

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ELEKTRONİK VE HABERLEŞME MÜHENDİSLİĞİ  
ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**SUALTI ARAÇLARINDA ANFİS YÖNTEMİ İLE NESNE  
TAKİBİ**

**ALİ ALPCAN OFLUOĞLU**

**KOCAELİ 2021**

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ELEKTRONİK VE HABERLEŞME MÜHENDİSLİĞİ**  
**ANA BİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**SUALTI ARAÇLARINDA ANFİS YÖNTEMİ İLE NESNE**  
**TAKİBİ**

**ALİ ALPCAN OFLUOĞLU**

**Doç.Dr. Serhat YILMAZ**

**Danışman, Kocaeli Üniv.**

.....

**Prof. Dr. İ. Hakkı ÇAVDAR**

**Jüri Üyesi, Karadeniz Tek. Üniv.**

.....

**Doç. Dr. İsmet KANDİLLİ**

**Jüri Üyesi, Kocaeli Üniv.**

.....

**Tezin Savunulduğu Tarih: 24.06.2021**

## ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Bu tez çalışması, su altı robotunu geliştirmek ve adaptif ağ tabanlı çıkarım sistemi ile kontrolünü sağlamak amacıyla gerçekleştirilmiştir.

Tez çalışmamda desteğini esirgemeyen, çalışmalarına yön veren, bana güvenen ve yüreklendiren danışmanım Doç. Dr. Serhat YILMAZ'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Akademik çalışmalarım sırasında, birçok aşamada beni destekleyen Elektronik ve Haberleşme Ana Bilim Dalındaki öğretim görevlilerine teşekkür ediyorum.

KALE' de deneysel çalışmalarda bana yardımcı olan Ali Mücahit TÜRK, Güven ÜNEL ve Ramos Hilario DÍAZ'a teşekkür ederim

Akademik kariyerime başlamamı destekleyen Karadeniz Teknik Üniversitesi Elektrik & Elektronik Mühendisliğindeki öğretmenlerime teşekkür ediyorum.

Fen Bilimleri Enstitüsü'ndeki çalışma hayatım boyunca, üzerimdeki emekleri için minnettar olduğum Fen Bilimleri Enstitüsü çalışanlarına teşekkürü borç bilirim.

Hayatım boyunca bana güç veren en büyük destekçilerim, her aşamada sıkıntılarımı ve mutluluklarımı paylaşan sevgili aileme ve arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım

Mayıs – 2021

Ali Alpcan OFLUOĞLU

## İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR .....	i
İÇİNDEKİLER .....	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	iv
TABLOLAR DİZİNİ .....	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	vii
ÖZET.....	viii
ABSTRACT .....	ix
GİRİŞ .....	1
1. SU ALTI ROBOTLARININ YÖNELİM KONTROLLERİ .....	3
1.1. Koordinat Sistemi .....	3
1.1.1. Dünya çerçevesi bazlı koordinat sistemi.....	3
1.1.2. Gövde çerçevesi bazlı koordinat sistemi.....	4
1.2. Nonholonomik Sistemler .....	5
2. SU ALTI ARAÇLARININ MEKANİK VE ELEKTRONİK TASARIMI .....	6
2.1. Mekanik Tasarım .....	6
2.1.1. Gövde tasarımı .....	6
2.1.2. Malzeme seçimi .....	8
2.1.3. Motor tasarımı.....	8
2.1.4. Araç denge düzenleyicileri.....	8
2.2. Elektronik Tasarım.....	9
2.2.1. Motor sürücüleri.....	9
2.2.2. Giriş katmanı.....	12
2.2.3. Haberleşme katmanı.....	13
2.2.4. Güç katmanı .....	14
2.2.5. İşletim katmanı.....	14
3. GÖRÜNTÜ İŞLEME SÜRECİ .....	16
3.1. Görüntünün Alınması.....	16
3.2. Görüntünün İşlenmesi .....	17
3.2.1. Renk tespiti .....	17
3.2.2. Nesne takibi.....	19
3.2.3. Hough dönüşümü .....	19
3.2.4. Kullanılan nesnenin özellikleri .....	21
4. KONTROL YÖNTEMLERİ ve BAŞARIM ÖLÇÜTLERİ .....	23
4.1. PID Kontrol Metodu .....	23
4.1.1. Oransal (p) kontrolör.....	23
4.1.2. Toplamsal (i) kontrolör .....	24
4.1.3. Türev (d) kontrolör.....	24
4.1.4. Ziegler- Nichols yöntemi .....	25
4.2. Yapay Zeka Ve Adaptif Ağ Tabanlı Bulanık Mantık Çıkarım Sistemi (Anfis) Kontrol Metodu.....	26
4.2.1. Bulanık mantık.....	27
4.2.2. Mamdani bulanık modeli .....	29
4.2.3. Takagi- Sugeno bulanık modeli .....	30

