün bulunduğu plaka.

Kumanda konsolundaki buton konfigürasyonlarının değişme durumu olabileceği için kumanda konsolu revizyon değişikliğine uygun tasarlanmıştır. Kumanda konsolu alttan görünüşü Şekil 2.29'da görülmektedir. Şekil 2.29'da görülen modüllerin üzerine vidalanan metaller, vidalarından sökülerek rahatlıkla zemine indirilebilmektedir. Bu şekilde hem modül bağlantıları hem de buton, anahtar, ışık ve kumanda kolu bağlantıları kolaylıkla yapılabilmektedir.



Şekil 2.29: Modüller kapatıldıktan sonra konsola alttan bakış.

Entegrasyonu tamamlanmış kumanda konsolunun üstten görünüşü Şekil 2.30‘da görülmektedir.

Şekil 2.30: Kumanda konsolu enerji verilmiş hali.

2.5.4. Elektriksel Test

Kumanda konsolu elektrik bağlantı testi için tüm butonlara sırayla basılmıştır. Bütün butonların ışıklarının yandığı ve ilgili dijital sinyali ürettiği gözlenmiştir. Otonom fonksiyonlar biriminde butona basılmış örnek bir görüntü

Şekil 2.31‘de görülmektedir. Ayrıca potansiyometre ve kumanda kollarından gelen tüm analog sinyaller ölçülerek kumanda konsolunun istenilen fonksiyonları yerine getirdiği görülmüştür.

Şekil 2.31: Otonom fonksiyonlarda buton testi.

3. KONSOL YAZILIMI VE UYGULAMASI

UKSA sisteminin kontrolü için yazılım isterlerinin tümünü tek bir platform üzerinde karşılayabilen ve donanımdan bağımsız bir kontrol sistemi sunarak esneklik sağlayan softplc tabanlı bir çözüm tercih edilmiştir [24]. Softplc tabanlı programlardan biri olan Codesys Control programı ile mobil otomasyon, süreç otomasyonu ve enerji otomasyonu gibi alanlarda önemli uygulamalar yapılmaktadır [25].

IEC 61131, kontrolörlerin programlanması için Uluslararası Elektroteknik Komisyonu tarafından oluşturulmuş bir standarttır [26]. IEC 61131-3 standardı bu standart içerisinde bulunan programlama dillerini içermektedir [26]. IEC 61131-3 standardı programlama dilleri Tablo 3.1‘de verilmiştir.

Tablo 3.1: IEC 61131-3 standartı programlama dilleri.

Programlama Dili	**Kısaltması**	**Yazılım Türü**
Ladder diagram	LD	Grafiksel
Functional block diagram	FBD	Grafiksel
Structed text	ST	Metinsel
Instruction list	IL	Metinsel
Sequential function chart	SFC	Grafiksel

IEC 61131-3 standartlarında programlama yapılabilen softplc ortamlarından olan Codesys bütünleşmiş yazılım geliştirme ortamı (IDE) kullanılarak UKSA kumanda konsol yazılımı geliştirilmiştir. Programlama dillerinden FBD ile ST kullanılmıştır. Geliştirilen bu yazılım IDE aracılığıyla sistemin merkezi işlem birimi olan kontrol bilgisayarına aktarılmaktadır.

3.1. RS485 Dönüştürücü Modüllerin Bağlantısı

Kumanda konsolu kontrol bilgisayarına seri port üzerinden bağlanmıştır. Analog/Dijital RS485 dönüştürücü modüllerin baud-rate ve slave numaraları modüllerin kendi ara yüz programından belirlenmiştir. Aynı değerler Codesys programdan girilerek bağlantı kurulmuştur. Modül port konfigürasyonu ve Codesys port konfigürasyonu sırasıyla anlatılacaktır.

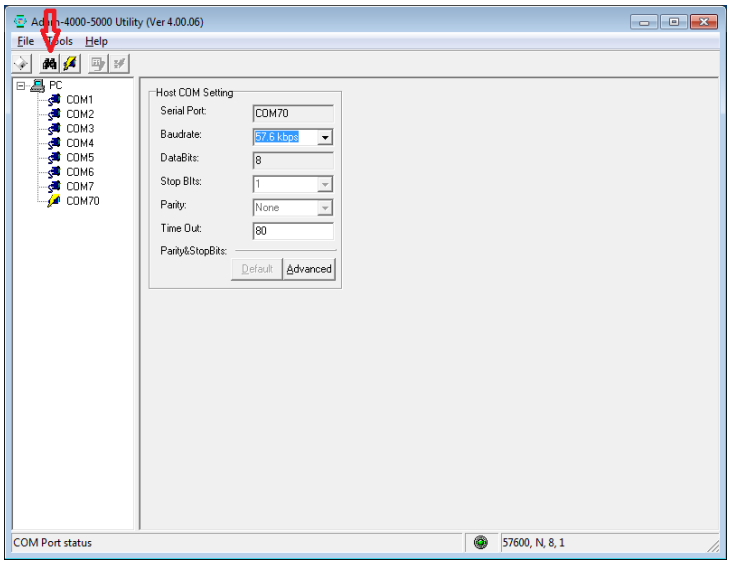
3.1.1. Modül Port Konfigürasyonu

RS485 dönüştürücü modüllerin üzerinde ‘init’ seçeneği olan anahtar bulunmaktadır. Her bir modül teker teker ‘init’ moduna alınıp modüllerin kendi ara yüzüne seri port adresi olan COM70 adresinden ve varsayılan baud rate olan 9600 ile bağlanılmıştır. Bağlantı hızının daha hızlı olması için baud rate her bir modül için 57600 olarak değiştirilmiştir. Modüllerin slave adresleri çakışmaması için farklı numaralandırılmıştır. Baud rate ve slave adresleri Tablo 3.2‘de gösterildiği gibi yapılmıştır.

Tablo 3.2: Modüllerin slave adresleri ve baud rate hızları.

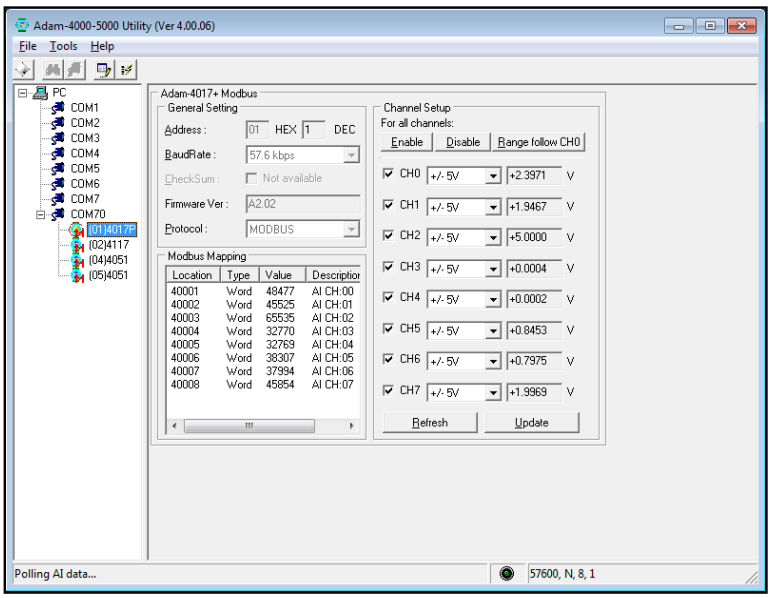
Modül Kodu	Modül İsmi	Slave adres	Baud rate
4017P	Analog Giriş Modülü	1	57600
4017	Analog Giriş Modülü	2	57600
7045	Dijital Çıkış Modülü	3	57600
4051	Dijital Giriş Modülü	4	57600
4051	Dijital Giriş Modülü	5	57600

Modül ayarları yapıldıktan sonra anahtarlar ‘init’ modundan ‘normal’ moda alınmalıdır. Modüller ‘normal’ moduna alındıktan sonra modül ara yüz programı tekrar açılır. Açılan programda bağlanan port numarası seçilerek Şekil 3.1‘de gösterilen dürbün butonu ile arama yapılır.



Şekil 3.1: Modül arayüzünde bağlı olan cihazların aranması.

