



**HAREKETLİ TARET SİSTEMLERİNDE ATIŞ İSTİKAMETİ
STABİLİZASYONU**

İsa ERDOĞAN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

AĞUSTOS 2019

İsa ERDOĞAN tarafından hazırlanan “HAREKETLİ TARET SİSTEMLERİNDE ATIŞ İSTİKAMETİ STABİLİZASYONU” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Doç. Dr. Ali SAYGIN

Elektrik Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi
Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Başkan: Prof. Dr. Okan BİNGÖL

Elektrik Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Isparta
Uygulamalı Bilimler Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Üye: Prof. Dr. Mahir DURSUN

Elektrik Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi
Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Tez Savunma Tarihi: 28/08/2019

Jüri tarafından kabul edilen bu çalışmanın Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum

.....

Prof. Dr. Sena YAŞYERLİ
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

İsa ERDOĞAN
28/08/2019

HAREKETLİ TARET SİSTEMLERİNDE ATIŞ İSTİKAMETİ STABİLİZASYONU
(Yüksek Lisans Tezi)

İsa ERDOĞAN

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Ağustos 2019

ÖZET

Hareketli atış sistemlerinde taret uygulamaları yaygın olarak kullanılmaktadır. Otonom atış sistemleri için hareket stabilizasyonu önem kazanmıştır. Bu tez çalışmasında taret sistemlerinin stabilizasyonu gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla hareket ekseninin merkezinde IMU (Inertial Measurement Unit) sensör kartından alınan jiroskop ve ivmeölçer ham değerleri gerçek zamanlı olarak okunmuştur. Okunan bu değerler yardımı ile yatay (azimut) ve yükselme (elevation) açıları hesaplanmıştır. Arazi şartlarındaki engebelerden kaynaklanan atış istikametindeki açı bozulmaları sistem girdileri olarak kullanılmıştır. Açıdaki hata ve hatanın türevi bulanık mantık denetleyicide kullanılarak, kural tablosu sisteme özgü tasarlanarak hassas ve daha kararlı bir stabilizasyon sistemi uygulaması gerçekleştirilmiştir. IMU sensörden analog bilgi okuma ve bulanık mantık denetleyici Raspberry PI3 işlemcide gerçek zamanlı yapılmış, bulanık mantık denetleyici çıkışı modbus-TCP haberleşme protokolü ile PLC ye aktarılmıştır. PLC servo sürücüler ile haberleşerek servo motorların istenen konuma hareketi sağlanmıştır. Servo motorlarda sağlanan hareket ile taret te bulunan yatay ve yükselme açıları coğrafi eğimden bağımsız şekilde stabilize edilmiştir.

Bilim Kodu : 90526
Anahtar Kelimeler : Stabilizasyon, Bulanık Mantık Denetleyici, Servo Motor
Sayfa Adedi : 45
Danışman : Doç. Dr. Ali SAYGIN

STABILIZATION OF FIRE DIRECTION IN MOVABLE TURRET SYSTEMS

(M. Sc. Thesis)

İsa ERDOĞAN

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

August 2019

ABSTRACT

Turret applications are widely used in mobile shooting systems. The importance of on-board turret systems in defence systems is rapidly increasing. In this thesis, stabilization of turret systems has been realized. For this purpose, gyroscope and accelerometer raw values obtained from IMU (Inertial Measurement Unit) sensor card are read in real time in the center of motion. The angles of elevation and azimuth were calculated using these values. By using fuzzy logic controller, error and error derivative at the angle, the rule table was designed for the system and a more stable and more stable stabilization system was implemented. Reading of analog data from IMU sensor and fuzzy logic controller is made in real time on Raspberry Pi computer, fuzzy logic controller output is transferred to PLC with modbus-TCP communication protocol. The PLC communicates with the servo drives and the servo motors are moved to the desired position. With the movement provided by servo motors, horizontal and elevation angles in the turret are stabilized independent of geographical slope.

Science Code : 90526
Key Words : Stabilization, Fuzzy Logic Control, Servo Motor
Page Number : 45
Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Ali SAYGIN

TEŞEKKÜR

Bu çalıőmanın yűrűtűlmesi sırasında deęerli bilgilerini benimle paylaőarak desteęini hiçbir zaman esirgemeyen danıőmanım Doç. Dr. Ali SAYGIN'a, yoęun çalıőmalarım sırasında gűsterdikleri sabır ve bana katlandıkları için aileme, çalıőmalarım sűresince verdikleri űmit ve destekleri için iő arkadaőlarıma ve çalıőmalarım sırasında kűuk ya da bűyűk yardımını esirgemeyen herkese teőekkűr ederim.



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	x
RESİMLERİN LİSTESİ.....	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. TARET SİSTEMLERİ VE STABİLİZASYON.....	5
2.1. Tarihçe.....	6
2.3. Silah Kulesi Çalışma Prensibi.....	7
2.4. Stabilizasyon	7
2.5. Atış Sistemlerinde Stabilizasyon.....	8
3. SİSTEM TASARIMI	11
3.1. Algılayıcılar (Sensörler).....	12
3.1.1. İvmeölçer.....	13
3.1.2. Jiroskop	13
3.1.3. Tamamlayıcı (Complimentary) filtre	13
3.2. Merkezi İşlem Birimi (Raspberry Pi) ve Yazılım	14
3.4. PLC ve Servo Sürücü Motor	17
3.5. PLC Yazılımı	19

Sayfa

3.6. Lexium Yazılımı	19
3.7. Modbus Haberleşmesi	20
4. UYGULAMA.....	23
4.1. Sensör Birimi	23
4.2. Raspberry Pi üzerinde Bulanık Mantık Denetleyici Uygulaması	25
4.3. Raspberry Pi – PLC Modbus Haberleşmesi.....	26
4.4. PLC	26
4.5. Servo Sürücü ve Motor	27
4.6. Sistemin Entegrasyon ve Testi	32
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	39
KAYNAKLAR	41
EKLER.....	43
EK-1. IMU Sensörü ham veri dönüşüm sensörleri	44
ÖZGEÇMİŞ	45

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1 Kural tablosu.....	17
Çizelge 4.1. L3GD20H modülü özellikleri.....	24



ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Taret çalışma eksenleri	7
Şekil 3.1. Sistem genel şeması	12
Şekil 3.2. Bulanık mantık denetleyici genel yapısı	16
Şekil 3.3. Yükseliş hatası için üyelik fonksiyonu	16
Şekil 3.4. Modbus TCP/IP mesaj formatı	22
Şekil 4.1. Yazılım akış diyagramı	25
Şekil 4.2. Modbus haberleşme kodu	26
Şekil 4.3. Referans ve düzeltme açısı değerleri	33
Şekil 4.4. Pozitif yönde test verisi	33
Şekil 4.5. Negatif yönde test	34
Şekil 4.6. -90 ve +90 Açısı hareketlerine ait çalışma diyagramı	34
Şekil 4.7. Referans "id" ve "iq" değerleri	35
Şekil 4.8. Gerçek "id" ve "iq" değerleri	35
Şekil 4.9. Pozisyon ve açısal hız arasındaki değişimi	36
Şekil 4.10. İstenilen hız ile gerçek hız kıyaslaması	37

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 2.1. 1980’li yıllarda Sovyet Donanması’na ait bir kule sistemi	5
Resim 2.2. Üzerinde Mızrak-30 tipi bir kule sistemi bulunduran zırhlı personel taşıyıcı	6
Resim 2.3. Kaptan Cowper Coles’in 1860’da önerdiği tasarım.	6
Resim 2.4. Tarihte kule stabilizasyonuna sahip ilk tank Leopard 1.	9
Resim 2.5. SARP (Uzaktan Komutalı Stabile Silah Sistemi).....	9
Resim 3.1. AltIMU-10 v5 IMU sensörü	13
Resim 3.2. Rasperry Pi.....	15
Resim 3.3. LMC058-LF42 PLC	18
Resim 3.4. LXM32MU Servo sürücü ve motoru.....	19
Resim 4.1. LSM303D modülü	24
Resim 4.2. SoMachine yazılım ethernet ayarları sayfası.....	26
Resim 4.3. SoMachine yazılımı	27
Resim 4.4. Lexium yazılımı temel ayar arayüzü	28
Resim 4.5. Redüktör dişli oranı	29
Resim 4.6. Enkoder çözünürlük ayar sayfası.....	30
Resim 4.7. Referans switch ayar sayfası.....	31
Resim 4.8. Can adres ve haberleşme hızı ayar sayfası	31
Resim 4.9. Motor parametreleri	32

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler

m	Metre
s	Saniye
msn	Milisaniye
g	Yerçekimi ivme

Kısaltmalar

Açıklamalar

AKS	Atış Kontrol Sistemi
CAN	Controller Area Network
ESP	Electronic Stabilization Program
dps	Degree per Second
FPGA	Field Programmable Gate Array
GHz	Gigahertz
GPS	Global Positioning System
IMU	Inertial Measurement Unit
IoT	Internet of Things
I2C	Inter-integrated Circuit
Kbps	Kilobit per Second
MEMS	Micro-Electro-Mechanical Systems
OEM	Original Equipment Manufacturer
OSI	Open Systems Interconnection
PID	Proportional Integral Derivative
PLC	Programmable Logic Controller
PI	Proportional Integral
RTU	Remote Terminal Unit
TCP/IP	Transmission Control Protocol/Internet Protocol

Kısaltmalar

Açıklamalar

TORCS

The Open Racing Car Simülator

SPI

Serial Peripheral Interface



1. GİRİŞ

Ülkelerin savaş tehditlerine karşı geliştirdikleri silah sistemleri her geçen gün artmakta ve çeşitlenmektedir. Silah kule sistemleri taktik kara araçlarında veya gemilerde bulunan, havadan ya da karadan gelecek olan tehditlere karşı kullanılan sistemlerdir. Tehdit unsurlara karşı savunma geliştirmek isteyen devletler bu konudaki çalışmalarını gizlilik ile yürütmektedirler. Silah kule sistemlerinden beklenen, hedefin yüksek isabetle ve doğru zamanda vurulmasıdır. Sabit yada hareketli bir hedefin tam isabetle vurulması atış kontrol sistemlerinde stabilizasyon problemi.

Silah kule(taret) sistemleri önceleri manuel (el ile) hareket ettirilerek kullanılmıştır. Gelişen teknoloji ile birlikte çeşitli kontrol yöntemleri devreye girmiş, taret sistemlerinin kontrolü otomatik olarak sağlanmaya başlamıştır. Otomatik kontrol ile insan kaynaklı hatalar minimuma indirilmiş, atış isabeti artmıştır. Atış sistemi kontrolü için ise başlarda PID gibi çeşitli doğrusal kontrol algoritmaları kullanılmıştır. Atış kontrol sistemlerinin davranışı doğrusal olmadığından bu algoritmalar yetersiz kalmış ve farklı algoritmalar üzerine çalışılmıştır. Atış sistemlerinin kontrolü yükseliş (elevation) ve yatay (azimut) olmak üzere iki eksen de değerlendirilmektedir. Bu iki eksenin kontrolü için çeşitli motorlar kullanılmaktadır.

Atış kontrol sistemlerinde karşılaşılan en önemli problem, farklı bozucu etkilere karşı stabilizasyonun sağlanmasıdır. Bozucu etkiler, dâhili ve harici olmak üzere ikiye ayrılır. Dâhili bozucu etkiler platformun yapısından meydana gelmektedir. Bozunum, platformun kütsel dengesizliğinden ya da platform dinamiklerinden kaynaklanabilir. Dahili bozucu etkilerden kurtulmak için ise en iyi yol platform modelini iyi tasarlayıp sonrasında analiz yapılmasıdır. Harici bozucu etkiler ise engebeli yüzey şekilleri ve rüzgâr gibi çevre şartlarından doğan önceden kestirimi zor olan durumlardır. Atış sistemlerinin performansı doğrudan stabilizasyona faktörüne bağlıdır.

Çeşitli taret platformlarında atış sistemlerinin ve diğer sistemlerinin stabilizasyonu için birbirinden farklı kontrol metotları birçok çalışmada tartışılmıştır. Tankın hareket halinde iken isabetli atışın yapılması için çalışma yapılmıştır [1]. Bu kapsamda tank namlusuna yerleştirilen kameradan tespit edilen hedefin, oluşturulan yazılım vasıtası ile takibi

doğrultusunda, bilgisayarda üretilen bir hareket planının servo motorların konumlanmasını gerçekleştirerek, namlunun hedefi takip etmesi sağlanmıştır. Yazılımdaki görüntü işleme kısmı OpenCv Kütüphanesi kullanılarak yapılmış olup servo motorların kontrolü ise PLC üzerinden sağlanmıştır. Ayrı bir çalışmada iki eksen gimbal yapıları için jiroskop verileri kullanılarak bulanık mantık kontrolcüsü tasarlanmıştır [2]. Jiroskop verileri Kalman Filtresi yardımı ile anlamlı hale getirilerek sistemde kullanılmıştır. Sistemin pratik uygulaması yapılmış olup sonuçları incelendiğine sistemin başarılı bir şekilde çalıştığı görülmüştür. İki eksenli platform sistemleri için ise kayma kipli kontrolcü tasarımı yapılmıştır [3]. Sistemin mekanik ve elektrik yapısı tasarlanarak uygulama gerçekleştirilmiştir. Farklı bir çalışmada İki eksen gimbal sistemi tasarımı yapılarak ardından çeşitli bozucu etkilerin sistem performansına yansımaları gözlenmiştir [4]. Gimbalin iç ve dış eksenleri için kinematik ve dinamik denklemleri çıkartılmıştır. Sisteme uygulanan bozucu kaynaklar ise sensör gürültüsü, dinamik dengesizlik ve statik dengesizlik olmuştur. Çalışmaya göre en önemli bozucu etki sürtünme etkisidir. Simülasyon, Matlab ortamında yapılmıştır ve sonuçları tartışılmıştır. Çalışmaların bir diğerinde ise kendinden ayarlamalı PID tipi bulanık mantık denetleyicisi kullanılarak stabilizasyon işlemi yapılmıştır [5]. Lagrange denklemleri kullanılarak matematiksel model elde edilmiştir. Yapılan çalışma geleneksel PI denetleyicisi ile karşılaştırılmıştır. Bulanık mantık denetleyicili PID kontrolcününün PI kontrolcüye göre daha doğru sonuçlar verdiği saptanmıştır. Benzer çalışmalardan birinde ise silah-taret sisteminin hedef takibinin geliştirilmesine yönelik çalışma yapılmıştır [6]. İki eksen için hareket denklemleri çıkartılmış, kontrolcü olarak ise PID kullanılmıştır. Benzetim çalışması Matlab/Simulink ortamında yapılmıştır. Otonom kara araçların kontrolü için ise bulanık mantık tabanlı kontrol sistemi tasarlanmıştır [7]. Tasarlanan bulanık mantık kontrolcü ile hedeflenen, aracın hiçbir zarar almadan ve pist dışına çıkmadan yarışı tamamlamasıdır. Tasarlanan sistem TORCS (The Open Racing Car Simülator) oyun ortamında test edilmiştir. Diğer bir çalışmada bulanık mantık kontrolcüsü FPGA kullanılarak tasarlanmıştır [8]. Sistemin benzetimi FPGA kartı ve Matlab programı kullanılarak donanım tabanlı benzetim yoluyla yapılmıştır. Aynı kontrolcü Matlab Fuzzy Logic Toolbox kullanılarak da tasarlanmıştır. İki yapı kıyaslandığında FPGA üzerinde çalışan kontrolcününün daha başarılı olduğu saptanmıştır. Benzer çalışmalardan birinde ise bulanık mantık denetleyicisi ile silah kontrol sisteminin tasarlanması anlatılmıştır [9].