4.2.4. Adaptif ağ tabanlı bulanık mantık çıkarım sistemi .....	32
4.2.5. Anfis katmanlarındaki işlemler .....	33
4.2.6. Başarım ölçütleri .....	34
4.2.7. Anfis'in sisteme uygulanması .....	36
4.2.8. Anfis şartlarının belirlenmesi .....	37
5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR .....	40
5.1. Matlab Simülasyon Çalışmaları .....	40
5.2. Deneysel Çalışmalar .....	44
5.3. ANFIS Kontrolü ve PID Kontrolünün Grafikselle Değerleri .....	46
6. SONUÇLAR VE YORUMLAR .....	50
KAYNAKLAR .....	51
EKLER .....	53
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER .....	70
ÖZGEÇMİŞ .....	71



## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1.	Dünya Çerçevesi Bazlı Koordinat Sistemi Gösterimi .....	4
Şekil 1.2.	Gövde Çerçevesi Bazlı Koordinat Gösterimi .....	4
Şekil 1.3.	Bir Aracın Nonholonmi Koşullarında Hareket Eksenini .....	5
Şekil 2.1.	Su Altı Aracının Farklı Yönlerden Gösterimi.....	7
Şekil 2.2.	Aracın Denge Ekipmanlarının Gösterimi .....	9
Şekil 2.3.	BTS7960B Yarım-Köprü Entegresi Gösterimi.....	10
Şekil 2.4.	H-Köprü DC Motor Sürücülerini Gösterimi.....	10
Şekil 2.5.	Motor Sürücüsünün Pinleri Gösterimi .....	11
Şekil 2.6.	Raspberry Pi 3B+ Görseli .....	15
Şekil 3.1.	Pi V2 Kamerası Görseli .....	16
Şekil 3.2.	Göz İrisinin Hough Dönüşümü İle Tanınması.....	20
Şekil 3.3.	Hough Dönüşümünde Oylama Esnasında Çizilen Daireler.....	20
Şekil 3.4.	Hough Daire Dönüşümü Oylaması Akış Şeması.....	21
Şekil 3.5.	Deneyler Yapılırken Kullanılan Hedef .....	22
Şekil 4.1.	Oransal Kontrolör Kuralı .....	24
Şekil 4.2.	Türev Kontrolün Öngörüşel Kontrol Olarak Yorumlanması.....	25
Şekil 4.3.	Literatürde Yaygın Olarak Kullanılan Üyelik Fonksiyonları .....	28
Şekil 4.4.	Bulanıklaştırma ve Durulaştırma Birimlerine Sahip Bulanık Model Sistemi .....	28
Şekil 4.5.	Mamdani Bulanık Mantık Modeli Grafikselleştirilmiş Görseli.....	30
Şekil 4.6.	Sugeno Bulanık Mantık Modeli Grafikselleştirilmiş Görseli .....	32
Şekil 4.7.	ANFIS Katmanları Mimari Yapısı.....	33
Şekil 4.8.	ANFIS Kural Uygulamaları Akış Şeması.....	34
Şekil 4.9.	Dinamik Sistemlerin Kararlılık Analiz Grafiği.....	36
Şekil 4.10.	Nesne Tespitinin Görseli .....	37
Şekil 4.11.	$\pm X$ Ekseninde Robotun Hareket Şartları Akış Şeması.....	38
Şekil 4.12.	$\Phi$ Açısalla Hareketinde Robotun Hareket Şartları Akış Şeması .....	39
Şekil 5.1.	Yön Kontrolü Test Sonuçları .....	40
Şekil 5.2.	Bin Kez eğitim Sonucu Oluşan Hatanın Eğitim Verileri ile Testi .....	41
Şekil 5.3.	On Bin Kez eğitim Sonucu Oluşan Hatanın Eğitim Verileri ile Testi.....	41
Şekil 5.4.	Bin Kez eğitim Sonucu Oluşan Hatanın Test Verileri ile Testi.....	42
Şekil 5.5.	On Bin Kez eğitim Sonucu Oluşan Hatanın Test Verileri ile Testi .....	42
Şekil 5.6.	ANFIS Yaw Açısı Denetim Sisteminin Çıkış Üyelik Fonksiyonları .....	43
Şekil 5.7.	ANFIS Yaw Açısı Denetim Sisteminin Çıkış Üyelik Fonksiyonları .....	43
Şekil 5.8.	Robotun $\pm X$ Eksenindeki Hareketi İçin Hedefin Konumu .....	44
Şekil 5.9.	Aynı Doğrultuda Hedefin Programla Tespiti.....	44
Şekil 5.10.	Robotun Sağa Dönüş Hareketi İçin Hedefin Konumu.....	45
Şekil 5.11.	Hedef, Robotun Sağında Hedefin Programla Tespiti .....	45