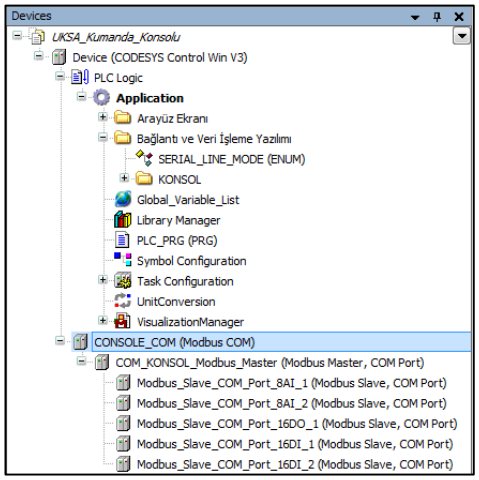
Şekil 3.2‘de görüldüğü gibi bağlı olan cihazlar COM70 port numarasının altında sıra ile çıkacaktır. Şekil 3.2‘de ayrıca kumanda kolu eksenlerinin bağlı olduğu 8 adet analog kanaldan alınan gerilim değerleri gözükmektedir. Şekil 3.2‘de görülen tüm analog kanallar $+/-5V_{DC}$ olarak seçilmiştir.



Şekil 3.2: Kumanda kollarının bağlı olduğu analog giriş modülü bilgileri.

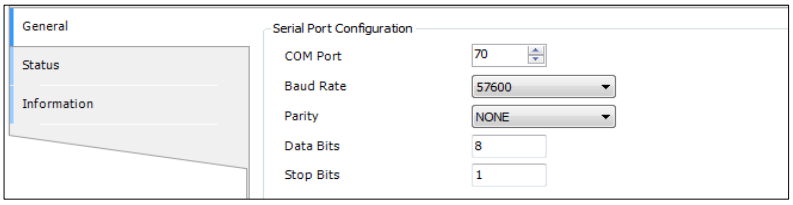
3.1.2. Codesys Port Konfigürasyonu

Codesys yazılım programında ‘Device’ ekle kısmından Şekil 3.3‘te gösterilen CONSOLE_COM adında Modbus_COM eklenmiştir.



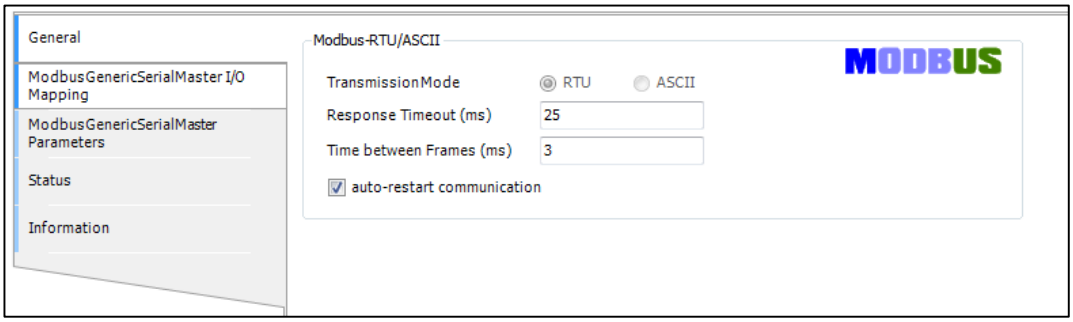
Şekil 3.3: RS485 Modüllerin codesys yazılım programına bağlanması.

Modbus_COM ayarları Şekil 3.4‘te gösterildiği gibi yapılmıştır.



Şekil 3.4: Codesys Modbus COM ayarları.

Şekil 3.3‘te görülen Modbus_COM’un altında Modbus_Master seçilmiştir. Modbus_Master 5 adet slave modülün üzerinde master bir yapı olarak haberleşmeyi sağlamaktadır. Modbus_Master konfigürasyonu Şekil 3.5‘te görüldüğü gibi yapılmıştır.



Şekil 3.5: Modbus master konfigrasyonu.

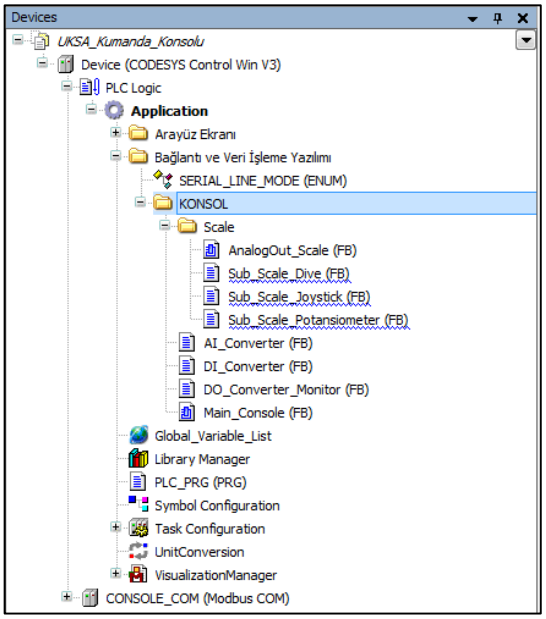
Modüller için 5 adet Modbus_Slave oluşturulmuştur. Modüllerin kendi ara yüzlerinden belirlediğimiz slave adresleri ve sinyallerin kopması durumunda bekleme süresi Şekil 3.6’da gösterilen bu bölümden girilmiştir.

Şekil 3.6: Modbus slave konfigrasyonu.

Kumanda konsolunda bağlanan giriş/çıkışların adresleri Modbus_Slave içerisindeki I/O adresleme bölümüne yazılmıştır. Yazılımda kullanılacak olan adreslere Ek-A, Ek-B ve Ek-C’ de verilen değişken adları tanımlanmıştır.

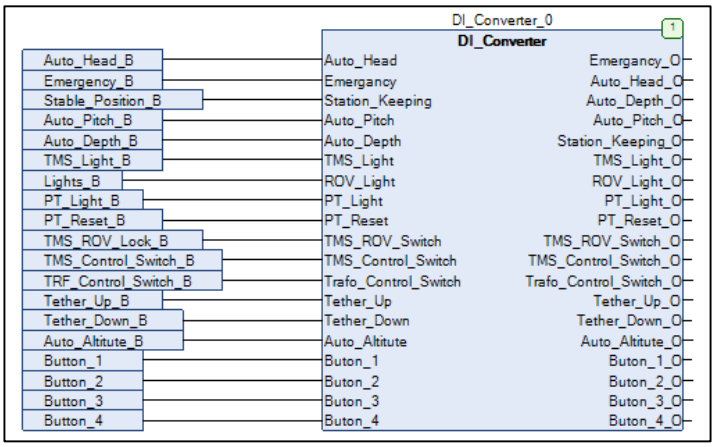
3.2. Konsol Yazılımı

Codesys programında “Devices” aracında KONSOL adında bir klasör oluşturulmuştur. Şekil 3.7‘de görülen (Main_Console) fonksiyon bloğu, kontrol yazılımının ana bloğu olarak KONSOL klasörünün altında oluşturulmuştur.



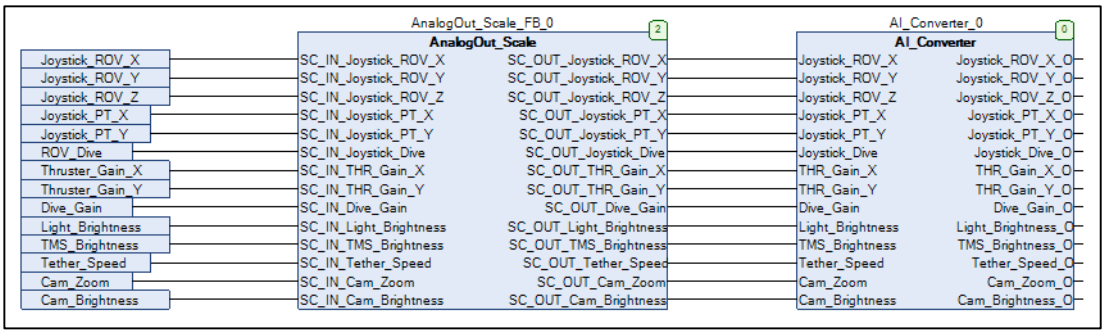
Şekil 3.7: Kumanda konsolu yazılımında kullanılan fonksiyon blokları.