Literatür incelendiğinde stabilizatör çalışmaları özellikle gimbal yapıları üzerinde yoğunlaşmıştır. Kontrolcü olarak ise genelde doğrusal kontrol yöntemleri kullanılmıştır.

Yapılmış çalışmalar arasında atış sisteminin stabilizasyonunu kapsayan çok fazla çalışma bulunamamıştır. Atış sistemleri savunma sanayinde ticari ürün olduklarından faydalanabilecek kaynak sayısı da azdır. Atış kontrol sisteminin stabilizasyonu, yükselme (elevation) ve yönelme (azimut) eksenlerinin kontrolü ile mümkün olur. Atış kontrol sistemleri platform yapıları sebebi ile doğrusal değildir. Böyle sistemlerde doğrusal olmayan sistemlere uygun kontrolcülerin kullanılması hedefin doğru vurulma oranını arttıracaktır.

Bu çalışmada taret sistemlerinde kullanılan atış sistemlerinin stabilizasyonu gerçekleştirilmiştir. Platform üzerine IMU sensörü yerleştirilerek güncel açı değerleri ölçülmüştür. Açı değerlerinin ölçümü için IMU sensörü üzerinde bulunan ivmeölçer ve jiroskoptan faydalanılmıştır. Tamamlayıcı filtre kullanılarak en doğru açı değerleri bulunmuştur. İstenilen(hedef) açı değeri kullanıcı tarafından belirlenmiş, stabilizatörün hedef açı değerlerinde istikrarlı olması sağlanmıştır.. Sistemde kontrolcü olarak doğrusal olmayan sistemler ile daha düzgün çalışan bulanık mantık denetleyicisi kullanılmış ve literatüre katılmıştır. Hedef açı değerleri ile gerçek açı değerleri kıyaslanarak, aradaki fark hata olarak bulanık mantık denetleyicisinde giriş değişkeni olarak verilmiştir. Yükselme ve yönelme eksenlerinin hareketi için iki adet servo motor kullanılmıştır. Çalışma aralığı geniş bir açı skalasında ele alınarak yükselme ve yönelme eksenleri için hareket aralığı $-90/+90$ derece alınmıştır.



2. TARET SİSTEMLERİ VE STABİLİZASYON

Silah kulesi sistemleri, genellikle gemilerin ya da taktik kara araçlarının (tank, obüs, zırhlı personel taşıyıcı) üzerinde, hava ve kara tehditlerine ve asimetrik tehditlere karşı kullanılan sistemlerdir. Bunun yanında sabit tesislerde de kullanılabilirler. Kule üzerinde çok farklı askeri donanım bulundurabilirler. Bunlardan bazıları makineli tüfek, bomba atar ya da top olabilir. Tanklarda topun makine bölümünü ve topçuları koruyacak bir şekilde tasarlanır ve zırhlıdır. Resim 2.1’de 1980’li yıllarda Sovyet Donanmasında kullanılan bir kule sistemi gösterilmektedir.

Geçmişte gemilerdeki kule sistemleri dönme hareketini gerçekleştiremiyorlardı. Bunun yerine farklı bir çözüm olarak bir taretin içine birden fazla top yerleştirerek bu sorunu aşmaya çalışmışlardır. Ancak gelişen teknolojiyle günümüzde bu sorun aşılmıştır. Kule sistemleri yatayda ve dikeyde tasarımsal açıdan bir problem olmadığı sürece istenilen açılarda hareket ettirilebilmektedir. Resim 2.2’de üzerinde Mızrak-30 tipi bir kule sistemi bulunduran zırhlı personel taşıyıcı gösterilmiştir.



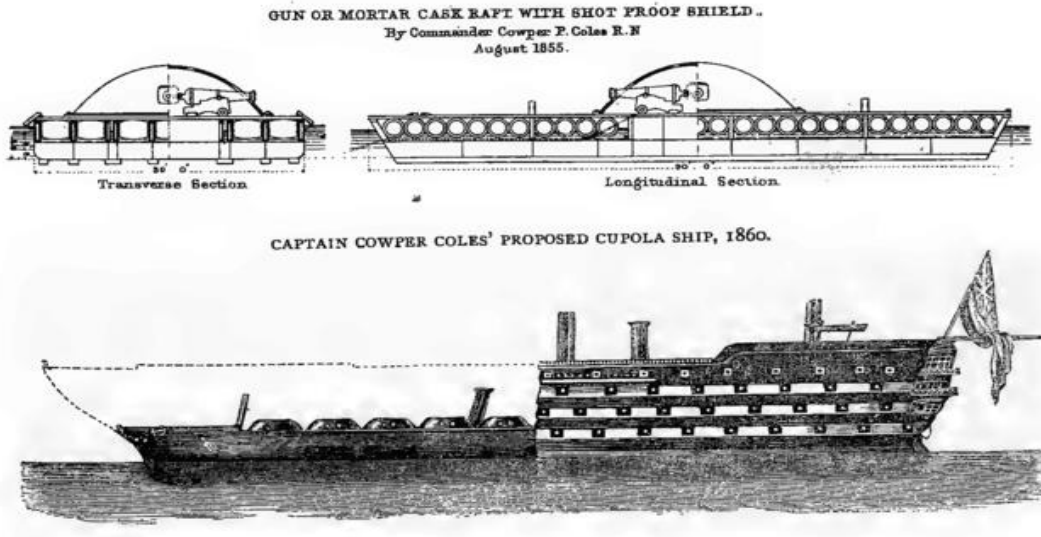
Resim 2.1. 1980’li yıllarda Sovyet Donanması’na ait bir kule sistemi



Resim 2.2. Üzerinde Mızrak-30 tipi bir kule sistemi bulunduran zırhlı personel taşıyıcı

2.1. Tarihçe

Dönen bir silah taretinin tasarımları 18. yüzyılın sonlarına dayanmaktadır. 19. yüzyılda, Kırım Savaşı sırasında Kaptan Cowper Coles bir “Silah Kulesi” tasarımı yapmış ve savaştan sonra “Dönen Taret Tasarımı” patentini almıştır. Resim 2.3’de Kaptan Cowper Colesin tasarladığı kule sistemi gösterilmiştir.

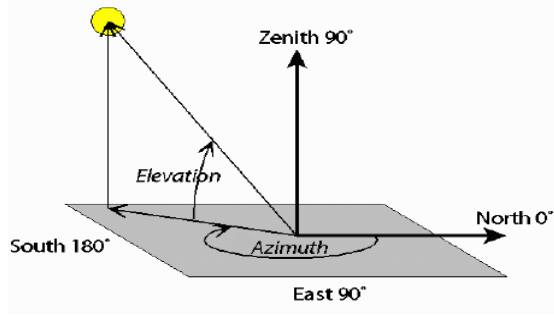


Resim 2.3. Kaptan Cowper Coles’in 1860’da önerdiği tasarım

2.2. Silah Kulesi Çalışma Eksenleri

Silah kuleleri yatay ve dikey olmak üzere iki eksende çalışırlar. Yatay eksenindeki hareketin ismine “Azimuth” adı verilir ve taret dişlisi kılavuzluğunda bütün kule döner. Dikey eksenindeki hareket ise kulenin silahı için geçerlidir. Makineli tüfek ya da top dikey olarak

belirlenen açılarda hareket yapar ve bu hareketin ismine “Elevation” denir. Şekil 2.1’de taret çalışma eksenleri gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Taret çalışma eksenleri

2.3. Silah Kulesi Çalışma Prensipleri

Silah kuleleri manuel (el ile), elektrikli ya da uzaktan kontrollü olarak olarak çalıştırılabilirler. Manuel kontrolde bütün iş tamamen tarette bulunan topçundur. Ancak elektrikli kulelerde durum bundan farklıdır. Elektrikli ve bilgisayar kontrollü kulelerde kule hareket için iki adet servo motora ihtiyaç duyar. Servo motorların biri taret hareket ettirirken diğeriyle istenilirse silah sistemi hareket ettirilebilir.

2.4. Stabilizasyon

Stabilizasyon kelimesi Fransızca kökenli olup anlam olarak denge, istikrar gibi anlamları vardır. Stabilizasyon günümüzde çeşitli bilim ve uygulama dallarının ilgi konusu olup, bilişim, otomotiv, havacılık, denizcilik, savunma teknolojileri gibi çok farklı alanlarda kullanılmaktadır. Araçlarda kullanılan elektronik stabilizasyon programı (ESP), hareket algılayıcı sensörlerle desteklenmiş gimbal kamera sistemleri, insansız hava araçları, otomatik pilot uygulamaları, uzun ve orta menzilli füze sistemleri, uydu haberleşme sistemleri stabilizasyonun uygulama alanlarına güzel birer örnektir [10-11]. Stabilizasyon zırhlı kara araçlarında Atış Kontrol Sisteminin (AKS) bir paçası olarak ele alınır. Atış kontrol sistemleri, atış kontrol bilgisayarı, el ile kontrol bölümü, güç kontrol birimi, konumlama sistemi ve servo motorlar-sürücüler gibi bölümlerden oluşur.

2.5. Atış Sistemlerinde Stabilizasyon

Günümüzde veya gelecekte icra edilecek olan muharebelerde duran birliklerin yerine yüksek hareket kabiliyetine sahip birliklerin alması öngörülmektedir. Zırhlı birliklerin hareketli olması düşman kuvvetlerine kolay hedef olmalarını engelleyecek hem de düşman üzerindeki tesirini arttıracaktır. Sürekli hareket halinde olan bir silah sistemi değişik/bozuk yol ve arazi şartlarında sürekli sarsılmakta veya konum değiştirmektedir. Bu bozucu etkilerle birlikte silah sistemlerini kullanan nişancıların vuruş yüzdelerinin yüksek olması son derece zorlaşmaktadır. Hareket halinde olan bir silah sistemini kullanan nişancının vuruş yüzdesi yüksek atışlar yapmasını sağlamak amacıyla silahın sürekli hedef bölgesinde ve sabit bir şekilde durması gerekmektedir [12,-13].

Gelişen teknolojiyle birlikte kule sistemlerinde farklı ekipmanlarla beraber farklı gelişmeler yaşanmıştır. Bunlardan en önemlilerinden biri kule stabilizasyon sistemidir. Stabilizasyon terimi tanım olarak “durmuş, oturmuş olma durumu, düzenlilik içinde sürüp gitme” anlamına gelmektedir. Bu sistemlerde silah kulesi, hedefe konsantre bir durumdadır. Yani, kuleyi taşıyan vasıta hareket etse dahi kulenin üzerinde bulunan silah hedefe konsantre olmaya devam etmektedir. Silah kulesi bu olayı yardımcı sensörler ve yazılan yazılımla birlikte yapmaktadır. Bu kontrol sisteminde PID kontrol kullanılmaktadır ve ilk örneklerini Almanya menşeli meşhur bir tank olan Leopard 1’in silah kulesinde görülmektedir. Resim 2.4’de ilk kule stabilizasyonuna sahip Leopard 1 tankı gösterilmiştir. Resim 2.5’de ise SARP(Uzaktan Komutalı Stabilize Silah Sistemi) gösterilmiştir.



Resim 2.4. Tarihte kule stabilizasyonuna sahip ilk tank Leopard 1.



Resim 2.5. SARP (Uzaktan Komutalı Stabile Silah Sistemi)

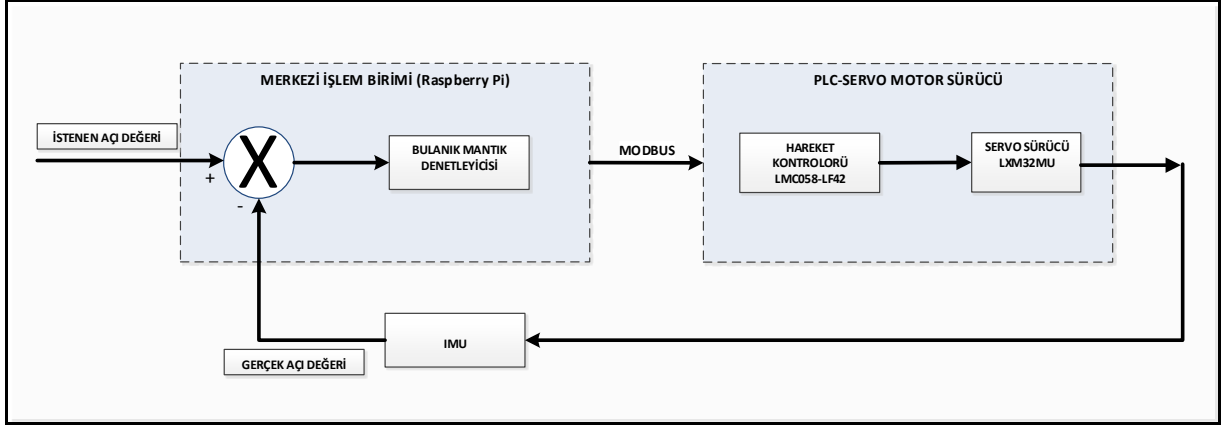


3. SİSTEM TASARIMI

Bu bölümde, sistem tasarımı detaylı olarak anlatılmıştır. Sistem genel şeması Şekil 3.1.'deki gibidir. Sistem altı ana bileşenden meydana gelmektedir. Bunlar aşağıdaki gibidir:

- Algılayıcılar (Sensörler)
- Merkezi İşlem Birimi (Raspbery Pi) ve Yazılım
- Bulanık Mantık Denetleyici
- PLC ve Servo Sürücü-Motor
- PLC Yazılımı
- Lexium Yazılımı
- Modbus Haberleşmesi

Sensör kartından elde edilen ivmeölçer ve jiroskop verileri kullanılarak anlık açı değerleri elde edilmiştir. Elde edilen bu değerler I²C veriyolu ile işlemciye aktarılmıştır. İşlemciye aktarılan sensör ham veri değerlere işlenerek bulanık mantık denetleyicisine girdi olarak sağlanmıştır. Bulanık mantık denetleyici ile sensör işleme yazılım bölümü aynı işlemcide çalıştırılmıştır. Bulanık mantık denetleyicisinden elde edilen optimal değer Raspbeery Pi üzerinden Modbus haberleşmesi ile PLC'ye aktarılmıştır. PLC ile servo motor hareket ettirilmiştir. Şekil 3.1'de sistemin genel şeması verilmiştir. Merkezi işlem birimi ve PLC-Servo motor sürücü kısmı iki alt sistem olarak ele alınmıştır. Aradaki haberleşme ise Modbus TCP/IP protokolü ile sağlanmıştır. IMU sensöründen veri okuma ve bulanık mantık denetleyicisi işlemleri merkezi işlem birim altında Raspbery Pi tarafında yapılmıştır. Merkezi İşlem Biriminden elde edilen ve motora aktarılacak değerler modbus haberleşmesi ile PLC-Servo Motor Sürücü bölümüne aktarılmıştır.