Şekil 5.12.	Robotun Sola Dönüş Hareketi İçin Hedefin Konumu .....	46
Şekil 5.13.	Hedef, Robotun Solundayken Programla Tespiti .....	46
Şekil 5.14.	Yaw Açısı Kontrolünde E (Hata) Değerleri.....	47
Şekil 5.15.	Yaw Açısı Kontrolünde Sapma Miktarı .....	48
Şekil 5.16.	Yaw Açısı Kontrolünde PWM Değerleri.....	49



## TABLolar DİZİNİ

Tablo 2.1.	Su Altı Aracının Fiziksel Boyutları ve Elektriksel Kapasitesi .....	7
Tablo 2.2.	Motor Sürücüsü Pinleri Görev Dağılımı.....	11
Tablo 3.1.	Gökkuşığı Renklerinin HSV Uzayında Limitleri.....	18
Tablo 3.2.	Hedefin Belirli Uzaklıklardaki Çapı .....	21
Tablo 4.1.	Ziegler-Nichols Parametre Ayarı Formülleri.....	25
Tablo 4.2.	$\pm X$ Ekseninde Robotun Hareket Şartları .....	37
Tablo 4.3.	$\phi$ Açısal Hareketinde Robotun Hareket Şartları .....	38
Tablo 5.1.	Kurallar Girdi/Çıktı Tablosu.....	43
Tablo 5.2.	Kontrol Metotlarının Kararlılık Analiz Değerleri.....	48
Tablo A.1.	Eğitim Verileri .....	54
Tablo B.1.	Test Verileri .....	57



## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

A	: Amper
Cm	: Santimetre
Kg	: Kilogram
Px	: Piksel
R	: Direnç
Sn	: Saniye
V	: Volt
W	: Watt

### Kisaltmalar

ANFIS	: Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (Adaptif Ağ Tabanlı Bulanık Mantık Çıkarım Sistemi)
BFF	: Body Fixed Frame (Gövde Bazlı Çerçeve)
EFF	: Earth Fixed Frame (Dünya Bazlı Çerçeve)
HSV	: Hue, Saturation, Value (Ton, Canlılık, Parlaklık)
İHA	: İnsansız Hava Aracı
İSA	: İnsansız Su Altı Aracı
PID	: Proportional, Integral, Derivative (Oransal, Toplamsal, Türevsel)
PVC	: Polyvinyl Chloride (Polivinil Klorür)
PWM	: Pulse Width Modulation (Darbe Genlik Modülasyonu)
RGB	: Red, Green, Blue (Kırmızı, Yeşil, Mavi)

## SUALTI ARAÇLARINDA ANFIS YÖNTEMİ İLE NESNE TAKİBİ

### ÖZET

Bu çalışmanın amacı, su altında yapılan araştırma ve keşiflerde dalgıçlara eşlik edebilecek, onların hareketlerini takip edebilecek bir insansız su altı robotunun kontrol sistemi tasarlamaktır.

Araç öncelikli olarak su altında görüntü işleme metotları ile takip edeceği hedefi belirleyecektir. Sonrasında ANFIS metodu ile yapacağı hareketleri belirleyecektir. Daha sonrasında ise motor sistemini sürerek kendi hareketini sağlayacaktır.

Bu tez kapsamında, daha öncesinde Doç. Dr. Serhat YILMAZ' ın yürütücülüğünde, PID kontrol sistemi ile gerçekleştirilen su altı robotunun, kontrol sistemini daha verimli sonuç vereceğini düşündüğümüz ANFIS kontrol sistemi ile yeniledik.