(Main_Console) fonksiyon bloğu içerisine dijital ve analog giriş için (DI_Converter) ve (AI_Converter) adlarında iki ayrı blok eklenmiştir. Şekil 3.8‘de görülen (DI_Converter) bloğu verileri okumakta ve UKSA kontrolünde kullanılmak üzere çıkış oluşturmaktadır.



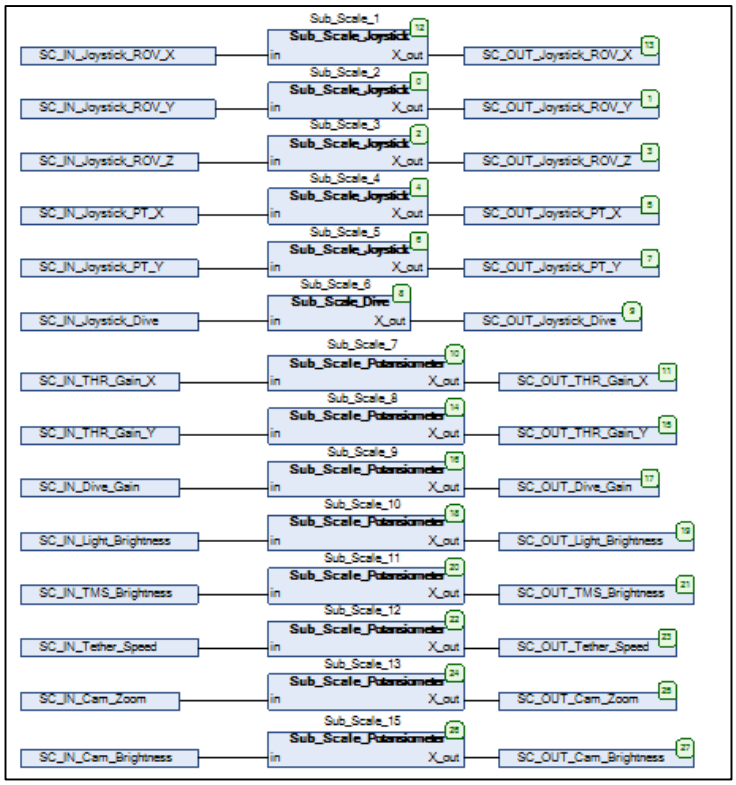
Şekil 3.8: Main_Console fonksiyon bloğundaki DI_Converter.

Şekil 3.9‘da (Main_Console) fonksiyon bloğu içerisinde (AnalogOut_Scale) ve (AI_Converter) görülmektedir. Analog girişler, (AnalogOut_Scale) bloğu içerisinde ölçeklendirilmektedir. (AI_Converter) bloğu, verileri okumakta ve UKSA kontrolünde kullanılmak üzere çıkış oluşturmaktadır.



Şekil 3.9: Main_Console fonksiyon bloğundaki Analog bloklar.

Şekil 3.9‘da görülen (AnalogOut_Scale) bloğu içerisinde, kumanda konsolundan alınan her bir potansiyometre ve kumanda kolu ekseni değeri için Şekil 3.10‘daki ölçeklendirme blokları kullanılmıştır.



Şekil 3.10: Analog değişkenleri ölçeklendirilen bloklar.

Analog modüller girişlerine gelen $+/-5V_{DC}$ gerilimi 16 bit çözünürlük ile 0-65536 arasına ölçeklendirmektedir. Analog giriş modülünde giriş en düşük $-5V_{DC}$ olduğunda modül çıkışında (yazılımda) okunan değer 0, giriş en yüksek $+5V_{DC}$ olduğunda modül çıkışında (yazılımda) okunan değer 65536 olmaktadır.

Potansiyometreler için çıkış voltajı ise $0V_{DC}$ ile $+5V_{DC}$ arasında değişmektedir. Analog giriş modülünde giriş en düşük $0V_{DC}$ olduğunda modül çıkışında (yazılımda) okunan değer 32767, giriş en yüksek $+5V_{DC}$ olduğunda modül çıkışında (yazılımda) okunan değer 65536 olmaktadır.

UKSA'nın kontrolünde kullanılan üç eksenli kumanda kolunda bir eksen için yazılan örnek bir ölçeklendirme kodu Şekil 3.11'de görülmektedir.

```
X_out_pre:=OSCAT_BASIC.SCALE_R(
    X:=in ,
    I_LO:= 19350,
    I_HI:= 46250,
    O_LO:= -100,
    O_HI:= +100);

    IF in>=19350 AND in<=46250 THEN X_Out:=X_out_pre;
        IF X_out_pre<2 AND X_out_pre>-2 THEN X_Out:=0;
        ELSE X_Out:=X_out_pre; END_IF
    ELSE X_Out:=0;
    END_IF
```

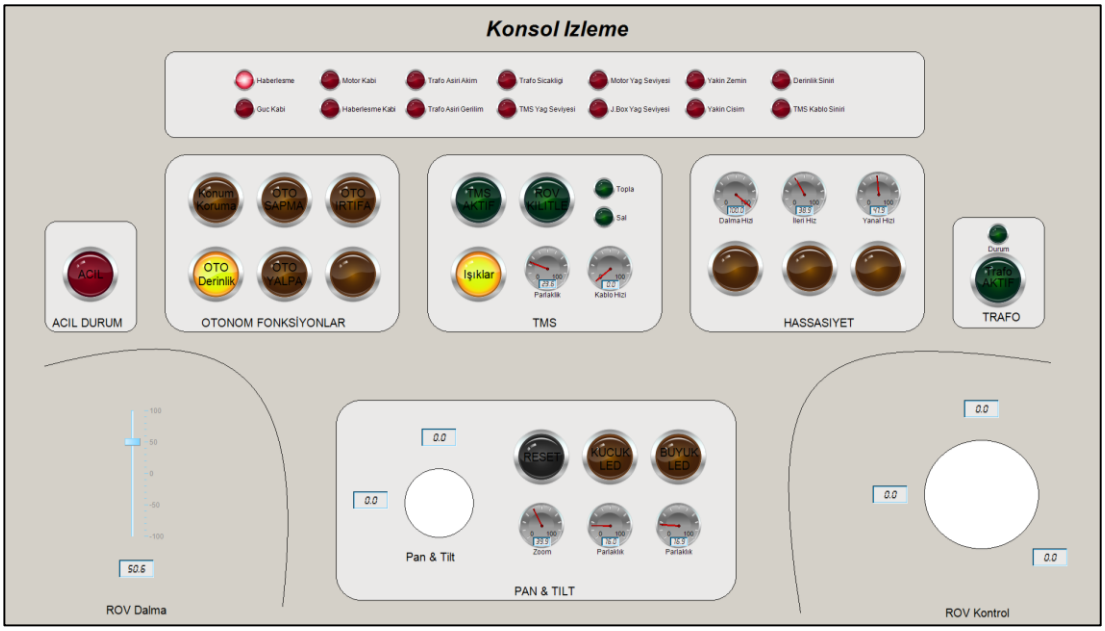
Şekil 3.11: Kumanda kolu x ekseni ölçeklendirme kodu.

Kumanda kolu X ekseni için düşünüldüğünde, kumanda kolu en ileri itildiğinde yaklaşık $+2.5V_{DC}$ olan çıkış gerilimine karşılık gelen çözünürlük değeri 46250 iken, kumanda kolu en geri çekildiğine yaklaşık -2.5_{DC} olan çıkış gerilimine karşılık gelen çözünürlük değeri 19350 olmuştur. Yazılımda oransal olarak kullanacağımız aralık olan $+/-100$ aralığına Şekil 3.11'deki gibi ölçeklendirilmiştir. Ayrıca ölçeklendirme kodunda ölü bölge oluşturulup kumanda kolu sıfır konumunda iken analog değerdeki ufak dalgalanmalara karşı hata durumu önlenmiştir.

Bu ölçeklendirme her bir analog giriş için yapılmıştır. Kumanda kolu eksenleri için -100 ile $+100$ aralığı kullanılırken, potansiyometreler için 0 ile $+100$ aralığı kullanılmıştır.