Şekil 3.1. Sistem genel şeması

3.1. Algılayıcılar (Sensörler)

Oluşturulan sistemde sensör olarak IMU(Inertial Measurement Unit) kartı kullanılmıştır. IMU farklı sensörleri içinde bulunduran tümleşik bir karttır. IMU içerisinde 3 eksenli bir ivmeölçer, 3 eksenli bir jiroskop ve 3 eksenli bir manyometre vardır. IMU sadece bir sensör değil, birden fazla sensörden gelen verileri birleştiren, sensör füzyon yazılımını içinde bulunduran bir elektronik karttır. Genelde yönlendirme ya da rota ölçümleri sağlamak için kullanılır. IMU'lar için yaygın uygulamalar arasında bir GPS sisteminde yön belirleme, cep telefonları ve video oyunu uzaktan kumandaları gibi tüketici elektroniği hareketlerini izleme veya bir kullanıcının AR (artırılmış gerçeklik) ve VR (sanal gerçeklik) sistemlerindeki kafa hareketlerini izlemesi bulunur. Bu hareket ve oryantasyon bilgisi ayrıca bir insansız hava aracının dengesini korumak, robot süpürgenizin başlığını ve diğer IoT ve bağlı ev cihazlarını iyileştirmek için de olabilir. Sistemde IMU kartının içinde barındırdığı ivmeölçer ve jiroskop sensörü kullanılmıştır. Tasarlanan sistemde Pololu firmasının AltIMU-10 v4 modeli IMU kartı kullanılmıştır. Bu kart üzerinde jiroskop (L3GD20H) ve ivmeölçer (LSM303D) ve manyetometre ve barometre (LPS25H) vardır. I2C veri yolu kullanılarak sensörlere erişim sağlanır. L3GD20H, LSM303D ve LPS25H'nin her birinin I²C veri yolu için ayrı ayrı adresleri vardır. I²C veri yolu kullanılarak sensörlere ait gerekli ayarlamalar yapılır. Sensörlerden yönelme (azimut-x) ve yükselme (elevation-y) olarak iki eksen için veri elde edilmiştir [14]. Resim 3.1'de AltIMU-10 v5 IMU sensörü gösterilmiştir.



Resim 3.1. AltIMU-10 v5 IMU sensörü

3.1.1. İvmeölçer

İvmeölçer belirli bir yönde doğrusal hızlanmayı (hız değişimini) ölçer. Bu ivme cismin üzerine düşen statik (yerçekimi) veya dinamik (hızlanma, yavaşlama) ivme olabilir. Sensörden elde edilen değer m/s^2 ve ya yer çekimi (g) olabilir. Normal şartlarda $1g$ 'lik bir yer çekimi kuvveti etki etmektedir. İvmeölçer x, y ve z eksenlerinde olmak üzere üç eksende ölçüm yapar. İvmeölçer cisim hareketsiz iken bile ölçüm yapar, sabit konumda iken z ekseninde ' $1g$ ' (yerçekimi) ivme ölçülür. Cisim harekete başladığında hareket yönüne göre ivme değişmekte ve ölçüm yapılmaktadır. İvmeölçerlerin genel çalışma prensibi kütle yay sistemini baz almaktadır. İvme ölçme prensibi Hooke Yasası ve Newton'un birinci hareket kanununa dayanır. Bu kanuna göre hareketsiz cisimler hareketsiz kalma, hareketli cisimler ise hareket etme eğilimindedir. IMU'da ivmeölçer sensörü için LSM303D entegresi kullanılmıştır.

3.1.2. Jiroskop

Mekanik bir jiroskop tipik olarak, bağlandığı eksenlerin herhangi bir yönde serbestçe hareket edebildiği bir döner diskten oluşur. Bir MEMS jiroskopu mekanik jiroskoba çok benzer, ancak dönen disk yerine bir tür titreşimli rezonatör vardır. Jiroskop 3 ekseninde açısal hızı ölçmeye yarayan bir sensördür. Birim olarak dps (degree per second) kullanılmaktadır.

3.1.3. Tamamlayıcı (Complimentary) filtre

Jiroskop ve ivmeölçerde alınan verileri birleştirip kullanmak için çeşitli sensör füzyon algoritmaları geliştirilmiştir. Jiroskop ve ivmeölçerin ayrı ayrı göndermiş olduğu ham veriler yüksek doğrulukta veriler değildir. Çünkü jiroskop ve ivmeölçer eğimsel sapma (bias,

drift) adı verilen bir sapma yapar. Bundan dolayı hassas açı ölçümünde tek başlarına kullanılmaları tercih edilmez. Ayrıca ivmeölçer verisi kuvvete karşı çok duyarlı olduğundan en küçük hareket ve titreşimlerde bile etkisi yüksek gürültüler oluşturmaktadır. Jiroskop ise bu kuvvetlerden etkilenmemektedir. Tamamlayıcı filtre algoritması ile iki sensörden gelen verilerin birleştirilmesi amaçlanmıştır. Filtre için aşağıdaki matematiksel denklem kullanılmıştır [15,16]. Eşitlik 3.1’de tamamlayıcı filtre formülü verilmiştir.

$$Açı = (a) * (Jiroskop_Açısı+Açı) + (1-a) *(İvmeölçer_Açısı) \quad (3.1)$$

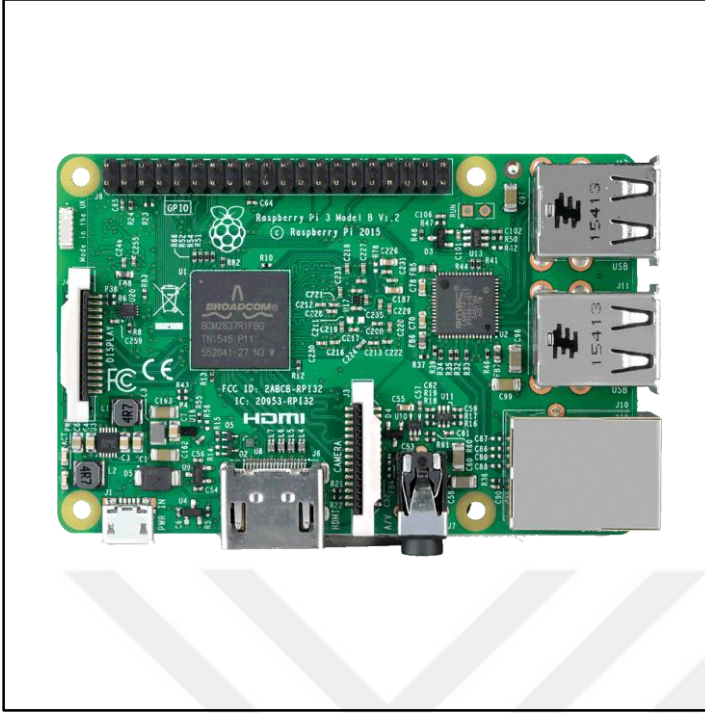
“a” değeri filtre katsayısı olup, 0.98 olarak alınmıştır. İvmeölçer açısı katsayı değeri için ise 0.02 olmuştur.

3.2. Merkezi İşlem Birimi (Raspberry Pi) ve Yazılım

Elektronik geliştirme kartı olarak Rasperry Pi kartı tercih edilmiştir. Bu kart Raspberry Pi Vakfı tarafından sürekli geliştirilmekte ve yeni yazılımlar eklenmektedir. Raspberry Pi'nin çekirdek yazılımını iyileştiren yıllarca süren çalışma Raspbian adında varsayılan bir işletim sistemi oluşturuldu. Bu sadece Raspberry Pi donanımdan en iyi sonucu almakla kalmıyor, aynı zamanda ücretsiz yazılımla da geliştiricileri desteklemektedir.

Raspberry Pi, İngiltere tarafından geliştirilmiş, tek bir boarddan oluşan mini bir bilgisayardır. Çeşitli çevre birimleri sayesinde farklı işlerde kullanılmak üzere dizayn edilmiştir. Kolay erişilebilir olması ve fiyatının ucuzluğundan ötürü günümüzde çok sık tercih edilmektedir. Ürün 2009 yılından beri Raspberry Pi Foundation tarafından geliştirilmektedir. İlk satışı 29 Şubat 2012'de başlamıştır. 20 Nisan 2012 tarihinden itibaren Raspberry Pi'nin A ve B modelleri açık kaynak olarak kullanıma sunulmuştur. Kaynak kodlarına, kütüphanelere ve devre çizimlerine kolayca ulaşılabilir.

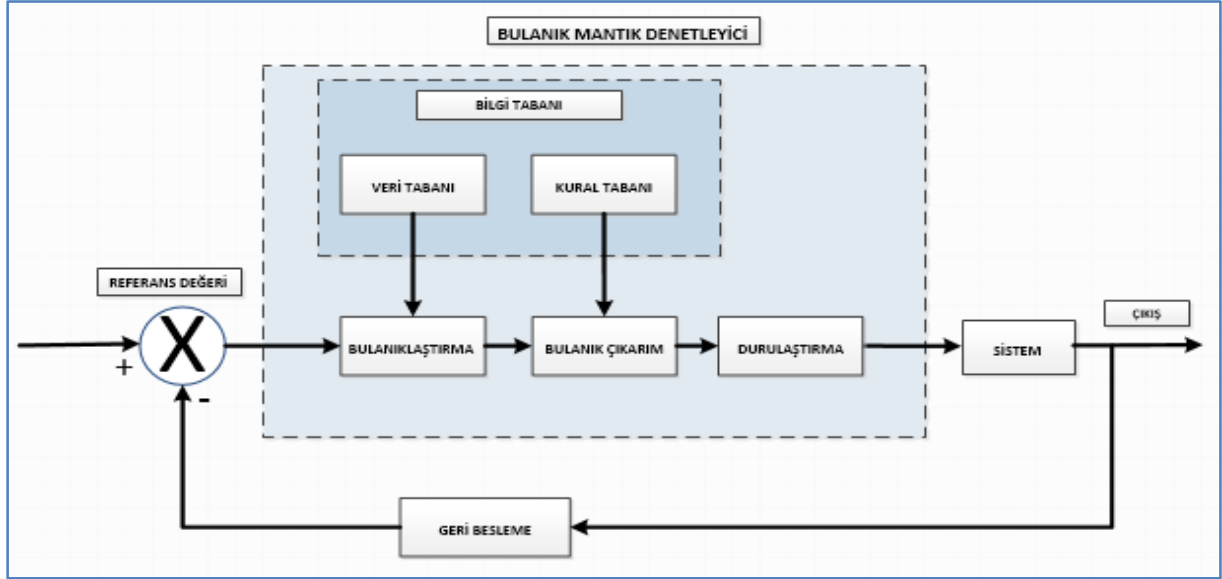
Raspberry Pi 3 B, Raspberry Pi 3 serisinin son ürünüdür. Raspberry Pi 3 B+ üzerinde 1.4GHz'de çalışan, 4 çekirdekli 64-bit bir işlemci bulunmaktadır. Çift-Band 2.4GHz ve 5GHz kablosuz yerel ağ bağlantısına sahip Raspberry Pi 3 B+ üzerinde Bluetooth 4.2 / BLE de bulunmaktadır Daha hızlı internete sahip olan Raspberry Pi 3 B PoE Hat desteği de mevcuttur [17]. Resim 3.2’de Raspberry Pi kartı gösterilmiştir.



Resim 3.2. Rasperry Pi

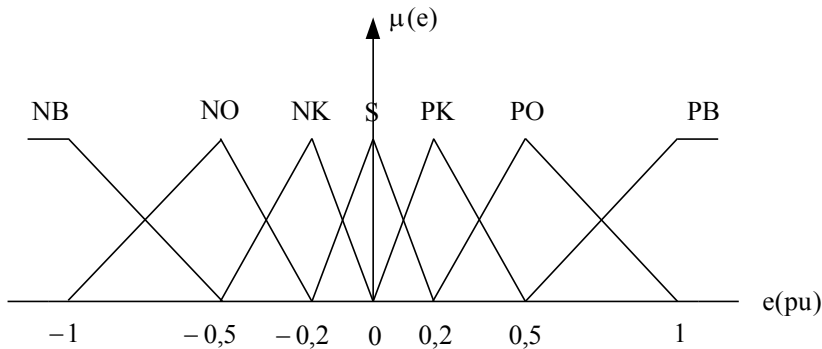
3.3. Bulanık Mantık Denetleyicisi

Bulanık mantık denetleyici, dinamik bir sistemin matematiksel modeli yerine, dilsel değişkenler içeren, bulanık kurallarla tanımlanan ve uzman deneyimiyle oluşan bir sistemdir. Bulanık mantık denetleyici bulandırma, karar verme, durulama ve bilgi tabanı olmak dört ana birimden oluşur. Bulandırma birimi, sistemden alınan giriş bilgilerini dilsel niteleyiciler olan sembolik değerlere dönüştürme işlemidir. Üyelik işlevinden faydalanılarak giriş bilgilerinin ait olduğu bulanık kümeleri ve üyelik derecesi tespit edip, girilen sayısal değere küçük, en küçük gibi dilsel değişken değerler atanır. Karar verme birimi, bulandırma biriminden gelen bulanık değerleri, kural tabanındaki kurallar üzerinde uygulayarak bulanık sonuçlar üretilmektedir. Durulama birimi, karar verme biriminden gelen bulanık bir bilgiden bulanık olmayan ve uygulamada kullanılacak gerçek değer elde edilmesini sağlar. Şekil 3.2’de bulanık mantık denetleyici genel yapısı gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Bulanık mantık denetleyici genel yapısı

Bulanık mantık denetleyicide, yükseliş hatası, yükseliş hatasındaki değişim ve çıkış kontrol değişkeni üyelik fonksiyonu değerleri 7 dilsel etiket ile ifade edilmiştir. Bunlar; NB(Negatif Büyük), NO(Negatif Orta), NK(Negatif Küçük), S(Sıfır), PK(Pozitif Küçük), PO (Pozitif Orta) ve PB (Pozitif Büyük) dür. Bu uygulamada üyelik derecelerinin belirlenmesinde üçgen üyelik fonksiyonu kullanılmıştır. Şekil 3.3’de yükseliş hatası için üyelik fonksiyonu gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Yükseliş hatası için üyelik fonksiyonu

Durulaştırma işleminde toplamların ortalaması yöntemi kullanılmıştır. Matematiksel olarak karşılığı ise denklem 3.2’de verilmiştir. Kural tablosu olarak Çizelge 3.1’deki tablo kullanılmıştır.