Geliştirilen ANFIS algoritması sayesinde, PID kontrolöre nazaran dönüşlerin daha keskin ve istenilen biçimlerde olması sağlanmıştır. ANFIS uygulaması Python programlama dili ve programlanabilir Raspberry Pi elektronik kartı ile geliştirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** ANFIS, Bulanık Mantık, Görüntü İşleme, Nesne Takibi, Su Altı Robotu Kontrolü.

# **OBJECT TRACKING IN UNDERWATER VEHICLES WITH ANFIS METHOD**

## **ABSTRACT**

The aim of this study is to redesign the control system of an unmanned underwater robot that can accompany and follow the movements of divers in underwater research and exploration.

Firstly, it will determine the target it will follow with the underwater image processing methods. Then it will determine the movements that will make with the the ANFIS method. After that, it will provide its own movement by driving the motors.

Within the scope of this thesis, previously under the leadership of Assoc. Prof. Dr. Serhat YILMAZ, we renewed the underwater robot's control system, which is implemented with the PID control system, with the ANFIS control system, which we think will give more efficient results.

When compared to the PID controller, the developed ANFIS algorithm ensures that the turns are sharper and in the desired forms. The Python programming language and the programmable Raspberry Pi electronic board were used to create the ANFIS application.

**Keywords:** ANFIS, Fuzzy Logic, Image Processing, Object Tracking, Underwater Robot Control.

## GİRİŞ

İnsansız araçlar, gelişen teknoloji ile birlikte günlük hayatımızda dahi çok sık karşımıza çıkan herkes tarafından aşına olunmuş bir kavramdır. Araştırma sistemleri, savunma sistemleri hatta hobi amaçlı olarak bile birçok alanda kullanımı mevcuttur. İnsansız araçlar, diğer araçlara oranla daha küçük yapıları sayesinde, kullanım alanları konusunda büyük farklar yaratmışlardır. Küçük yapıları maddi açıdan da avantaj sağlamaktadır. Temel olarak; içerisinden insan kontrolü olmayan, gerekli durumlarda dışarıdan kontrol edilebilen araçların bütünüdür.

Kullanım yerlerine göre ve kontrol şekillerine göre insansız araçları iki şekilde sınıflandırabiliriz. Kullanım yerlerine göre insansız araçların sınıflandırılması insansız su altı araçları (İSA), insansız kara araçları (İKA) ve insansız hava araçları (İHA) olmak üzere üçe ayrılır. Kontrol şekillerine göre insansız araçlar ise otonom ve uzaktan kontrollü olmak üzere iki sınıfa ayrılır. Otonom araçlar kendiliğinden kontrol ve yönelim sağlayan araçlardır. Otonom araçlar çeşitli sensörler yardımı ile hareketlerini sağlar.

Literatürde su altı araçları ile ilgili birçok çalışma bulunmaktadır. İnsansız su altı araçlarının tarihte ilk olarak kim tarafından geliştirildiğine dair kabul görmüş bilgiler bulunmasa da, kayıtlara geçen en eski iki örnekten birincisi PUV Programmed Underwater Vehicle adı ile Avusturya'da 1864'te Luppis-Whitehead Automobile tarafından geliştirilmiş olan torpido şeklindeki bir uzaktan kumandalı su altı aracıdır. Bugün yaygın olan forma daha yakın olan ilk uzaktan kumandalı su altı aracı ise 1953'te Dimitri Rebikoff tarafından tasarlanan Poodle isimli araçtır. İnsansız su altı aracı geliştirme çalışmalarındaki ilk ciddi ilerlemeler ise Britanya Kraliyet Donanması ve ABD Donanması tarafından gerçekleştirilmiştir. [1]

Gelişmeler bununla kalmamış ve su altı araçları birçok alanda kullanılmaya devam edilmiştir. Ülkemizde de ASELSAN A.Ş. tarafından otonom sualtı aracı modellemesi, denetimi ve hareket planlama tasarımı çalışması gerçekleştirilmiştir. [2]

Bunun yanı sıra Kocaeli Üniversitesi'nde de öğretim görevliliği yapan Serhat YILMAZ ve Mehmet YAKUT' un öncülüğünü yaptığı "Lucky Fin" isimli çalışma ile su altı araçlarının derinlik ve yön kontrolü uygulamaları üzerinde çalışmalar başarımlar sağlanmıştır. [3]

Bu çalışmada; daha önceden PID kontrol yöntemi ile denetimi gerçekleştirilmiş olan su altı aracında, Hough algoritması ile görüntü işleme tekniği kullanarak, nesne tespiti yapan ve ağ tabanlı bulanık çıkarım sistemi (ANFIS) ile yön kontrolü sağlayan bir nesne takip yöntemi geliştirilmiştir.