3.3. Kumanda Konsolu Yazılımı Fonksiyonel Testi

Kumanda konsolu bağlantıları ve yazılım içinde kullanılacak olan analog/dijital değerlerinin doğruluğunun kontrolü için Şekil 3.12‘de görülen konsol izleme sayfası tasarlanmıştır.



Şekil 3.12: Konsol izleme sayfası.

Konsol izleme test sayfası tasarımında kumanda konsolundaki anahtar ile butonların yerine gösterge ışığı koyulmuştur ve dijital adresleri bağlanmıştır.

Kumanda konsoldaki ışıkların yerine ışıklı buton koyulmuştur ve dijital çıkış adresleri bağlanmıştır.

Potansiyometreler için tasarıma hem analog göstergeler hem de dijital göstergeler koyulmuştur ve $[0, +100]$ değer aralıklı ölçeklendirme çıkışındaki adresleri bağlanmıştır. Analog göstergeler ile potansiyometrelerin bulundukları konum da görsel olarak anlaşılmaktadır.

Kumanda kollarının her bir ekseni için dijital gösterge koyulmuştur ve $[-100, +100]$ değer aralıklı ölçeklendirme çıkışındaki adresleri bağlanmıştır.

Kumanda konsolu yazılım testi Tablo 3.3‘de görülen test prosedürüne göre yapılıp başarıyla tamamlanmıştır.

Tablo 3.3: Test prosedürü.

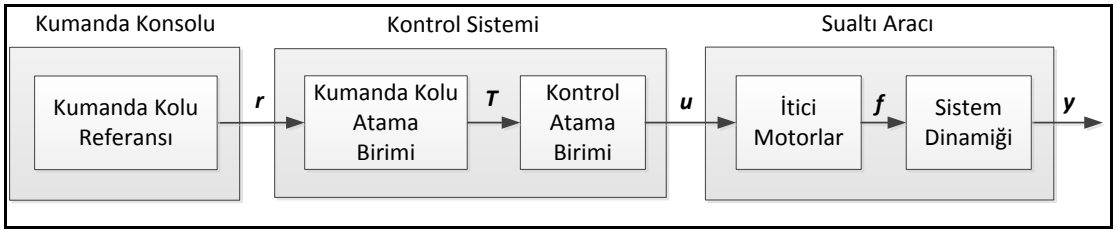
Kumanda Konsolundaki Eylemler	**Test Sayfasındaki Sonuçlar**
Butonlara sırayla basılması,	Butonların gösterge ışıklarındaki değişim gözlenmiştir.
Anahtar butonun sal ve topla durumlarına alınması,	İki durum ışığındaki değişim gözlenmiştir.
Potansiyometrelerin sırayla değiştirilmesi,	Analog göstergelerin doğru olarak değiştiği gözlenmiştir.
Kumanda kolu eksenlerinin sırayla değiştirilmesi,	Analog göstergelerin doğru olarak değiştiği gözlenmiştir.
Işıklı alarm butonlarına sırayla basılması, (Test sayfasından)	Işıklı uyarı birimindeki ışıkların yandığı gözlenmiştir.(Kumanda konsolunda)

Kumanda konsolunun testi esnasından bir görünüm Şekil 3.13'de verilmiştir.

Şekil 3.13: Kumanda konsolu testi.

4. HAREKET KONTROL SİSTEMİ TASARIMI

UKSA'nın kontrolü normal seyir halinde açık çevrim olarak kumanda kolu komutları ile sağlanmaktadır [27]. Kumanda konsolu, kontrol sistemi ve sualtı aracından oluşan açık çevrim kontrol sisteminin blok diyagram Şekil 4.1'de gösterilmiştir.



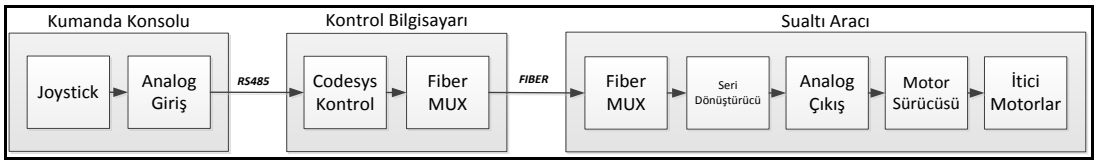
Şekil 4.1: UKSA açık çevrim kontrol blok diyagramı.

Kumanda kolundan gelen analog değerler (1.2) denklemindeki r referans işareti olarak kontrol sistemine gelir. Kontrol sistemindeki kumanda kolu atama biriminde (1.4) denklemindeki τ eksenel kuvvet vektörü oluşturulur. Bu vektör atama matris dönüşümü aracılığı ile uygulanacak u kontrol işareti üretilir ve motorların kontrol giriş kartlarına uygulanır. Bu kontrol işareti itici motorların hangi hız ve yönde çalışması gerektiğini belirtir. Bu bilgilere bağlı olarak motor sürücü kartlarında düşük seviye kontroller gerçekleştirilir ve motorların sağladığı f itici kuvvetler ile istenen eksenel kuvvet ve momentler üretilmiş olur [5].

4.1. UKSA Hareket Kontrolü için Donanım Mimarisi

Kumanda konsolu geliştirilecek olan UKSA'nın kumanda kolu ile motor kontrolünü sağlayan donanım şematiği Şekil 4.2'de görülmektedir. Kumanda konsolundan üretilen kumanda kolu analog verisi, analog giriş modülü üzerinden okunarak RS485 seri haberleşmesi ile kontrol bilgisayarındaki kontrol yazılımına aktarılmaktadır. Bu veriler analog olarak okunup ölçeklendirme yapıldıktan sonra yazılım ile motor kontrol atama matrisine göre atanmaktadır. Kontrol bilgisayarındaki yazılım kumanda odasında bulunan fiber çoklayıcı ile ethernet üzerinden UKSA ile haberleşmektedir. Kumanda odasında bulunan fiber çoklayıcı ile UKSA üzerinde

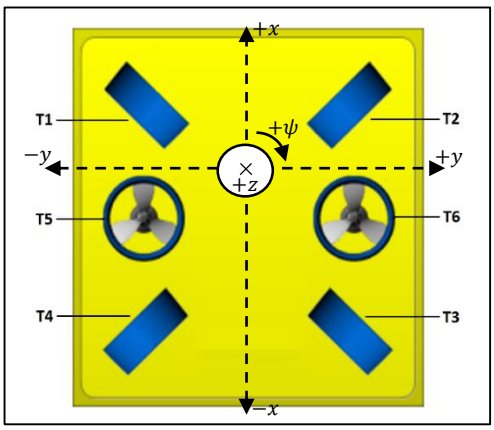
bulunan fiber çoklayıcı birbirleriyle aradaki fiber bağlantı ile haberleşmektedir. UKSA üzerindeki fiber çoklayıcının ethernet çıkışı Ethernet/Seri dönüştürücüye bağlanmaktadır. Ethernet/Seri dönüştürücü RS485 haberleşmesi ile Analog çıkış modülüne bağlanmaktadır. Analog çıkış modülü, kontrol yazılımındaki motor kontrol matrisindeki çıkışa göre $[-5V_{DC}, +5V_{DC}]$ aralığında gerilim çıkışını motor sürücüsüne vermektedir. Motor sürücüsü gelen giriş gerilimine göre itici motorları sürmektedir.



Şekil 4.2: UKSA kumanda kolu ile motor kontrolü donanım şematiği.

4.2. UKSA Açık Çevrim Kontrolü

Kumanda konsolu geliştirilecek olan UKSA'nın tahrik sisteminde 4 yatay ve 2 dikey olmak üzere her birinin motor gücü $2kW$ olan toplam 6 adet AC motor kullanılmıştır. Aracın motor yerleşimi ve numaralandırılması Şekil 4.3'te gösterilmiştir. UKSA'nın hareketleri sırasında kendi ekseni etrafında istenmeyen dönme momentlerini engellemek için T1-T2, T3-T4, T5-T6 motor çiftleri farklı yönde çalışacak şekilde seçilmiştir. Böylece örneğin, aracın $+x$ yönünde boy öteleme hareketi istendiğinde T1 ve T4 saat yönünde, T2 ve T3 ise saat yönünün tersine dönerek aynı yöne itki oluşturmaktadır.