Çizelge 3.1 Kural tablosu

Kural Tablosu	nb	no	nk	s	pk	po	pb
nb	-6	-6	-3	-2	-1	-0.5	0
no	-6	-3	-2	-1	-0.5	0	0.5
nk	-3	-2	-1	-0.5	0	0.5	1
s	-2	-1	-0.5	0	0.5	1	2
pk	-1	-0.5	0	0.5	1	2	3
po	-0.5	0	0.5	1	2	3	6
pb	0	0.5	1	2	3	6	6

$$z^* = \frac{\left(\int X z_i \sum_{i=1}^n \mu_C(z_i) dz_i \right)}{\left(\int X \sum_{i=1}^n \mu_C(z_i) dz_i \right)} \quad (3.2.)$$

3.4. PLC ve Servo Sürücü Motor

Servo herhangi bir mekanizmanın işleyişini hatayı algılayarak yan bir geri besleme düzeneğinin yardımı ile denetleyen ve hatayı gideren otomatik cihazdır. Küçük çaplı ve genel olarak içinde kompanzasyon sargısı olan, kuvvetli manyetik alanlı, boyu uzun doğru akım motorlarına servo motor denir. Servo motorlar, kullanım amacına uygun olarak motor hız kontrolü, motor tork kontrolü veya motor konum(pozisyon) kontrolü olarak sınıflandırılır. Servo motor konum kontrolünde motor üzerinde bulunan konum sensörü (enkoder) bilgilerine ve çözünürlüğüne bağlı olarak hız, moment ve pozisyon kontrolü gerçekleştirilmektedir.

AC fırçasız servo motor üzerinde iki tane konnektör girişi bulunur. Bunların biri encoder kablosu girişi diğeri ise enerji soketidir. Motor ve sürücü uyumlu istemlerde sürücüye gönderilen komutlar dahilinde hareket gerçekleştirilmektedir. Sürücü için hazırlanan bilgisayar kullanıcı arayüzü ile dijital giriş ve çıkış adresleri ile analog giriş ve çıkış adresleri işaretlenmektedir. Ayrıca lojik seviye durum bilgisine göre komutların çalışması kodlanmaktadır. Enkoder çözünürlüğü ve mevcut denetleyici kazançları ayarlandıktan sonra

sürücü PLC'den gelecek emirlere göre hareket etmektedir. Opsiyonel olarak takılan geçici paneller kullanılarak el ile kontrolde gerçekleştirilebilir.

Motor hareketinin kontrolü için Schneider Electric firmasının LMC058-LF42 modeli PLC kullanılmıştır. Schneider LMC058 PLC'si, otomasyon fonksiyonları dahil olmak üzere eksen kontrolü ve konumlandırma için kullanılacak en uygun çözümlerden biridir. Bu PLC, senkronize işler gerektiren, paketleme, taşıma ve depolama makineleri, metal ve ahşap işleme makineleri gibi uygulamalara odaklanan ve hız kontrolü, sayma, eksen kontrolü ve haberleşme için yüksek performanslı çözümler sunan makine üreticileri (OEM'ler) için tasarlanmıştır. Standart olarak içinde CANopen master ve CANmotion master (8 eksen aynı anda kontrol edilebilir) barındırır. 42 adet dijital giriş ve çıkışa sahip olan bu cihaz 4 adette analog giriş içerir. Kullanılan PLC Resim 3.3'de gösterilmiştir. LMC058 PLC'si eksen senkronizasyonunu gerçekleştirmektedir ve sekiz senkronize eksene kadar kontrol gerektiren uygulamalar için kullanılabilir.



Resim 3.3. LMC058-LF42 PLC

Projede servo motor ve sürücü olarak Schneider Firmasının LXM32MU serisi cihazları kullanılmıştır. Bu sürücü mevcut CANopen, CANmotion, DeviceNet, Profibus DP, PROFINET, EtherNet / IP, Modbus-TCP ve EtherCAT modülleri ile uyumludur. Kullanılan servo sürücü ve motor Resim 3.4'de gösterilmiştir.



Resim 3.4. LXM32MU Servo sürücü ve motoru

3.5. PLC Yazılımı

PLC'yi programlamak için Schneider Elektrik Firmasına ait SoMachine Programı kullanılmıştır. SoMachine, hareket kontrol, aktarma organları tasarım araçları, program geliştirme, HMI geliştirme, devreye alma, teşhis gibi tüm programlama ve mühendislik uygulamalarının tek bir platformdan yapılmasını sağlar [18]. SoMachine, konfigüre etmek ve devreye almak için kullanılan OEM çözüm yazılımıdır.

3.6. Lexium Yazılımı

Lexium CT devreye alma yazılımı, PC'ler için desteklenen ürünleri devreye almanıza ve tanı koymanıza izin veren bir uygulama programıdır. Devreye alma yazılımının işlevleri otomatik olarak ürünlere uyarlanır. Bu nedenle, bazı fonksiyonlar mevcut olmayabilir. Lexium CT devreye alma yazılımı 3 farklı kullanıcı ara yüzünden oluşur:

- Lexium CT ProductExplorer
- Lexium CT M1
- Lexium CT M2
- Lexium CT M3

"Lexium CT ProductExplorer", fieldbus ağlarını ürünler için taramak veya doğrudan ürünlerden gelen bilgileri okumak için kullanılmaktadır. "Lexium CT ProductExplorer", ürün kılavuzu veya Internet'ten bilgi gibi desteklenen ürünler hakkında ek bilgi sağlar. Fieldbus ağında bir cihaz bulunursa, ek bağlantı ayarları yapmadan ürünle bağlantı kurmak mümkündür. "Lexium CT ProductExplorer", ürün için uygun kullanıcı ara yüzünü otomatik olarak seçer. Ürün "Lexium CT M1", "Lexium CT M2" veya "Lexium CT M3" ile devreye alınmıştır.

Devreye alma yazılımının işlevleri şunları içerir:

- Cihazlar için çeşitli fieldbus'lar taraması yapar.
- Bağlı cihazlarla ilgili kapsamlı bilgiler barındırır.
- Cihaz parametrelerini görüntüler ve değiştirir.
- Cihaz parametrelerini arşivler ve çoğaltır.
- Motorun manuel olarak konumlandırılması yapar.
- Giriş sinyallerini ve çıkış sinyallerini test eder.
- Hata teşhisi yapar.
- Kontrol performansını optimize eder (yalnızca servo motorlar).

3.7. Modbus Haberleşmesi

Modbus, 1979 yılında Modicon firması tarafından geliştirilen seri haberleşme protokolüdür. Daha çok endüstride kullanılan cihazların birbirleriyle haberleşmesinde kullanılır. Sunucu ve istemci tabanlı sistemlerde farklı türdeki cihazlar arasında haberleşmeyi sağlar. Açık kaynak kodlu olduğu için herkes tarafından telif ücreti ödenmeden rahatça kullanılmaktadır. Diğer protokollere kıyasla Modbus herhangi bir PC veya mikro işlemci ile birlikte kullanılabilen ve birçok endüstriyel ürün ile iletişim kurabilmektedir. Modbus ağ sisteminde bir adet master ve maksimum ikiyüzkırkyedi adet slave cihaz olabilir. Bu slave cihazların adreslerine bir ile ikiyüzkırkyedi arasında numara verilebilir. Slave olan cihazlar sürekli hattı dinlerler ve master cihazdan gelen mesajları sürekli kontrol ederler. Modbus ağına girmiş bir cihaz diğer tüm slave cihazlar ile haberleşebilir ve veri alışverişini yapabilir.

Modbus, ağ üzerindeki cihazlar arasında istemci/sunucu haberleşmesini sağlayan OSI (Open System Interconnection) modelinin yedinci seviyesindeki uygulama katmanıdır.

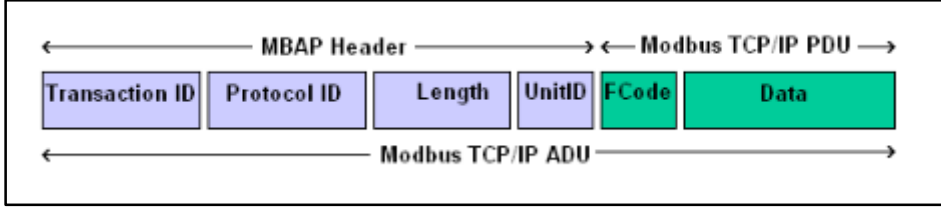
Modbus protokolünde RS232, RS485 ve Ethernet üzerinden iletişim kurabilen birçok sürüm bulunmaktadır. Günümüzde en yaygın kullanılan türleri ise, Modbus RTU ve Modbus TCP/IP'dir. Modbus protokolünde mesajların çerçevesi sürümlere göre farklılıklar göstermektedir. Modbus RTU ve Modbus ASCII çerçevesinde RS232 ve RS485 standartları kullanılır. RS485 standardı 1200 metreye kadar kullanılabilir olması nedeniyle daha çok tercih edilir. Modbus TCP/IP haberleşmesinde ise ethernet kullanılır.

Çalışma kapsamında Modbus TCP/IP kullanılmıştır. Bu modelde birden fazla master olabilir. Çalışma sırasında master ve slave cihazlar yer değiştirebilir. İki yönlü haberleşme söz konusudur. Modbus RTU ve Modbus ASCII için Modbus protokolünde mesajlar 4 bölümden oluşmaktadır. Modbus TCP/IP protokolünde ise mesajlar 2 bölümden oluşmaktadır. Modbus RTU ve Modbus ASCII türünde mesaj adres, fonksiyon, data ve hata kontrol olmak üzere dört bölümden oluşmaktadır. Modbus TCP/IP türünde ise mesaj MBAP başlığı ve Modbus TCP/IP PDU bölümleri oluşturmaktadır. MBAP ise kendi içinde işlem tanımlayıcı, protokol tanımlayıcı, uzunluk ve birim tanımlayıcı olmak üzere 4 bölümden oluşmaktadır. Modbus TCP/IP PDU bölümü ise fonksiyon kodu ve data bölümü olmak üzere iki bölümden oluşmaktadır. Şekil 3.4'de Modbus TCP/IP mesaj formatı gösterilmiştir [19].

MBAP başlığının uzunluğu 7 byte'dır. Bu bölüm master ve slave ünitelerin birbirleriyle haberleşmesine yönelik bilgileri taşır. İşlem tanımlayıcı master ve slave ünitelerin birbirleriyle haberleşmesini sağlayan mesaj paketini içerir. Uzunluğu 2 byte'dır. Protokol tanımlayıcı çoklu sistemler için düşünülmüştür. Şu an için kullanımda olmayıp Modbus için değeri 0'dır. Uzunluk bölümü tanımlayıcı bölümü ve Modbus TCP/IP PDU bölümlerini kapsayan veri uzunluğunu byte olarak tanımlar. Uzunluğu 2 byte'dır. Birim tanımlayıcı sistem yönlendirme için kullanılmaktadır. Ağ üzerinde bulunmayan uzak birim bununla belirlenir. Uzunluğu 1 byte'dır.

Modbus TCP/IP PDU bölümü fonksiyon kodu ve data olmak üzere 2 kısımdan oluşur. Bu bölüm işleve yönelik kodları içerir. Fonksiyon kodunda master cihazdan slave cihaza mesaj gönderiminde yapılması talep edilen işleve yönelik koddan oluşur. Uzunluğu 1 byte'dır. Data bölümünde ise master cihazdan slave cihaza mesaj gönderiminde yapılması talep edilen işleve yönelik özel veriler içerir. Slave ünitelerden master üniteye cevap gönderiminde

ise talebe karşı gönderilecek cevap verileri veya hata kodlarından oluşur. Data bölümü değişken uzunluktadır. Şekil 3.4’de Modbus TCP/IP mesaj formatı gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Modbus TCP/IP mesaj formatı

“0001 0000 0006 11 03 006B 0003” mesajı örnek bir mesaj formatı olursa, ilgili kısımların açıklaması aşağıdaki gibi olur.

0001: Aktarım Tanımlayıcı

0000: Protokol Tanımlayıcı

0006: Mesaj uzunluğu (6 bytes to follow)

11: Birim Tanımlayıcı (17 = 11 hex)

03: Fonksiyon Kodu (Analog Çıkış Holding Register’ların okunması)

006B: Okunacak ilk register’ın adresi. (40108-40001 = 107 =6B hex)

0003: Okunmak istenen toplam register adedi. (40108 ‘den 40110’a 3 register oku)

4. UYGULAMA

Tez kapsamında yapılan uygulama; sensör birimi, Raspberry Pi bulanık mantık uygulaması, Raspberry Pi PLC Modbus-TCP haberleşmesi, PLC ve Servo Sürücü-Motor alt sistemleri adı altında incelenmiştir. Elektronik geliştirme kartı olarak Raspberry Pi versiyon 3, PLC olarak LMC508 ve servo sürücü olarak ise LXM32MU kullanılmıştır. Uygulamada kullanılan yazılım dilleri ise Raspberry Pi için Python, PLC için SoMachine ve Servo Sürücü için ise Lexium CT kullanılmıştır. PLC ve Raspberry Pi arası haberleşme için Modbus-TCP protokolü kullanılmıştır.

4.1. Sensör Birimi

Sistemde ivmeölçer ve jiroskop sensörü olarak tümleşik IMU kartı kullanılmıştır. IMU kartı olarak Pololu Firmasının Altimu-10 v5 versiyonu seçilmiştir. IMU kartı elektronik geliştirme kartına I2C veri yolu ile bağlanmıştır ve sensörlerden veri okuma işlemi yapılmıştır. Kullanılan IMU üzerinde üç farklı sensör modülü barındırmaktadır. Kullanılan IMU kartında jiroskop için L3GD20H, ivmeölçer için LSM303D modülü kullanılmıştır. L3GD20H modülü 16 bit veri çıkış çözünürlüğüne sahip olup SPI ve I2C seri ara yüzüne sahiptir. Ölçüm aralığı olarak ± 500 dps seçilmiştir. Bu sensörden açısal hız değeri elde edilmektedir. Elde edilen açısal hız değeri açı değerine dönüşmektedir. Sensörün karakteristik özellikleri Çizelge 1'deki gibidir.