## **1. SU ALTI ROBOTLARININ YÖNELİM KONTROLLERİ**

Bir cismin bulunduğu uzayda hareket edebileceği her boyut o cismin toplam serbestlik derecesi diye adlandırılır. Hava ya da su uzayında hareket edebilecek cisimlerin serbestlik dereceleri altı adetken karada hareket edebilen cisimlerin serbestlik uzayı sadece üçtür.

Cismin bulunduğu uzayda kontrol edilebileceği maksimum serbestlik derecesi ise kontrol edilebilir serbestlik derecesi diye adlandırılmıştır. Kontrol edilebilir serbestlik dereceleri artan cisimlerin kinematik formülasyonu da zorlaşır. Bu yüzden cisimlerin kontrol edilebilir serbestlik dereceleri olabildiğince düşük seçilerek kontrol sistemleri daha basit hale indirgenmelidir.

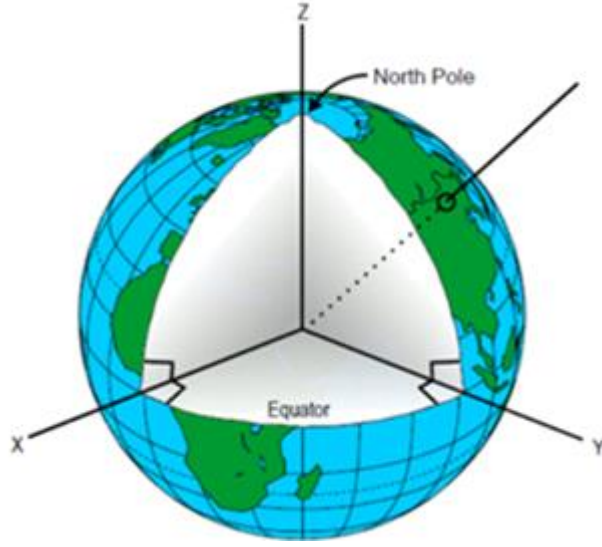
Kontrol edilebilir serbestlik derecesi azaltılabilmış cisim holonomik olmayan, nonholonomik olarak adlandırılmıştır. Bu konu ile ilgili daha detaylı bilgi Başlık 1.2. de verilecektir.

### **1.1. Koordinat Sistemi**

Dünya yüzeyinde herhangi bir cismin hareketini matematiksel şekle dönüştürmek için kullanılan sisteme koordinat sistemi denir. Koordinat sisteminde bir hareketi tanımlayabilmek için herkes tarafından bilinen ortak koordinat sistemi gerekmektedir.

#### **1.1.1. Dünya çerçevesi bazlı koordinat sistemi**

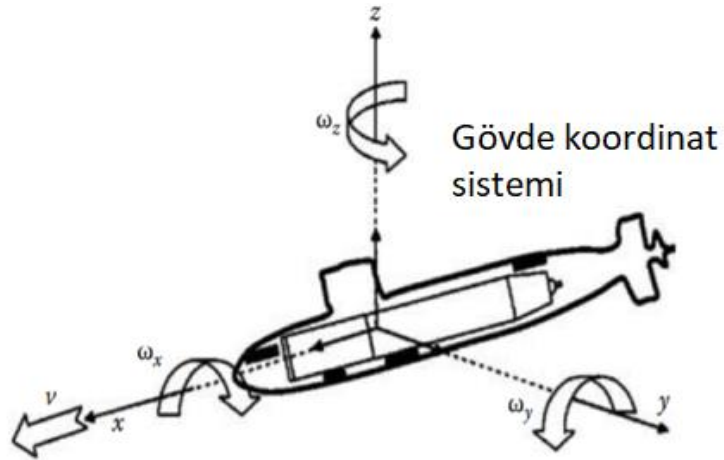
İngilizcede Earth-Fixed Frame olarak adlandırılan, dünya çerçevesi bazlı koordinat sistemi herkes tarafından kabul edilen ortak koordinat sistemidir. Dünyanın merkezinin orijin olarak kabul gördüğü koordinat sisteminde; merkezden ekvatora doğru olan düzlem X ve Y eksenlerini, merkezden kutup noktasına doğru olan hat ise Z eksenini ifade eder. Dünya çerçevesi bazlı koordinat sistemi Şekil 1.1'de gösterilmiştir.