Şekil 4.3: UKSA motor yerleşimi.

UKSA'nın manuel kontrolünde kontrol işareti üç eksenli ve tek eksenli iki kumanda kolu yardımıyla verilmektedir. Üç eksenli kumanda kolu kontrol ettiği T1, T2, T3 ve T4 yatay motorları ile UKSA'nın boy öteleme, yan öteleme ve savrulma hareketini yapmasını sağlamaktadır. Tek eksenli kumanda kolu ile ise dalma-çıkma hareketini sağlayan T5 ve T6 iki dikey motoru kontrol edilmektedir.

UKSA'nın $+x$ yönünde boy öteleme hareketini yapması için motor dizilimine göre T1 ve T4 motorları saat yönünde, T2 ve T3 motorları saat yönünün tersinde hareket etmesi gerekmektedir. UKSA'nın $+y$ yönünde yan öteleme hareketini yapması için T1 ve T2 motorları saat yönünde, T3 ve T4 motorları saat yönünün tersinde hareket etmesi gerekmektedir. UKSA'nın yönde savrulma hareketini yapması için T1, T2, T3 ve T4 motorlarının saat yönünde hareket etmesi gerekmektedir. UKSA'nın $+z$ yönünde dalma hareketini yapması için T5 saat yönünde, T6 motoru saat yönünün tersinde hareket etmesi gerekmektedir. UKSA'nın $-z$ yönünde çıkma hareketini yapması için T5 saat yönünün tersinde, T6 motoru saat yönünde hareket etmesi gerekmektedir.

Kumanda konsolundan motorların kontrolüne kadar olan süreç, açık çevrim kontrolü ifade etmektedir. Kumanda kolundan kontrol sistemine r referans işareti olarak gelen işaret, motorların sürülmesi için u referans işareti olarak çıkmaktadır. Kumanda konsolu, kontrol sistemi ve sualtı aracı arasındaki bu açık çevrim kontrolde kullanılan denklemler aşağıda anlatılmaktadır.

Kumanda konsolunda bulunan analog kumanda kollarının her bir ekseninden gelen referans gerilimi $-2{,}5V_{DC}$ ile $+2{,}5V_{DC}$ arasında değişmektedir. Bu gerilim değişimi kumanda kolu eksenlerinin en ileri ve en geri konumdaki değerleri olan $[19350\ 46250]$ referans işaretine Analog/Dijital dönüştürücü üzerinden dönüşmektedir. Bu referans işaretinin dönüşüm denklemi aşağıda verilmiştir;

$$[-2{,}5V_{DC}\ +2{,}5V_{DC}] \ \rightarrow\ [19350\ \ 46250] \qquad f(x)\ = 5380x + 32800 \qquad (4.1)$$

Aracın her bir eksendeki kuvvet vektörü τ, % olarak ifade edildiği için, referans işaretlerinin [-100, 100] aralığına ölçeklenmesi gerekmektedir. Bu referans işaretinin dönüşüm denklemi aşağıda verilmiştir;

$$[19350\ \ 46250] \ \rightarrow\ [-100\ +100] \qquad \tau = f(r)\ = \frac{25}{164}r - \frac{8035}{164} \qquad (4.2)$$

UKSA'nın τ eksenel kuvvet vektörü ve f itici kuvvet vektörü denklemleri (1.10) ve (1.11)'de gösterilmişti. (1.11) denklemindeki f itici kuvvet vektörünün, 6 motorun kontrolü için genişletilmesiyle aşağıdaki denklem elde edilmiştir;

$$\begin{bmatrix} f_{Motor1} \\ f_{Motor2} \\ f_{Motor3} \\ f_{Motor4} \\ f_{Motor5} \\ f_{Motor6} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 0 \\ -1 & 1 & 1 & 0 \\ -1 & -1 & 1 & 0 \\ 1 & -1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} \tau_{boy\ öteleme} \\ \tau_{yan\ öteleme} \\ \tau_{savrulma} \\ \tau_{dalıp\ çıkma} \end{bmatrix} \tag{4.3}$$

Bu matris ile oluşturulan her bir f_{motor} itici kuvvet vektörü $[-2^{15}\ \ 2^{15}]$ arasında çözünürlükte aşağıdaki denklem ile ölçeklendirilmektedir.

$$[-100\ +100] \ \rightarrow\ [-32767\ +32767] \qquad f(x) = \frac{32767}{100}x \tag{4.4}$$

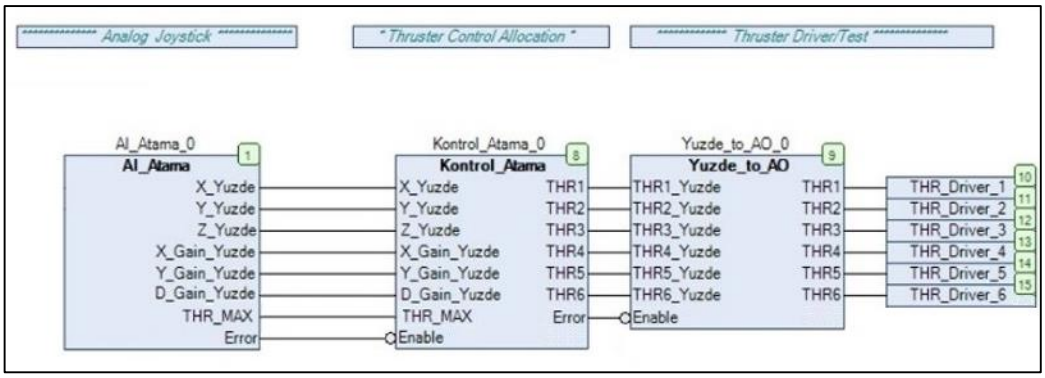
Motorların sürücüsüne $[-5V_{DC}\ +5V_{DC}]$ arasında gerilim referans çıkışı veren analog çıkış modülüne yukarıdaki ölçeklendirme denklemini kullanarak gerilim çıkışını aşağıdaki gibi üretmektedir.

$$[-32767\ +32767] \rightarrow [-5V_{DC}\ +5V_{DC}] \qquad f(x) = \frac{5}{32767}x \tag{4.5}$$

Kumanda konsolundaki kumanda kolundan başlayan işaret, bu denklem dönüşümlerini kullanarak kontrol sisteminden, itici motorları hangi yönde ve ne kadar hızda döneceği işaretine dönüşerek çıkmaktadır. Böylece açık çevrim gerçekleşmektedir.

4.2.1. Açık Çevrim Kontrol Yazılımının Gerçeklenmesi

UKSA sistemi motor kontrolü için 4 farklı fonksiyon bloğu bulunmaktadır. Tahrik sistemi yazılımına ait diyagram Şekil 4.4'te gösterilmiştir.



Şekil 4.4: UKSA tahrik sistemi yazılımı.

(AI_Atama) bloğunda analog kumanda kolu eksen bilgileri ile boy öteleme, yan öteleme ve dalma-çıkma kazanç bilgileri okunmaktadır. Motorların hangi yön ve hızda dönmesi gerektiğini belirleyen (Kontrol_Atama) bloğu tahrik sistemi kontrol algoritması doğrultusunda üretilen (4.2) denklemindeki τ eksenel kuvvet vektörünün oluşturulmasını sağlamaktadır. Bu blok içerisinde, B motor kontrol atama matrisi ile atamalar yapılmakta ve (4.3) denklemindeki f itici kuvvetler vektörünü oluşturacak kontrol işaretleri üretilmektedir. ST programlama dili ile yazılan (Kontrol_Atama) bloğunda bulunan motor atama matrisinin gerçeklenmesini sağlayan kod Tablo 4.1‘deverilmiştir.