Çizelge 4.1. L3GD20H modülü özellikleri

Arayüz	I ² C/SPI
Minimum Çalışma Voltajı	1.8 V
Maksimum Çalışma Voltajı	3.6 V
Eksenler:	pitch (x), roll (y), yaw (z)
Ölçüm Aralığı:	±245 dps ±500 dps ±2000 dps
Hassasiyet	8.75 mdps/digit 17.5 mdps/digit 70 mdps/digit
Çıkış Formatı (I ² C)	Her bir eksen için 16-bit 'lik okuma
Çalışma Sıcaklığı	-40°C / +85°C

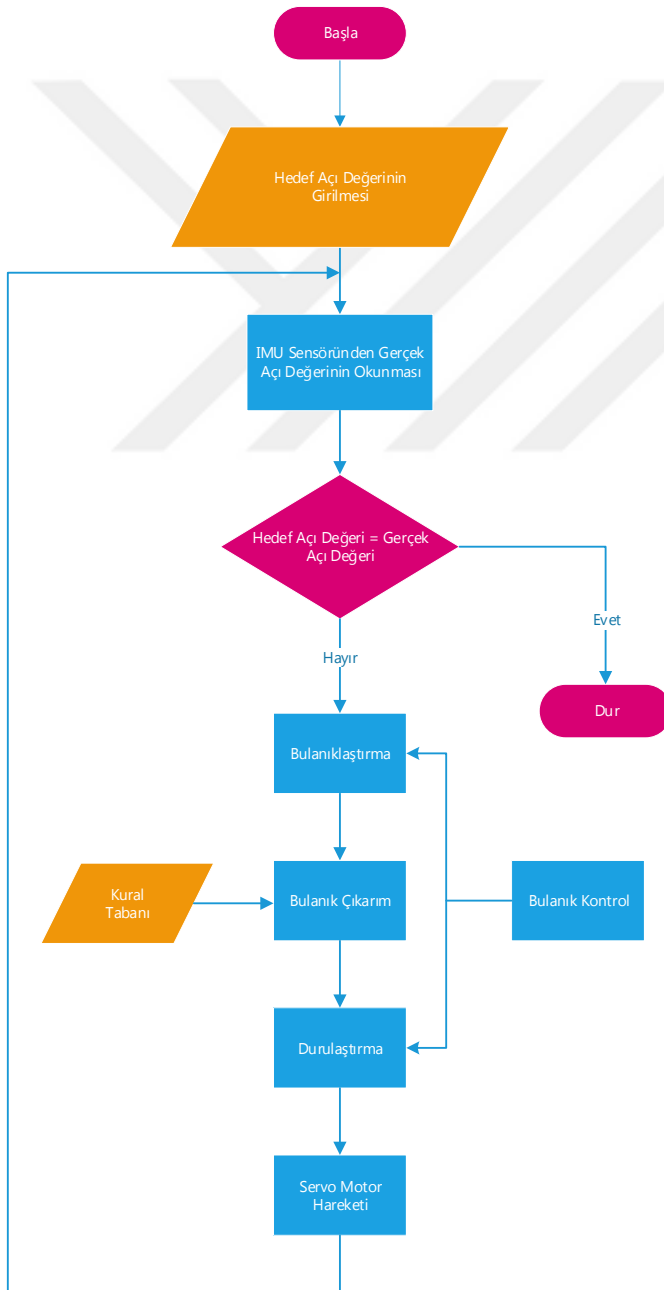
LSM303D modülünden ham ivmeölçer verisi elde edilmektedir. Elde edilen ham bu değer arctan fonksiyonu ile açı değerine dönüştürülmektedir. İvmeölçer skalası kontrol registerlarından $\pm 16g$ olarak ayarlanmıştır. Bu sensörden ivmeölçer değeri elde edilmektedir. Elde edilen ivmeölçer değeri arctan fonksiyonu ile açı değerine dönüştürülmektedir. Şekil 4.1'de L3GD20H modülü gösterilmiştir.



Resim 4.1. LSM303D modülü

4.2. Raspberry Pi üzerinde Bulanık Mantık Denetleyici Uygulaması

Bulanık mantık denetleyicide, yükseliş-azimut hatası, yükseliş-azimut hatasındaki değişim ve çıkış kontrol değişkeni üyelik fonksiyonu değerleri 7 dilsel etiket ile ifade edilmiştir. Bunlar; NB(Negatif Büyük), NO(Negatif Orta), NK(Negatif Küçük), S(Sıfır), PK(Pozitif Küçük), PO (Pozitif Orta) ve PB (Pozitif Büyük) dür. Bu uygulamada üyelik derecelerinin belirlenmesinde üçgen üyelik fonksiyonu kullanılmıştır. Yazılıma ait akış diyagramı Şekil 4.1’de verilmiştir.



Şekil 4.1. Yazılım akış diyagramı

4.3. Raspberry Pi – PLC Modbus Haberleşmesi

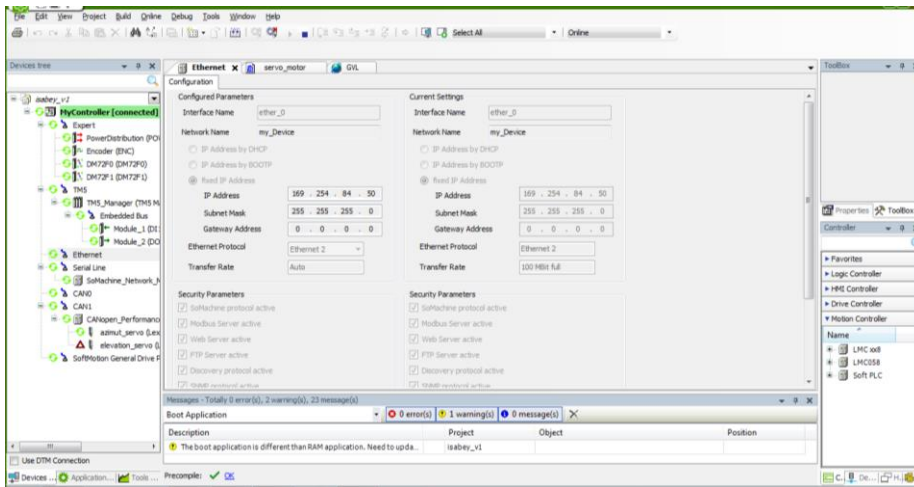
Uygulamada Raspberry Pi tarafı client (istemci), PLC ise server(sunucu) olarak çalışmaktadır. Raspberry Pi ve LMC508 PLC arasında modbus haberleşmesi yapabilmek için Raspberry Pi tarafına easymodbus kütüphanesi eklenmiştir. Easymodbus kütüphanesi ve yazılımın uyumlu olabilmesi için Python 3 sürümü kullanılmıştır. Raspberry Pi IP adresi 169.254.84.33 olarak ayarlanmıştır. Aynı şekilde birbirleriyle haberleşmesi için PLC’de IP adresi 169.254.84.50 olarak ayarlanmıştır. Şekil 4.2’de verilen script ile Raspberry Pi ve PLC haberleştirilmiştir. PLC üzerine “modbusclient.write_single_coil” komutu ile yazma işlemi yapılmıştır.

```
import easymodbus.modbusClient
modbusclient = easymodbus.modbusClient.ModbusClient('169.254.84.50', 502)
modbusclient.connect()
modbusclient.write_single_coil(0, True)
modbusclient.close()
```

Şekil 4.2. Modbus haberleşme kodu

4.4. PLC

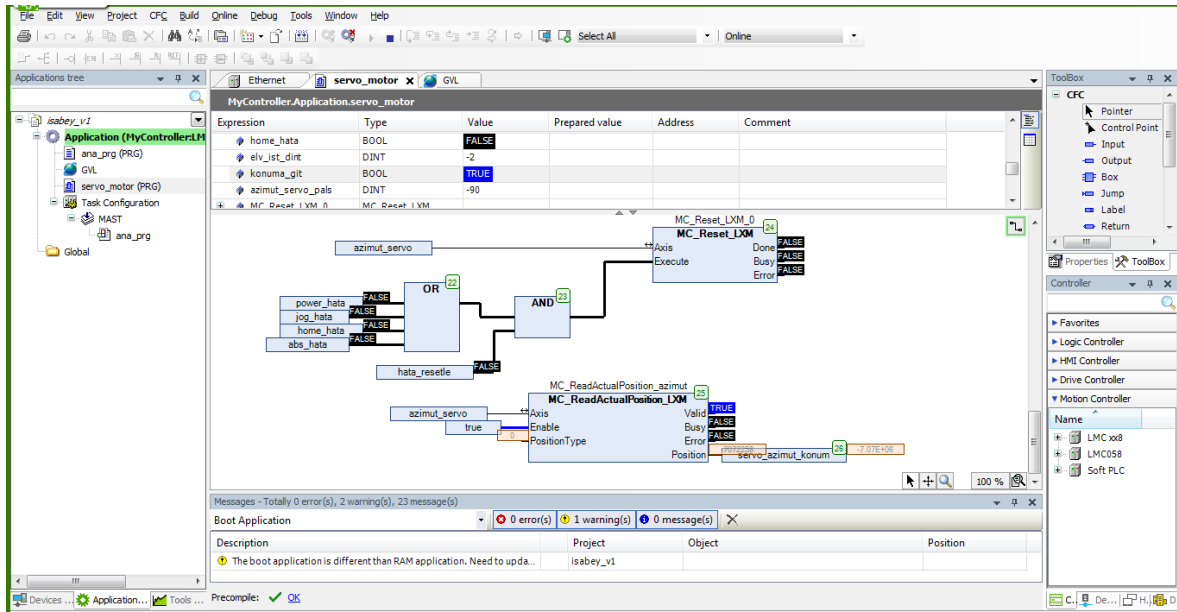
Raspberry Pi 3 ve PLC arasında Modbus TCP haberleşme protokolü kullanılmıştır. Raspberry Pi 3’te IP adresi 169.254.84.33 ve PLC de IP adres:169.254.84.50 değeri atanmıştır. PLC de SoMachine yazılımında Ethernet ağ ayarları Resim 4.2’de verilmiştir.



Resim 4.2. SoMachine yazılım ethernet ayarları sayfası

LMC058LF42 PLC de donanım kısmında CanBUS ağında servo motorlar tanımlanmış olup,

500 kbps haberleşme hızı sağlanmıştır. Her servo için MC_Power_LXM, MC_Jog_LXM, MC_Home_LXM, MC_MoveAbsolute_LXM, MS_Stop_LXM, MC_Reset_LXM ve MC_ReadActualPosition_LXM komutları ayrı ayrı kullanılarak bağımsız servo hareketleri kontrol edilmiştir. PLC'yi programlamada kullanılan SoMachine yazılımına ait gerçek zamanlı çalışma görseli Resim 4.3'de verilmiştir. Yazılımda CFC (Continuous Function Chart) dilinde programlama yapılmıştır.



Resim 4.3. SoMachine yazılımı

4.5. Servo Sürücü ve Motor

Servo sürücü parametre ayarları ve çalışmanın izlenmesi Lexium CT yazılımda gerçekleştirilmiştir. Lexium CT arayüzünde temel ayarlar ve uzman ayarları ayrı ayrı oluşturulmuştur. Temel ayarlarda hız limitleri, akım limitleri, akıma bağlı olarak acil durdurma ve hataya geçme değerleri ayarlanmaktadır [20-21]. Referans enkoder seçimi, motor üzerinde bulunan dahili veya dışarıdan harici olarak ayarlanabilmektedir. Bu uygulamada servo motor üzerinde bulunan dahili enkoder konumlamada kullanılmıştır. PLC ve Servo sürücü haberleşmesinde her sürücü için CANaddress ayrı atanmış ve CANbaud hızı 500 kbps olarak güncellenmiştir. Sürücüde kullanılan temel ayar arayüz görseli Resim 4.4'de verilmiştir.

Lexium CT M3 - [Parameter]

File Edit Connection Parameter Functions Diagnostics Safety Functions Window ?

Modbus

No download of configuration parameter, if in state ENABLE.

Name	Value	Unit	Description	Range	Modbus
DEVcmdinterf	Fieldbus Control Mode		Specification of the control mode	0..3	1282
IOdefaultMode	Motion Sequence		Operating mode	0..6	1286
PTL_signal_type	A/B Signals		Type of reference value signal for PTL interface	0..2	1284
PTO_mode	Off		Type of usage of PTO interface	0..4	1342
ESIM_scale	4096	Enclnc	Resolution of encoder simulation	8..65535	1322
CTRL_v_max	11201	usr_v	Velocity limitation	1..2147483647	4384
CTRL_l_max	9,00	Arms	Current limitation	0..463	4376
LIM_l_maxQST	9,00	Arms	Current value for Quick Stop	0,01..463	4378
LIM_l_maxHalt	9,00	Arms	Current value for Halt	0,01..463	4380
_lmax_system	9,00	Arms	Current limitation of the system	..	7246
MOD_Enable	Modulo Off		Activation of Modulo	0..1	1648
InvertDirOfMov	Inversion Off		Inversion of direction of movement	0..1	1560
SimAbsolutePo	Simulation Off		Simulation of absolute position at power cycling	0..1	1350
ENC_abs_sour	Encoder 1		Source for setting absolute encoder position	0..1	1354
Mains_reactor	No		Mains reactor	0..1	1344
ShiftEncWorkR	Off		Shifting of the encoder working range	0..1	1346
CANaddress	1		CANopen address (node number)	1..127	16644
CANbaud	500 kBaud		CANopen baud rate	50..1000	16646
MOD_Min	0	usr_p	Minimum position of modulo range	..	1650
MOD_Max	3600	usr_p	Maximum position of modulo range	..	1652

Exclusive access: On/Off

Operating state: Power stage enabled [6] Operation Enabled run Fault Reset

Power stage: Enable/Disable

Quick Stop: [Icon]

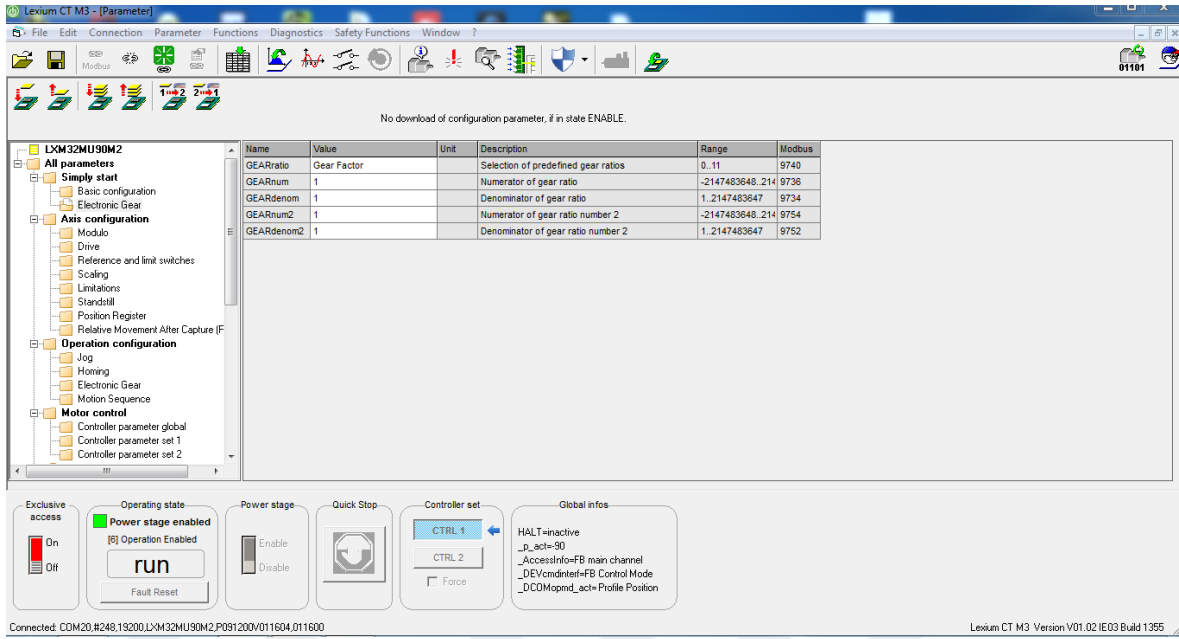
Controller set: CTRL 1 (selected), CTRL 2, Force

Global infos: HALT=inactive, _p_act=90, _AccessInfo=FB main channel, _DEVcmdinterf=FB Control Mode, _DCDMopmd_act=Profile Position