Şekil 1.1. Dünya Çerçevesi Bazlı Koordinat Sistemi (Earth Fixed Frame) Gösterimi [4]

### 1.1.2. Gövde çerçevesi bazlı koordinat sistemi

İngilizcede Body-Fixed Frame olarak adlandırılan, gövde çerçevesi bazlı koordinat sistemi; hareket edecek cismin kendine ait olan koordinat sistemidir. Temel olarak dünya çerçevesi bazlı koordinat sistemine benzeyen bir mantığı vardır. Cismin ağırlık merkezi orijin noktası kabul edilirken, ileri, geri hareket edebildiği doğrultu X eksenini, sağa, sola hareket edebildiği doğrultu Y eksenini ve aşağı, yukarı hareket edebildiği doğrultu ise Z eksenini olarak adlandırılır. Şekil 1.2 'de bir torpilin gövde çerçevesi bazlı koordinat sistemi gösterilmiştir.

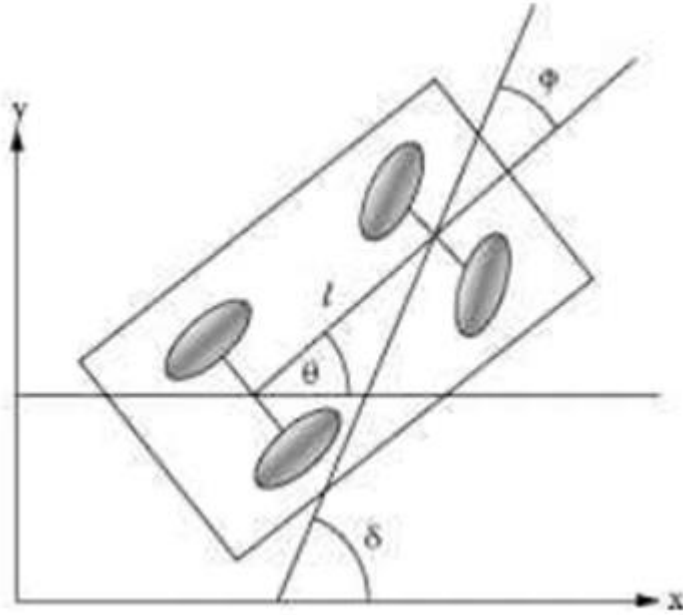


Şekil 1.2. Gövde Çerçevesi Bazlı Koordinat Gösterimi (Body Fixed Frame) [4]

## 1.2. Nonholonomik Sistemler

İlk olarak 1894'te Heinrich HERTZ tarafından kullanılan holonominin, robotik açılarından tanımı; cismin toplam serbestlik dereceleri ile kontrol edilebilir serbestlik derecelerinin eşit olması anlamına gelmektedir. [5]

Eğer cismin kontrol edilebilir serbestlik dereceleri ile toplam serbestlik dereceleri eşit değilse sistem, nonholonomik (anholonomik) sistem olarak adlandırılır. Nonholonomik bir sistem araba örneği ile çok kolay anlaşılır olabilir. Karada hareket edebilen cisimler için toplam serbestlik derecesinin 3'tür. Ancak bir araba sadece  $x^+$ ,  $x^-$  yönlerinde doğrudan hareket edebilirken;  $y^+$ ,  $y^-$  yönlerinde ise sadece  $x$  eksenindeki açısal hareket sayesinde ilerleyebilir. Arabalar için hareket eksenini Şekil 1.3 'de gösterilmiştir.



Şekil 1.3. Bir Kara Aracının Nonholonomik Koşullarında Hareket Ekseni [4]

Araç tekerleklerinin dönüş açıları  $90^\circ$  ye ulaşmadığı için doğrudan  $y$  ekseninde hareket etme imkânları yoktur. Bu hareket kısıtlaması da arabaları nonholonomik yapar.



## **2. SU ALTI ARAÇLARININ MEKANİK VE ELEKTRONİK TASARIMI**

Su altında kullanmak için araç ya da robot tasarımında en önemli hususlardan birisi aracın hidrodinamik yapısıdır. Suyun içinde istenilen, dalış ya da çıkış hareketleri, doğru yönelimler ve istemsiz batmayı engellemek aracın doğru hidrodinamik tasarımından geçer. Diğer bir deyişle hidrodinamik yapı mekanik sistemin temelini oluşturur.