Tablo 4.1: Motor atama matrisinin gerçeklenmesi.

```
Surge   := (Surge_X)*(Gain_X/100)*(T_MAX/100);
Sway    := (Sway_Y) *(Gain_Y/100)*(T_MAX/100);
Yaw     := (Yaw_Z)  *(Gain_X/100)*(T_MAX/100);
Heave   := (Heave_D)*(Gain_D/100)*(T_MAX/100);

T1      := (Surge*1 + Sway*1 + Yaw*1);
T2      := (-Surge*1 + Sway*1 + Yaw*1);
T3      := (-Surge*1 - Sway*1 + Yaw*1);
T4      := (Surge*1 - Sway*1 + Yaw*1);
T5      := (Heave*1);
T6      := (-Heave*1);
```

Örneğin boy öteleme komutu (surge) incelendiğinde kumanda kolunun x^{js} ekseninden gelen değer, kazanç ve motor limiti değeri ile çarpılarak UKSA’nın x ekseni kuvvet vektörü üretilmekledir. Ardından bu değer motor yerleşimi göz önüne

alınarak, ilk dört motora atanır. Böylece ileri yöndeki itici kuvvet üretilerek ilgili hareket sağlanmaktadır. Bu örneği matematiksel olarak yapacak olursak;

Motor limiti $\%100$, ileri yöndeki kazanç $\%60$ ayarlandıktan sonra kumanda kolu Şekil 2.5'te gösterilen $+x^{js}$ yönünde $\%50$ itildiğinde boy öteleme denklemi;

$$(surge) = (50) * (60/100) * (100/100) \tag{4.6}$$

(4.6) eşitliğinden $(surge = 30)$ olacak ve atama denklemleri aşağıdaki gibi olacaktır;

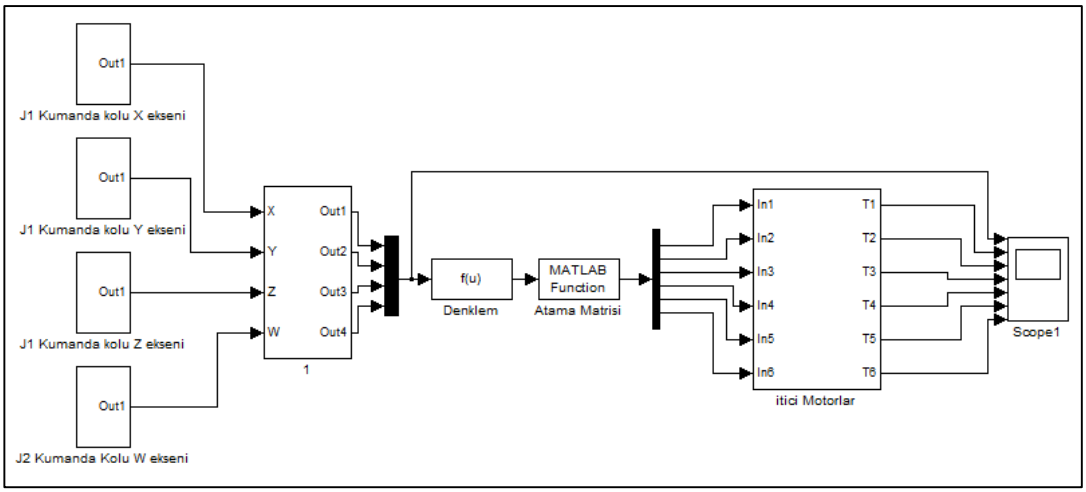
$$T1 = 30, \quad T2 = -30, \quad T3 = -30 \quad T4 = 30 \tag{4.7}$$

UKSA'nın boy öteleme hareketi için kumanda kolu %50 ileri yönde itildiğinde (4.7) eşitliklerinde görüldüğü gibi T1 ve T4 motoru %30 hızda saat yönünde, T2 ve T3 motoru %30 saat yönünün tersinde olacak şekilde hesaplanacaktır.

Hesaplanan bu değerler ile motorların sürülmesi için UKSA tahrik sistemi yazılımında (Yuzde_To_AO) bloğu kullanılmıştır. Bu blokta (4.4) numaralı denklem kullanılarak motorların % itme kuvvetleri analog çıkış modülünün algılayacağı $[-2^{15}\ 2^{15}]$ aralığına ölçeklendirilecektir. Her bir motor için çıkan bu değerler bu analog çıkış modülü üzerinden (4.5) numaralı denklemdeki dönüşüm kullanılarak $[-5V_{DC}\ +5V_{DC}]$ analog gerilime dönüşecek ve motor sürücülerine verilecektir. Motor sürücüleri bu gerilim değişimine göre motorları istenilen hız ve yönde sürecektir.

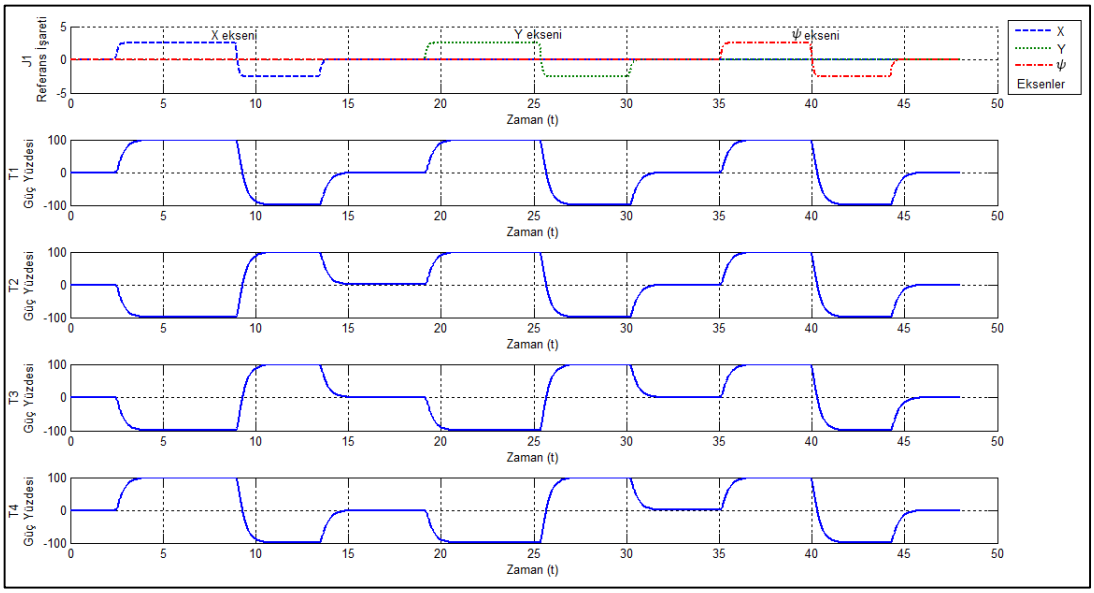
4.2.2. Açık Çevrim Kontrol Sisteminin Benzetimi

Sualtı aracının açık çevrim sistem tasarımının doğrulanması için Matlab/Simulink programında benzetim çalışması yapılmıştır. Sistem modeli Şekil 4.5'te görülmektedir.



Şekil 4.5: Simulink modeli.

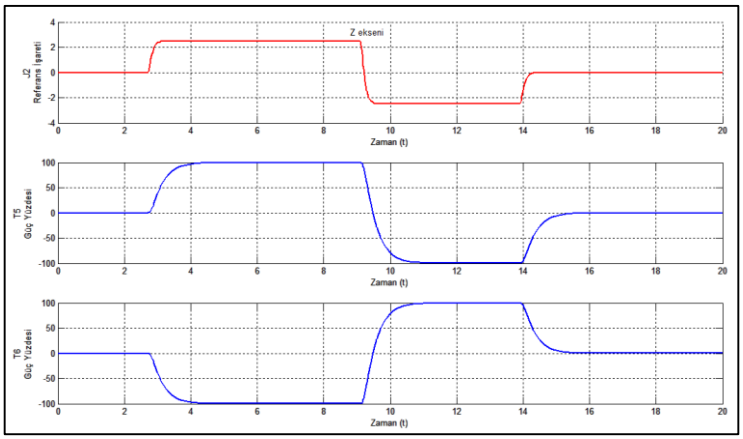
Üç eksenli J1 kumanda kolu ile boy öteleme, yan öteleme ve savrulma hareketleri sırasıyla yapılmıştır. Her hareket ekseni için kumanda kolu sırasıyla en ileri ve en geri konuma getirilmiştir. Sistemin giriş referans işaretleri ve T1, T2, T3 ve T4 motorlarının motor kontrol atama matris denklemine göre hangi yönde ne kadar hızda çalışma oranı Şekil 4.6‘daki grafikte görülmektedir.