Connected: CDM20.#248.19200.LX:M32MU90M2.P091200V011604.011600

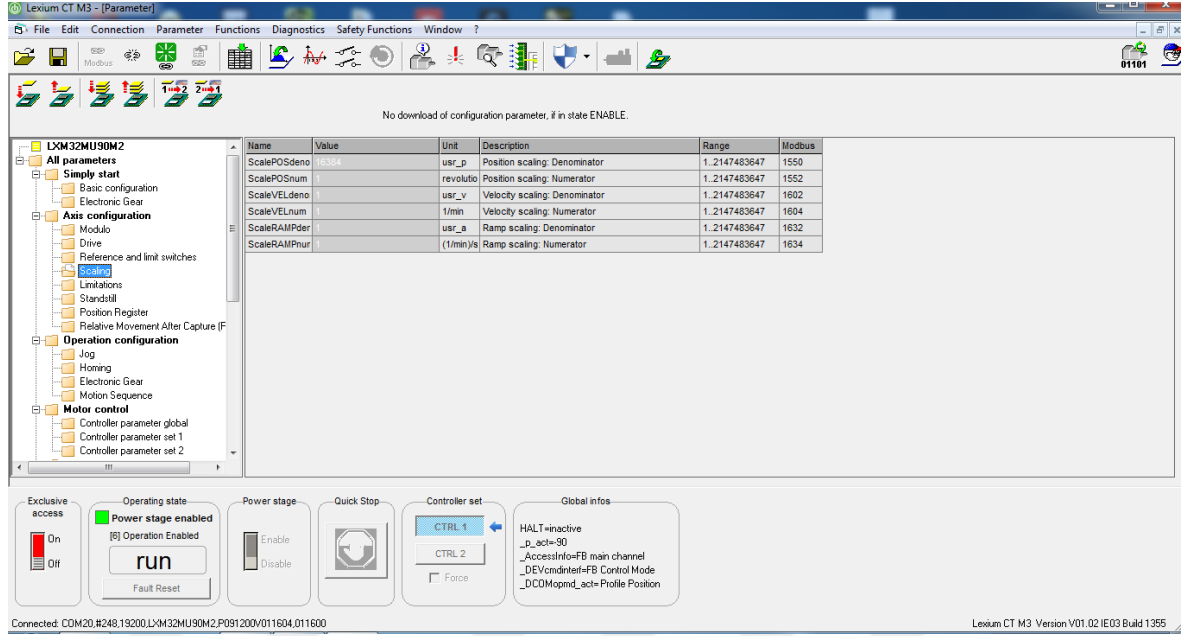
Resim 4.4. Lexium yazılımı temel ayar arayüzü

Mekanik sistemde redüktör kullanılması durumunda ayar arayüzünde değerlerinin girilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada redüktör dişli oranı 1 girilerek doğrudan sürme(direct drive) çalışma modu seçilmiştir. Redüktör dişli oran na ait ayar sayfası Resim 4.5’de verilmiştir.



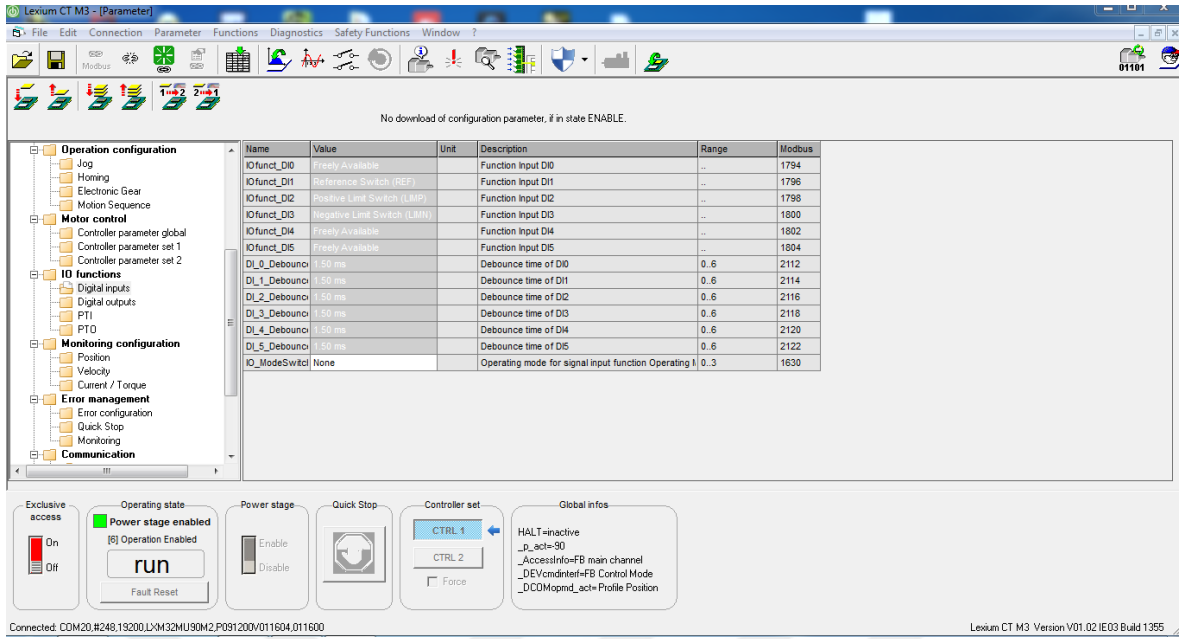
Resim 4.5. Redüktör dişli oranı

Servo motor miline bağlı enkoderin bir tur çözünürlük ölçeklemesi “Scaling” sekmesine ait ayar penceresinde girilmektedir. Sincos enkoder motor miline bağlı olarak kullanıldığı için hassas uygulamalarda bir tur örnekleme çözünürlüğü ölçüm sınırları içerisinde ayarlanabilmektedir [22]. Bu tez çalışmasında 16384 pals bir tur ölçeklemesi için kullanılmıştır. Her 360 derece 16384 pals e karşılık gelmektedir. Çalışmanın ilerleyen kısımlarında bu değer stabilizasyon için büyük önem arz edecektir. 4096 pals, 90 derecelik harekete karşılık gelmektedir. Enkoder çözünürlük ayar sayfası Resim 4.6’da verilmiştir.



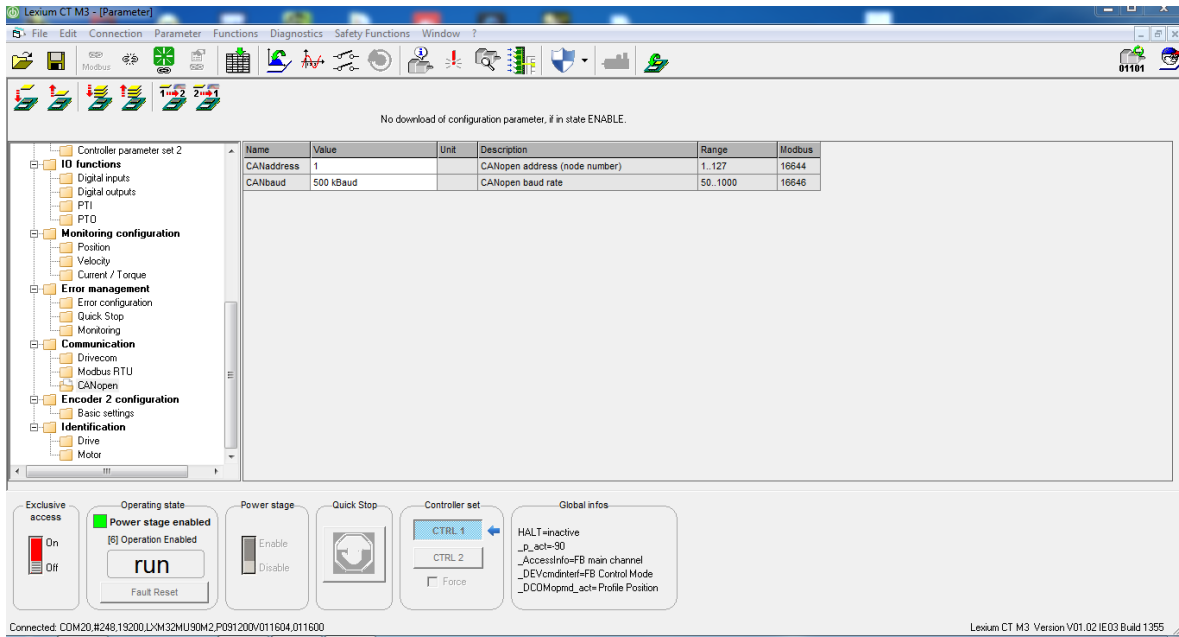
Resim 4.6. Enkoder çözünürlük ayar sayfası

Servo motorun çalışma sınırları belirlenirken minimum ve maksimum noktalara harici sınır anahtarları kullanılması gerekir. Sistemin mekanik hareketinin sonlandığı noktaları aşan motor hareketinde tedbir olarak harici dijital girişlere görev atanır. Dijital giriş adreslerinde referans switch(REF), positive limit switch (LIMP) ve negative limit switch (LIMN) girişleri boolean olarak 1 “true” olması gerekir. Referans switch servo motorun “home” olarak adlandırılan referans noktaya hareketinde kullanılır. Referans anahtarların ayar sayfası Resim 4.7’de verilmiştir.



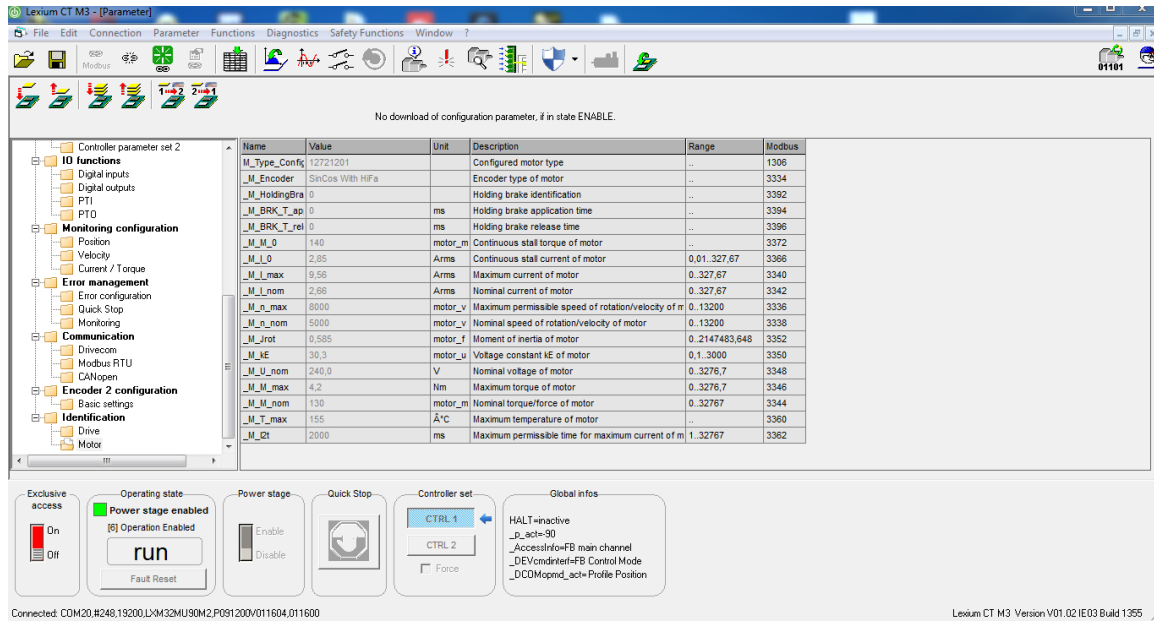
Resim 4.7. Referans switch ayar sayfası

Her sürücü farklı bir ağ kimliği ile ağa bağlanması gerekir. Ağ adresi çakıştırılmaz, mutlaka farklı kullanılması gerekir. Bu çalışmada CANaddress birinci sürücü için 1, diğer sürücü için 2 olarak atanmıştır. Diğer taraftan CANbaud değeri 500 kbps her iki sürücü ve PLC de aynı girilmiştir. Sürücüler farklı Baud hızında aynı ağa bağlanamazlar. Tez çalışmasında kullanılan adres ve baud ayarları Resim 4.8’da verilmiştir.



Resim 4.8. Can adres ve haberleşme hızı ayar sayfası

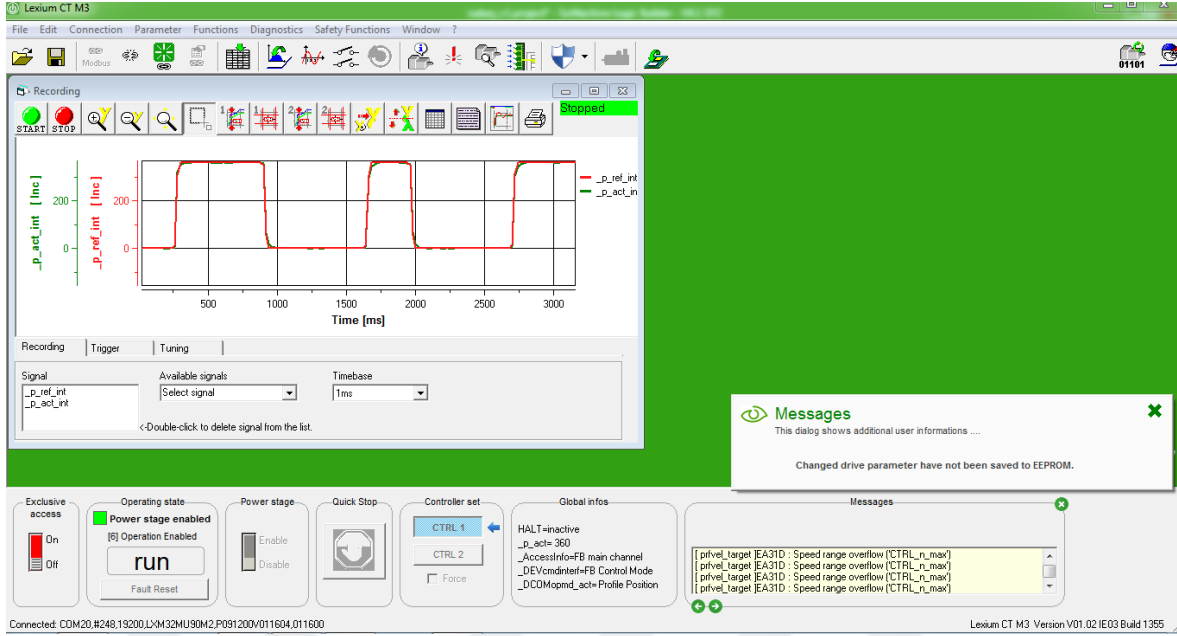
Servo sürücüye bağlı servo motor parametreleri enkoder haberleşme protokolü üzerinden servo motordan okunmaktadır. Bağlı bulunan servo motor anda akım, moment ve kazanç parametreleri sürücüye tanıtılarak gerekli PID parametreleri hesaplanmaktadır. Motor ve sürücü uyumu sağlandıktan sonra “Autotuning” modunda kalkış, frenleme, vurunu torku ve devrilme tork değerleri hesaplanarak parametrelendirme işlemi yapılmaktadır. Resim 4.9’da de motor parametrelerine ait ayar sayfası verilmiştir.