Suyun içinde robotun bulunduğu konumu, derinliği, yapacağı işlemleri, haberleşmesini sağlayan kısım ise elektronik kısımdır. Elektronik kısım da kendi içerisinde katmanlara ayrılır. Her bir katmanın ayrı görevleri bulunur ancak her katman birbiri ile ilişkilidir.

### **2.1. Mekanik Tasarım**

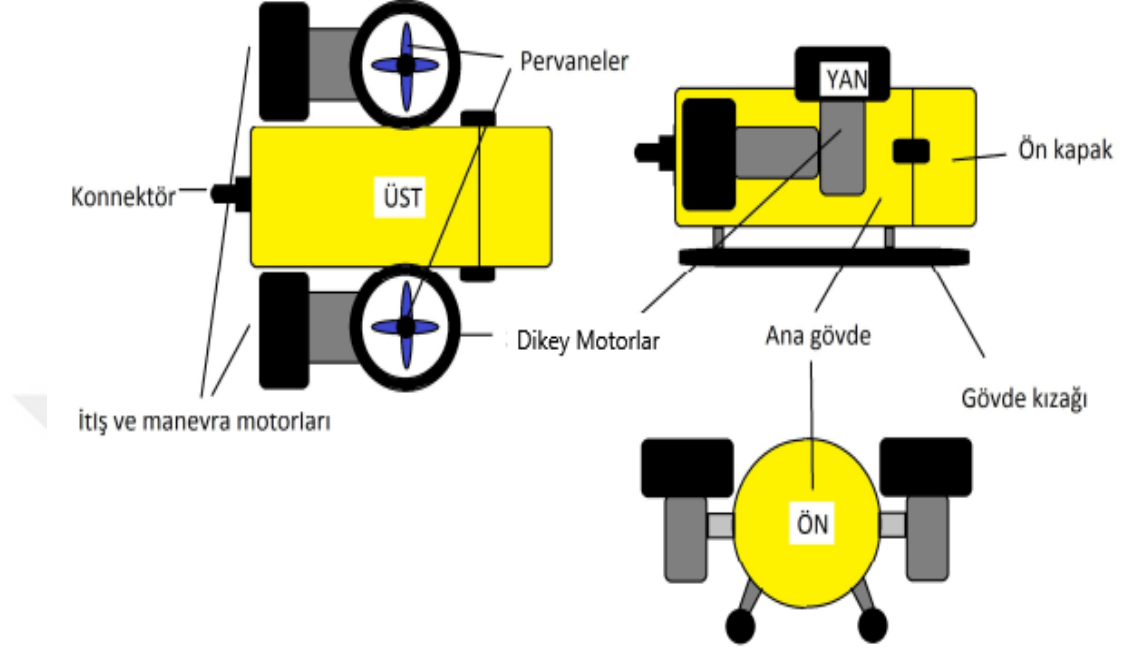
Günümüzde birçok endüstriyel alanda insansız araçların kullanımı yaygınlaşmıştır. Doğruluğu ve güvenilirliği, maliyeti, insan hayatını koruması gibi birçok özelliği sayesinde de kullanım alanları artacaktır. Sadece karada değil hava ve suda da aktif olarak kullanılabilen insansız araçlar, çalıştığı yere göre de yeniden şekillendirilir.

Örneğin bir insansız hava aracının aerodinamik yapısı, onu uçmaya elverişli kılarken aynı aerodinamik yapı insansız kara aracında gereksiz savrulmalara yol açabilir. Bu nedenden dolayı insansız araçların mekanik yapıları çok büyük önem taşır. Mekanik tasarımlar, çalışma ortamlarına göre ortak ya da farklı özelliklere sahiptir. Her gövde elektronik sistemi korumaya çalışır ancak insansız kara araçlarında toza karşı daha büyük önlemler alınması gerekirken, insansız su altı araçlarında ise su sızmalarına karşı daha büyük önlemler alınır.