Şekil 4.6: J1 Kumanda kolu ile kontrolde motorların güç yüzdesi değişimi.

Tek eksenli J2 kumanda kolu ile dalma-çıkma hareketi yapılmıştır. Kumanda kolu sırasıyla en ileri ve en geri konuma getirilmiştir. Sistemin giriş referans işareti ve

T5 ve T6 motorlarının motor kontrol atama matris denklemine göre hangi yönde ne kadar hızda çalışma oranı Şekil 4.7‘deki grafikte görülmektedir.



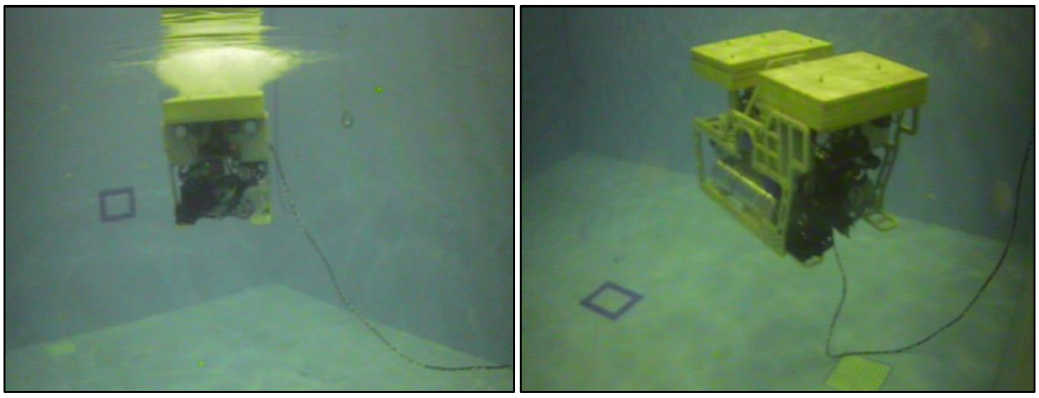
Şekil 4.7: J2 Kumanda kolu ile kontrolde motorların güç yüzdesi değişimi.

4.2.3. Açık Çevrim Kontrol Sisteminin Testi

UKSA’nın açık çevrim testi TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi, Enerji Enstitüsü, Robotik ve Otomasyon Teknolojileri Laboratuvarında yer alan test havuzunda gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.8‘de UKSA’nın havuz testlerinde kumanda konsolu ile kontrolü sırasından resim görülmektedir.

Şekil 4.8: UKSA havuz testi.

UKSA’nın kumanda konsolu ile açık çevrim kontrolü esnasında çekilen sualtı görüntüleri Şekil 4.9‘da görülmektedir.



Şekil 4.9: UKSA havuz testinden sualtı görüntüleri.

5. SONUÇ

Bu çalışmada bir uzaktan kontrollü sualtı aracı için geliştirilen kumanda konsolunun tasarım ve üretimi yapılmıştır. Üretilen konsolun elektrik ve mekanik entegrasyonu yapıldıktan sonra Codesys (softplc) programı ile yazılımı yapılmıştır. Tasarım, üretim ve yazılım aşamaları tamamlanan kumanda konsolunun fonksiyonel testi yapılmış ve başarıyla sonuçlanmıştır. Kumanda konsolundaki tüm veriler başarıyla yazılıma aktarılarak UKSA kontrolüne hazır hale getirilmiştir.

Uzaktan kontrollü sualtı aracının açık çevrim kontrolü için kontrol sistem tasarımı yapılmıştır. Tasarlanan kontrol sisteminin Matlab/Simulink'te gerçekleştirilen benzetim çalışmaları ile doğrulaması yapılmıştır. Sonuçlar grafiksel olarak gösterilmiştir. Gerçekleştirilen testler sonucu tasarlanan açık çevrim kontrol sisteminin uygun şekilde çalıştığı ve geliştirilen kontrol konsolunun istenen fonksiyonları yerine getirdiği gözlenmiştir.

KAYNAKLAR

[1] Shukla A. Karki H., (2006), “Application of robotics in offshore oil and gas industry-A review Part II”, Robotics and Autonomous Systems, 75, B, 508-524.

[2] Ulu C., Altunkaya M.U., Canbak O., Taskin H., Yayla S., (2016), MarmaROV Uzaktan Kontrollü Sualtı Aracı Sistemi, TOK 2016 Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı, 698-704, Eskişehir/Türkiye, 29 Eylül-01 Ekim.

[3] Incorporated, (2010), “Remotely Operated Vehicles of The World”, 10th Edition, Oilfield Publications.

[4] Christ R. D., Wernli Sr R. L., (2014),”The ROV manual: a user guide for remotely operated vehicles”, 2nd Edition, Butterworth-Heinemann.

[5] Ulu C., Hancıoğlu İ., Genç E. U., Altunkaya M.U., Canbak O., Özsu E., (2013) “Üç İnsansız Sualtı Aracı Tasarımının Karşılaştırılması”, TOK 2013 Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı, 582-588, Malatya/Türkiye, 26-28 Eylül.

[6] Allmendinger E.E, (1990), “Submersible Vehicle Systems Design”, The Society of Naval Architects and Marine Engineers, 1st. Edition, Sname.

[7] Roberts G., R. Sutton, (2006), “Advances in Unmanned Marine Vehicles”, The Institution of Electrical Engineering, 1st Edition, IET.

[8] Fossen T.I. (1994), “Guidance and Control of Ocean Vehicles”, 1st Edition, Univercity of Trondheim Norway.

[9] Do D.K., Pan J., (2009), “Control of Ships and Underwater Vehicles”, 1st Edition, Springer.

[10] Dukan F., (2014), “ROV Motion Control System”, Doctoral Thesis, Norwegian Univercity of Science and Technology.

[11] Kruegle H., (2006), “CCTV Surveillance”, 2nd Edition, Butterworth-Heinemann.

[12] Mastorakos M., (2012), “Ergonomic Control Panel Design for a Remotely Operated Agriculturel Tractor”, Master Thesis, Univercity of Manitoba.

[13] Wenke K. , Changde L., Xiaojie G., Minjiu Y., (2008), “Research on the Industrial Design Method Control of Panel Based on Man-Machine Enginerring Restriction”, CAID/CD 9th International Conference, 7-11, Kunming/China, 22-25 November.

[14] IEC 60529 Standart (1989), Degrees of protection provided by enclosures (IP Code).

[15] Web1, (2016) http://www.atakel.com/upload/Texts/429-atakel-apem-3000-series-hall-effect-industrial-joystick.pdf (Erişim Tarihi: 18/12/2016).

[16] Web2, (2016) http://www.atakel.com/upload/Texts/632-apem-a01-series-22mm-industrial-pushbutton.pdf (Erişim Tarihi: 18/12/2016).

[17] Web3, (2016) http://www.atakel.com/upload/Texts/3387-atakel-apem-q8-series-led-indicators-eng.pdf (Erişim Tarihi: 18/12/2016).

[18] Web4, (2016) http://www.vishay.com/docs/51036/p16pa16.pdf (Erişim Tarihi: 18/12/2016).

[19] Adam 4000, Data Acquisition Modules, User's Manuel.

[20] Jathar M. R., (2011) "RS485 based multi axis motor controller", (ICECT) 3rd International Conference, Kaynakumari/INDIA, 8-10 April.

[21] Dukan F., Sørensen A.J., (2012) "Joystick in Closed-loop Control of ROVs with Experimental Results", IFAC Proceedings Volumes, 45, 5, 293-300.

[22] Zhou C., Yang X., Luan G., (2005), "Fatigue properties of friction stir welds in Al 5083 alloy", Scripta Materialia, 53, 10, 1187-1191.

[23] Gedik D., (2008), "Aluminyum Yüzeyindeki Oksit Tabakasının Sodyum Dikromat Ve Sülfürik Asit Anodızıng Yöntemiyle Geliştirilmesi", Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi.

[24] Fatih Arslan (2013), Codesys ile PLC Programlama, 1. Baskı, Birsen Yayınevi.