Resim 4.9. Motor parametreleri

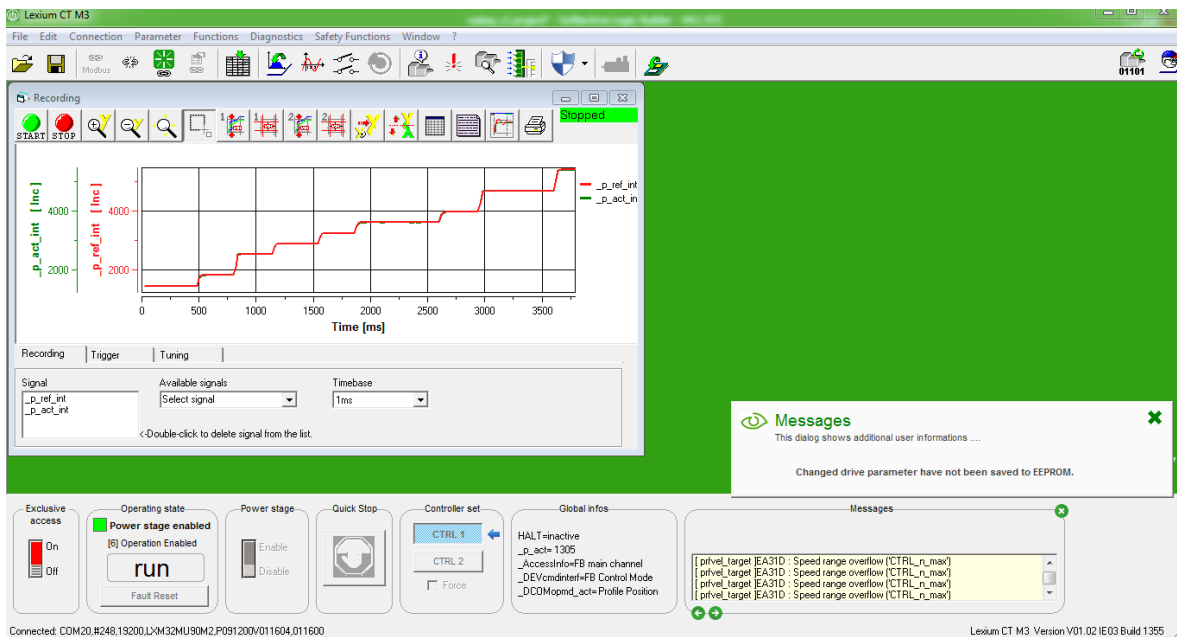
4.6. Sistemin Entegrasyon ve Testi

Taret sisteminin bağlı olduğu gövdeye sabitlenmiş IMU sensörden gelen konum bilgisi referans düzlem ile kıyaslanarak hata değeri bulunmaktadır. Bu hata değeri ve hatanın türü bulanık mantık denetleyicide bulanıklaştırma, kural tabanı ve durulama mekanizmalarında işlem yapılarak normalize edilmiştir. Çıkan sonuç değerine göre motorun hareket etmesi sağlanmıştır. 6.59 derecelik bozulma için sistemin aynı açıda düzeltme hareketi izlenmiştir. Şekil 4.3’de verilen görselde hem motora gelen referans düzeltme açı değeri hem de gerçekleşen düzeltme açı değeri verilmiştir. Hareket farklı frekanslarda ve zamanlarda tekrarlanmıştır. 6.59 derecelik hareket enkoder çözünürlüğünde 300 pals’lik pozisyona/konuma karşılık gelmektedir.

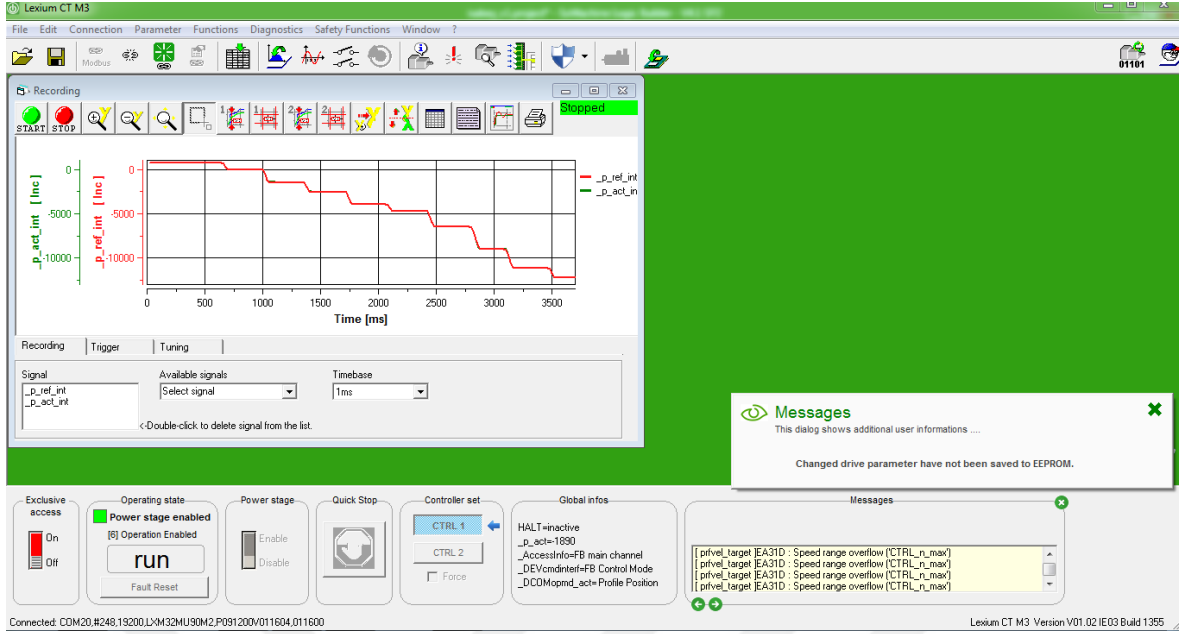


Şekil 4.3. Referans ve düzeltme açı değerleri

Taret sisteminde yükseliş açı hareket fırlatma rampasının elverdiği olanaklarla sınırlanmaktadır. Bu tez çalışmasında mekanik montajı yapılmamış gövde ile testlerde +90 derece sınırlarına kadar denetim yapılmıştır. Gerçek uygulamada bu açılar +70 de eksi yönde ise -25 dereceler ile sınırlanmaktadır. Bu sınırlama mekanik kısıtlamalardan kaynaklanmaktadır. Tez çalışmasında +90 sınırları test edilmiştir. Şekil 4.4'de pozitif yönde, Şekil 4.5'de ise negatif yönde sınırlarda test edilmiştir.

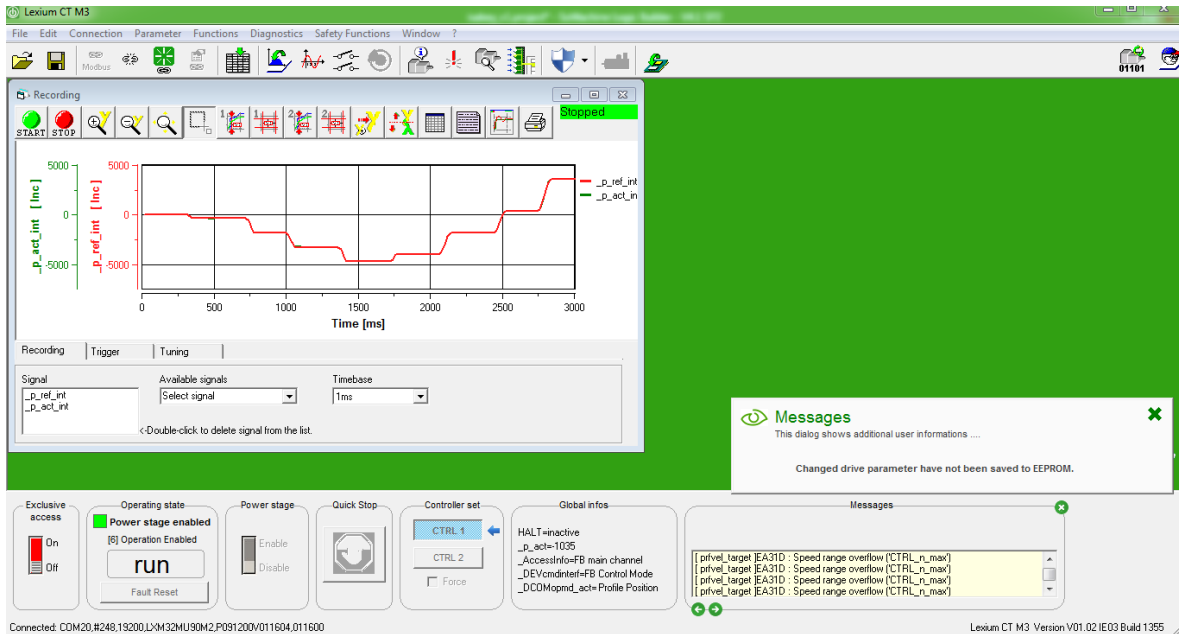


Şekil 4.4. Pozitif yönde test verisi



Şekil 4.5. Negatif yönde test

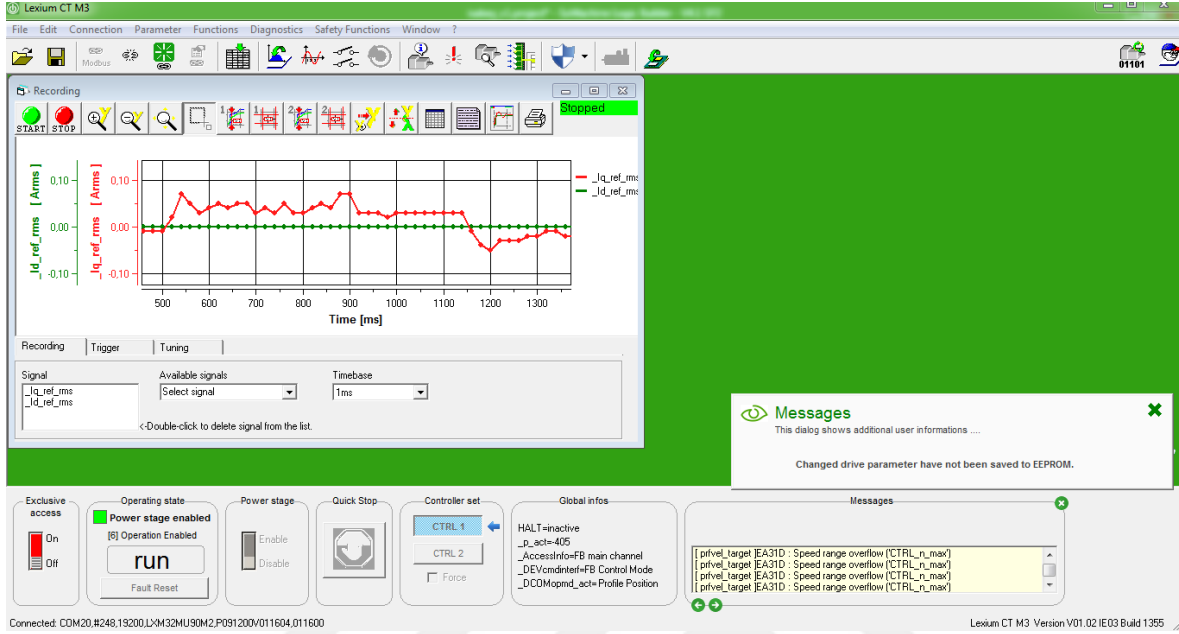
Pozitif ve negatif limitler içerisinde hareket sürekli yön değiştirmiştir. Sistem istenen ve gerçekleşen harekette birbirini sürekli takip etmiştir. Şekil 4.6'de -90 ve +90 açı hareketlerine ait çalışma diyagramı verilmiştir.



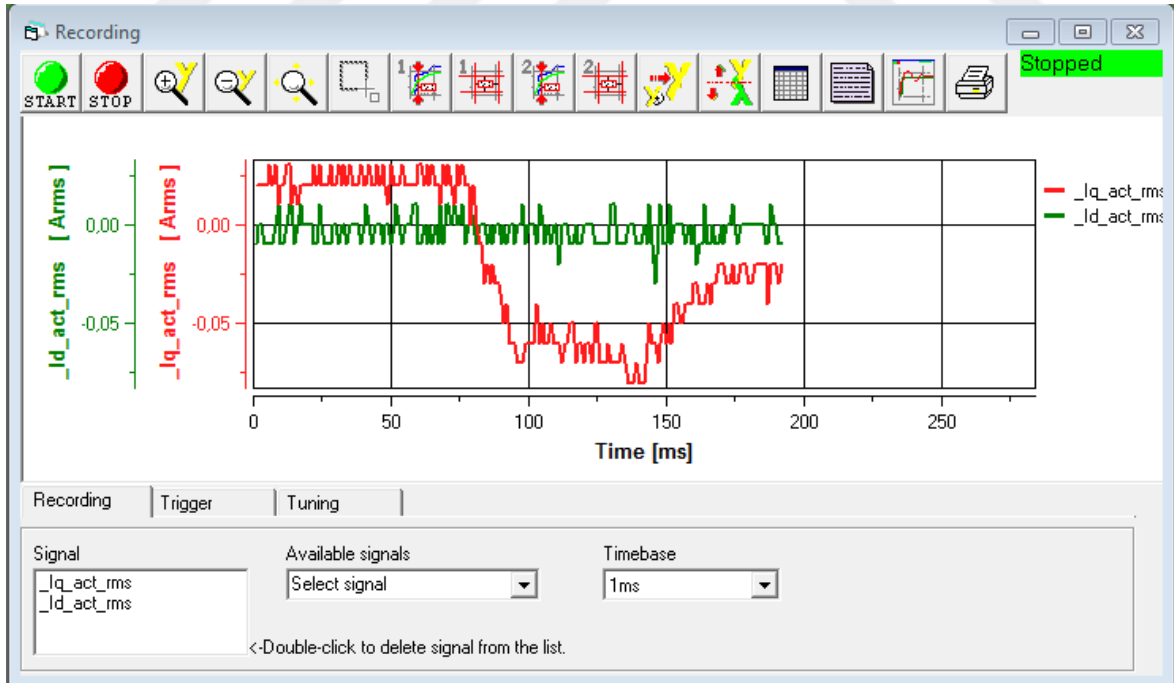
Şekil 4.6. -90 ve +90 Açılı hareketlerine ait çalışma diyagramı

Servo motorun çekmiş olduğu akımın d ve q düzlemindeki bileşenleri analiz edilmiştir. Servo, hızda dönme hareketi sebebiyle motorda kayma sıfır olduğu için akımın id bileşeni 0 (sıfır) da kalmıştır. İleri yönlü ve geri yönlü harekette momenti oluşturan akımın iq bileşeni

çalışma hareketi süresince değişmiştir. Motor akımlarının id ve iq bileşenine ait referans grafik Şekil 4.7’de verilmiştir. Gerçek değerler ise Şekil 4.8’de verilmiştir.



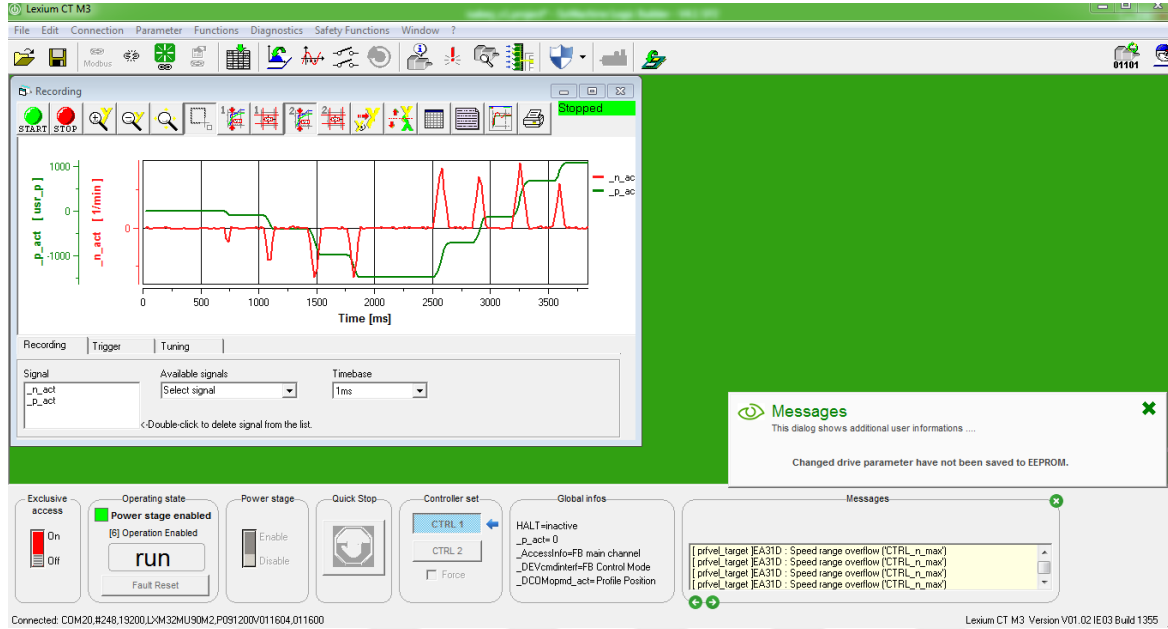
Şekil 4.7. Referans “id” ve “iq” değerleri



Şekil 4.8. Gerçek “id” ve “iq” değerleri

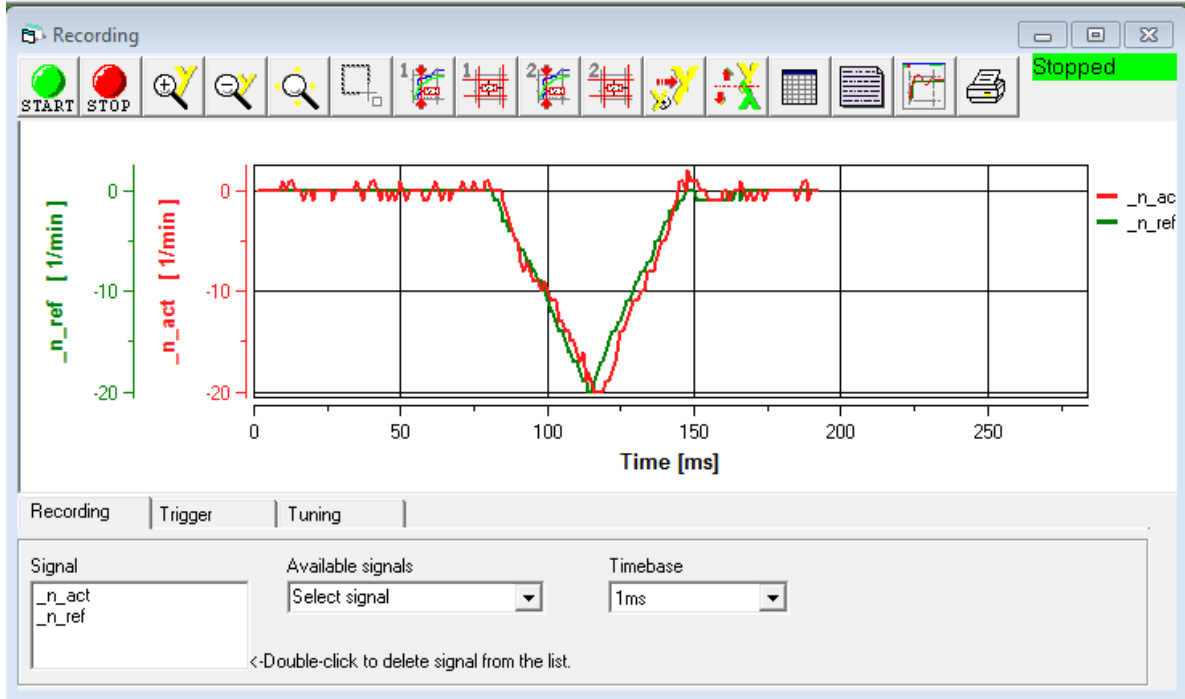
Pozisyon ile motor hız değişimi incelenmiştir. Motor sabit pozisyonda iken motorda bir yönde hızlanma ve yavaşlama hareketi olduğunda pozisyonda yer değiştirecektir.

Pozisyondaki yer değiştirme sadece dönme hareketi olduğunda gerçekleşecektir. Diğer değişle birim zamandaki pozisyonda yer değiştirme açısal hız olarak olulmektedir. Şekil 4.9’da yeşil renk pozisyonu, kırmızı renkli çizgiler ise gerçek hızı ifade etmektedir.



Şekil 4.9. Pozisyon ve açısal hız arasındaki değişimi

Servo motorda istenen hız ile gerçekleşen hız arasındaki görsel Şekil 4.10’da verilmiştir. İstenen hız ile gerçekleşen hızda maksimum 5ms gecikme olduğu harekete başlarken gözlenmiştir. Varış noktasında bu gecikme daha kısalmıştır. alışmalar sırasında sürekli yön değiştirmelerde yapılmış olup bu değerin değişmediği izlenmiştir.



Şekil 4.10. İstenilen hız ile gerçek hız kıyaslaması



5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Hareketli taret sistemlerinde, aracın hareketi sırasında yeryüzü şekillerinden dolayı taretin hedef açısında bozulmalar meydana gelmektedir. Bu çalışma ile açı bozulmalarına karşı sistemin stabilizasyonu sağlanmıştır. Taret sistemlerde kullanılan yönelme ve yükseliş eksenlerine ait servo motorların çalışması kontrol edilmiştir. Hedef olarak belirlenen yönelme ve yükseliş açıları için oluşan bozulmaların servo motorlar vasıtası ile düzeltilmesi gerçekleştirilmiştir. Sistemde kullanılan IMU sensöründen alınan gerçek açı bilgisi ile hedef açı bilgisi arasındaki farktan hata değeri elde edilmiş ve bu hata giderilerek, atış istikamet açısının istikrarlı tutulması sağlanmıştır. Stabilizasyon işleminde hatanın minimum tutulması için bulanık mantık denetleyici kullanılmıştır. Bulanık mantık denetleyici, Raspberry Pi mini bilgisayarının içine gömülü olarak kodlanmış olup gerçek zamanlı olarak çalıştırılmıştır. Bulanık mantık kontrolcü sonrası elde edilen açı değeri PLC'ye aktarılmıştır. Raspberry Pi ile PLC arasındaki haberleşme ModBUS-TCP protokolü ile sağlanmıştır. Raspberry Pi bilgisayarı istemci, PLC tarafı ise sunucu rolünü üstlenmiştir. PLC ile servo motor sürücüsü arasındaki haberleşme ise CanBUS haberleşme protokolü yapılmıştır. Stabilizasyon işlemi sırasında istenen hareket ile gerçekleşen hareket arasında maksimum 5 ms gecikme olduğu ölçülmüştür. Atış istikameti stabilizasyonu servo düzenek ve bulanık mantık kontrolcü yardımı ile gerçekleştirilmiştir. İleriki çalışmalarda yeni nesil kontrolcü tasarımları ile stabilizasyon daha kararlı bir şekilde gerçekleştirilebilir.



KAYNAKLAR

1. Suadiye, U., Öztürk, S., Kandilli, İ. (2011). *Tank Namlu Stabilizasyon Uygulaması*. Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Sempozyumu, 176-181.
2. Dey, S., Halder, S., Nandakumar M. P. (2014). Gyroscopic Stabilization of Two-Dimensional Gimbal Platform Using Fuzzy Logic Control. *International Journal of Electrical, Electronics and Data Communication*, 2(8), 36-42.
3. Mao, J., Li, Q., Li, S., Yang, J. (2019). Design and implementation of continuous finite-time sliding mode control for 2-DOF inertially stabilized platform subject to multiple disturbances. *ISA Transactions*, 84 (2019), 214–224.
4. Büyüksarıkulak, M.S., Kürkçü, B., Karakurt, M. (2016). *İki Eksen Gimbal Sistemleri için Farklı Bozucu Kaynaklarının Stabilizasyon Performansına Etkileri*. Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı, 224-229.
5. Abdo, M.M., Vali, A. R., Toloei, A. R., Arvan, M. R. (2014). Stabilization loop of a two axes gimbal system using self-tuning PID type fuzzy controller. *ISA Transactions*, 53, 591–602.
6. Idris, A.M., Hudha, K., Kadir, Z.A., Amer, N.H. (2015). Development of Target Tracking Control of Gun-Turret System. *IEEE 978-1-4799-7862-5/15*
7. Armağan, E., Kumbasar, T. (2017). *TORCS Oyun Ortamında Bulanık Mantık Tabanlı Otonom Araç Kontrol Sistemi Tasarımı*. Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı, 283-288.
8. Akkaya, Ş., Üzgün H. D., Akbatı, O. (2017). *FPGA için Bulanık Mantık Kontrolcüsü Tasarımı, İkinci ve Üçüncü Dereceden Doğrusal Sistemler ile Donanım Tabanlı Benzetim Çalışmaları*. Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı, 294-299.
9. Li, T. H. S., Lin, C. F., Juang, J.C., Coleman, N., Mattice, M., Banks S.(1992). *Fuzzy Logic Control of Gun Turret Systems*. American Control Conference, 440-444.
10. Masten, M. K. (2008). Inertially stabilized platform for optical imaging systems. *IEEE Control Systems Magazine*, 28, 47-64.
11. Daniel, R. (2008). Mass properties factors in achieving stable imagery from a gimbal-mounted camera. *Airborne Intelligence, Surveillance, Reconnaissance (ISR) Systems and Applications*, 6946(9),67-79.
12. Internet: AltIMU-10 v5 Sensörü URL: <https://www.pololu.com/product/2739/resources> Son Erişim Tarihi:01.06.2019.
13. Jouybari, A., Ardalan, A, A., Rezvani, M-H. (2017). *Experimental Comparison Between Mahoney and Complimentary Sensor Fusion Algorithm for Attitude Determination by Raw Sensor Data of XSENS IMU on Buoy*. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 497-502.

14. Kokaj A., Bula, I., Dermaku, A. (2018). Fast Fourier Transform and a Complimentary Filter Based Control of a Robotic System. *International Federation of Automatic Control Papers OnLine*, 516-564.
15. İnternet: Raspberry Pi Açıklamalar. URL: <https://www.raspberry-pi-3-model-b>, Son erişim Tarihi:03.05.2019.
16. Gümüşay, Ö. (2006). *Intelligent Stabilization Control of Turret Subsystems Under Disturbances From Unstructured Terrain*. Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 29.
17. Gürcan, M.B., Gümüşay, Ö., Batu, U. (2015). *Ana Muharebe Tankı Namlu, Kule, Gövde ve Süspansiyonunun Modellenmesi, Simülasyonu ve Namlunun Stabilizasyon Denetimi*. Ulusal Savunma Modelleme ve Simülasyon Konferansı, 205-214.
18. İnternet: Modbus Haberleşmesi. URL: <https://www.roltek.com.tr/blog/modbus-protokolu>, Son erişim Tarihi:03.05.2019.
19. İnternet: Easymodbus Kütüphanesi. URL: <http://easymodbustcp.net/en/>, Son erişim Tarihi:09.06.2019.
20. Kocian, J. (2011). PLC temelli fuzzy kontrole yaklaşım, *Journal of Mechanical Design*, 125, 145-153.
21. Karşlı, M.T. (2014). *Controlling Of A Mechanical System Having Three Dimensional Moving Capability By Using Servo Motors, Plc, And A Personal Computer*. Yüksek Lisans Tezi, Gaziantep Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Gaziantep, 29.
22. İnternet: Schneider Elektrik Firmasının SoMachine Yazılımı. URL: <https://schneider-electric.com/en/work/solutions/software/industrial-automation/> Son Erişim Tarihi :10.06.2019.



EKLER

EK-1. IMU Sensörü ham veri dönüşüm sensörleri

```

import math

def twos_comp_combine_24(hsb,lsb,xlsb):
    twos_comp=math.pow(2,16)*hsb+256*lsb+xlsb
    if twos_comp>=8388608:
        return twos_comp-16777216
    else:
        return twos_comp

def twos_comp_combine(msb, lsb):          #16 bit
    twos_comp = 256*msb + lsb
    if twos_comp >= 32768:
        return twos_comp - 65536
    else:
        return twos_comp

def twos_comp_combine_12(msb, lsb):      #12 bit
    twos_comp = 16*msb + lsb
    if twos_comp >=2048:
        return twos_comp - 4096
    else:
        return twos_comp

def c_to_f(x):                          #converts celsius to fahrenheit
    return(x*9/5+32)

def convert_mag(x):                      #converts raw magnetic readings to usable
data (gauss)
    sensitivity = .000080
    return x*sensitivity
def convert_acc(x):                      #converts raw acceleration readings to
usable data (g)
    sensitivity = .000061
    return x*sensitivity
def convert_gyro(x):                    #converts raw gyro readings to usable
data(degrees/ second)
    sensitivity = 1/133.0
    return x*sensitivity
def convert_barometer(x):               #converts raw pressure readings to usable
data (hPa)
    sensitivity = 1/4096.0
    return x*sensitivity
def convert_temp(x):                    #converts raw temperature readings to
usable data for the LSM sensor(C)
    return x/8
def convert_temp_LPS(x):                #converts raw temperature readings to
usable data for the LPS sensor (C)
    sensitivity = 1/480.0
    return x * sensitivity+35

def pressure_to_altitude_meters(pressure): #converts pressure(hPa)
to meters above sea level
    return ((1 - math.pow(pressure / 1013.25, 0.190263)) * 44330.8)

def vector_length(x, y, z):
    num = math.sqrt(math.pow(x,2) + math.pow(y, 2) + math.pow(z,2))
    return num

```

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : ERDOĞAN, İsa
 Uyuğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 06.01.1990, Ankara
 Medeni hali : Bekâr
 Telefon : 0 (533) 139 75 68
 Faks : 0 (312) 219 57 97
 e-mail : isaerdoganhv1@gmail.com



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi / Elektrik ve Elektronik Mühendisliği	Devam Ediyor
Lisans	Yıldız Teknik Üniversitesi / Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği	2013
Lise	Anıttepe Y.D.A.L	2008

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2013-Halen	HAVELSAN A.Ş	Sistem Mühendisi

Yabancı Dil

İngilizce

Yayımlar

Erdoğan, İ., Saygın, A. (2019). *Hareketli Taret Sistemlerinde Atış İstikameti Stabilizasyonu*. Uluslararası Marmara Fen ve Sosyal Bilimler Kongresi, 1601-1609.

Hobiler

Kültürel Çalışmalar, Gastronomi, Gezi



GAZİ GELECEKTİR..