[25] Web5,(2016 https://www.codesys.com/applications (Erişim Tarihi: 24/12/2016).

[26] IEC 61131-1 Standart (2003), Programmable Controllers.

[27] Taskin H., Ulu C., Altunkaya M.U., Canbak O., Yayla S., Balikci A., (2016), "MarmaROV Uzaktan Kontrollü İnsansız Sualtı Aracı için Softplc Temelli Kontrol ve Kullanıcı Arayüzü Yazılımı Tasarımı", TOK 2016 Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı, 705-710, Eskişehir/Türkiye, 29 Eylül-01 Ekim.

ÖZGEÇMİŞ

Said YAYLA 1989 yılında Kocaeli'nde doğdu. 2012 yılında Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mekatronik Mühendisliği Bölümünden mezun oldu. 2013 yılında yüksek lisans eğitimine Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında başladı. 2013 yılından bu yana TÜBİTAK MAM Enerji Ensitüsü'nde Araştırmacı olarak çalışmaktadır.

EKLER

Ek A: Analog Giriş Modül Adresleri

Channels

Variable	Mapping	Channel	Type	Unit	Description
		Current Value	ARRAY [0..7] OF WORD		Read Holding Registers
Application.Thruster_Gain_Y		Current Value[0]	WORD		READ 16#0000 (=0000...
Application.Thruster_Gain_X		Current Value[1]	WORD		READ 16#0001 (=0000...
Application.Dive_Gain		Current Value[2]	WORD		READ 16#0002 (=0000...
Application.Tether_Speed		Current Value[3]	WORD		READ 16#0003 (=0000...
Application.TMS_Brightness		Current Value[4]	WORD		READ 16#0004 (=0000...
Application.Light_Brightness		Current Value[5]	WORD		READ 16#0005 (=0000...
Application.Cam_Brightness		Current Value[6]	WORD		READ 16#0006 (=0000...
Application.Cam_Zoom		Current Value[7]	WORD		READ 16#0007 (=0000...
		Module Name	ARRAY [0..0] OF WORD		Read Holding Registers
Model16407_1		Module Name[0]	WORD		READ 16#00D2 (=002...

Şekil A1.1: 4017 1. Analog giriş modül adresleri.

Channels

Variable	Mapping	Channel	Type	Unit	Description
		Current Value	ARRAY [0..7] OF WORD		Read Holding Registers
Application.Joystick_PT_X		Current Value[0]	WORD		READ 16#0000 (=0000...
Application.Joystick_PT_Y		Current Value[1]	WORD		READ 16#0001 (=0000...
Application.ROV_Dive		Current Value[2]	WORD		READ 16#0002 (=0000...
		Current Value[3]	WORD		READ 16#0003 (=0000...
		Current Value[4]	WORD		READ 16#0004 (=0000...
Application.Joystick_ROV_Y		Current Value[5]	WORD		READ 16#0005 (=0000...
Application.Joystick_ROV_X		Current Value[6]	WORD		READ 16#0006 (=0000...
Application.Joystick_ROV_Z		Current Value[7]	WORD		READ 16#0007 (=0000...
		Module Name	ARRAY [0..0] OF WORD		Read Holding Registers

Şekil A1.2: 4017 2. Analog giriş modül adresleri.

Ek B: Dijital Giriş Modül Adresleri

Channels

Variable	Mapping	Channel	Type	Unit	Description
		DI Input Signal	ARRAY [0..1] OF BYTE		Read Coils
		DI Input Signal[...	BYTE		Read Coils
		Bit0	BOOL		READ 16#0000 (=0000...
Application.TRF_Control_Switch_B		Bit1	BOOL		READ 16#0001 (=0000...
Application.Button_4		Bit2	BOOL		READ 16#0002 (=0000...
Application.Button_3		Bit3	BOOL		READ 16#0003 (=0000...
Application.Button_2		Bit4	BOOL		READ 16#0004 (=0000...
Application.TMS_ROV_Lock_B		Bit5	BOOL		READ 16#0005 (=0000...
Application.TMS_Control_Switch_B		Bit6	BOOL		READ 16#0006 (=0000...
Application.TMS_Light_B		Bit7	BOOL		READ 16#0007 (=0000...
		DI Input Signal[...	BYTE		Read Coils
Application.Lights_B		Bit0	BOOL		READ 16#0008 (=0000...
Application.PT_Light_B		Bit1	BOOL		READ 16#0009 (=0000...
Application.PT_Reset_B		Bit2	BOOL		READ 16#000A (=000...
Application.Tether_Down_B		Bit3	BOOL		READ 16#000B (=000...
Application.Tether_Up_B		Bit4	BOOL		READ 16#000C (=000...
		Bit5	BOOL		READ 16#000D (=000...
		Bit6	BOOL		READ 16#000E (=000...
		Bit7	BOOL		READ 16#000F (=0001...
		Module Name	ARRAY [0..0] OF WORD		Read Holding Registers

Şekil B1.1: 4051 2. Dijital giriş modül adresleri.

Channels

Variable	Mapping	Channel	Type	Unit	Description
		DI Input Signal	ARRAY [0..1] OF BYTE		Read Coils
		DI Input Signal[...	BYTE		Read Coils
Application.Auto_Altitute_B		Bit0	BOOL		READ 16#0000 (=0000...
Application.Auto_Head_B		Bit1	BOOL		READ 16#0001 (=0000...
Application.Stable_Position_B		Bit2	BOOL		READ 16#0002 (=0000...
Application.Button_1		Bit3	BOOL		READ 16#0003 (=0000...
Application.Auto_Pitch_B		Bit4	BOOL		READ 16#0004 (=0000...
Application.Auto_Depth_B		Bit5	BOOL		READ 16#0005 (=0000...
Application.Emergency_B		Bit6	BOOL		READ 16#0006 (=0000...
		Bit7	BOOL		READ 16#0007 (=0000...
		DI Input Signal[...	BYTE		Read Coils
		Module Name	ARRAY [0..0] OF WORD		Read Holding Registers

Şekil B1.2: 4051 1. Dijital giriş modül adresleri.

Ek C: Dijital Çıkış Modül Adresleri

Channels

Variable	Mapping	Channel	Type	Unit	Description
		DO Readback Value	ARRAY [0..1] OF BYTE		Read Coils
		DO Readback Value[0]	BYTE		Read Coils
		Bit0	BOOL		READ 16#0000 (=...
Application.Depth_Limit_R		Bit1	BOOL		READ 16#0001 (=...
Application.Ground_Limit_R		Bit2	BOOL		READ 16#0002 (=...
Application.THR_Oil_Level_Low_R		Bit3	BOOL		READ 16#0003 (=...
Application.TRF_temperature_R		Bit4	BOOL		READ 16#0004 (=...
Application.TRF_Over_current_R		Bit5	BOOL		READ 16#0005 (=...
Application.THR_Bottle_Error_R		Bit6	BOOL		READ 16#0006 (=...
Application.Connection_Loss_R		Bit7	BOOL		READ 16#0007 (=...
		DO Readback Value[1]	BYTE		Read Coils
Application.TMS_Cable_Limit_R		Bit0	BOOL		READ 16#0008 (=...
Application.Object_Limit_R		Bit1	BOOL		READ 16#0009 (=...
Application.JBox_Oil_Level_Low_R		Bit2	BOOL		READ 16#000A (=...
Application.TMS_Oil_Level_Low_R		Bit3	BOOL		READ 16#000B (=...
Application.TRF_Over_voltage_R		Bit4	BOOL		READ 16#000C (=...
Application.MUX_Bottle_Error_R		Bit5	BOOL		READ 16#000D (=...
Application.Power_Bottle_Error_R		Bit6	BOOL		READ 16#000E (=...
Application.TRF_Status_R		Bit7	BOOL		READ 16#000F (=...
		DO Latch High Value	ARRAY [0..1] OF BYTE		Read Coils
		DO Latch Low Value	ARRAY [0..1] OF BYTE		Read Coils
		DO Output	ARRAY [0..1] OF BYTE		Write Multiple Coils
		Clear DO Latch Value	ARRAY [0..0] OF BYTE		Write Single Coil

Şekil C1.1: 7045 Dijital çıkış modül adresleri.