#### **2.1.1. Gövde tasarımı**

Aracımızın gövdesi; elektronik sistemin içinde bulunduğu ana gövde, pillerin içinde bulunduğu 2 adet kızak gövde ve 4 adet motordan oluşmaktadır. Gövdede hem ana parçalar hem de ek yerleri su geçirmez maddelerden yapılmıştır. Hidrodinamik

koşullarına uygun olan tasarım; hem suya batış hem de yüze çıkış hareketlerini kolaylaştırmaktadır. Aracın taslak çizimi Şekil 2.1 'deki gibidir.



Şekil 2.1. Su Altı Aracının Farklı Yönlerden Gösterimi [3]

Ana gövde PVC'den oluşmuştur. Ön tarafından şeffaf ve dışbükey bir camı bulunmaktadır. Gövde kızıakları ve pervane başları mika bazlı plastiktir. Tamamı basınç ve sızdırmazlık testlerine tabi tutulmuştur. Aracın gövde ölçüleri Tablo 2.1'de verilmiştir.

Tablo 2.1. Su Altı Aracının Fiziksel Boyutları ve Elektriksel Kapasitesi

Uzunluk	Genişlik	Çapraz	Yükseklik	Ağırlık	Motor Güçleri	Piller
46 cm	43,5 cm	47 cm	30 cm	13 kg	12V-3A yaklaşık 30W	12V-3700mA

Ayrıca robotun arka kısmında elektronik sistemle bilgisayar bağlantısı için bir konektör ve buna ait bir kapak bulunmaktadır.

### **2.1.2. Malzeme seçimi**

Denizlerin yoğunluğu tatlı sulara oranla çok daha fazladır. Bu yoğunluk farkı; hem derinlikle artan basınç miktarını yükseltir hem de korozyonu artırır. Ayrıca yoğunluğun yükselmesi sistem hareket ederken harcama enerjisi de yükseltir. Yüksek basınçtan minimum düzeyde etkilenmek için hidrodinamik yasalarından faydalanılmıştır. Yüksek basınç altında en rahat hareket edebilecek sistemler silindirik sistemlerdir. Bu nedenle su altı robotumuz silindirik tasarlanmıştır. Bunun yanı sıra gövde et kalınlığı da yüksek basınç şartlarına göre ayarlanmıştır. Artan korozyon miktarından en az seviyede etkilenmek ve sistemi hafif tutabilmek için alüminyum gövde tercih edilmiştir. Alüminyumun düşük özgül ağırlığı, manyetize olmaması ve düşük ısılarla dayanabilmesi büyük avantajlar sağlamaktadır.

### **2.1.3. Motor tasarımı**

Robotumuzda ikisi dikey, ikisi yatay olmak üzere 4 adet fırçalı doğru akım motoru kullanılmıştır. Dikey motorlar batma, çıkma hareketlerini, derinlik ayarlamasını ve roll açısındaki hareketini sağlamaktadır. Yatay motorlar ise ilerleme hareketini ve yaw açısındaki hareketlerini sağlamaktadır. Su altı robotumuzda fırçalı motor kullanmamızın nedeni; maliyet ve boyut konusunda çok fazla seçenek sunabilmesidir. Bunların yanı sıra diğer motor tiplerinden farklı olarak fırçalı motorlarda sargılardaki akımı değiştirmek için kontrolcüye ihtiyaç duyulmamaktadır. Bunun yerine, motorun sarımlarının mekanik olarak komütasyonu, yani yön değişimi yapılır. Komütatör motorun aksında bulunur. Motor döndükçe karbon fırçalar komütatörün üzerinden kayar ve farklı parçalarla temas eder. Segmentler farklı rotor sargılarına bağlıdır, bu nedenle dinamik bir manyetik alan üretilir. Fırça ve komütatör birbirlerinin içlerinden geçtiği için aşınmaya en yatkın motor parçalarıdır. [6]

### **2.1.4. Araç denge düzenleyicileri**

Robotumuzun; denizdeki akıntılardan, su canlılarından, motorun çalışmasından kaynaklanabilecek herhangi olaylardan dolayı, su içinde dengesini kaybetmesini, alabora olmasını engellemek için üst kısmında yüzdürücüler bulunmaktadır.

Robotumuzun dengeli batmasını ve batarken alabora olmasını engellemek için kurşun plakalar kullanılmıştır. Ayrıca pillerde kurşunları dengelemek için alt kısma yerleştirilmiştir. Yüzdürücülerin ve kurşunların yerleşimi Şekil 2.2 'de gösterilmiştir.



Şekil 2.2. Aracın Denge Ekipmanlarının Gösterimi [3]

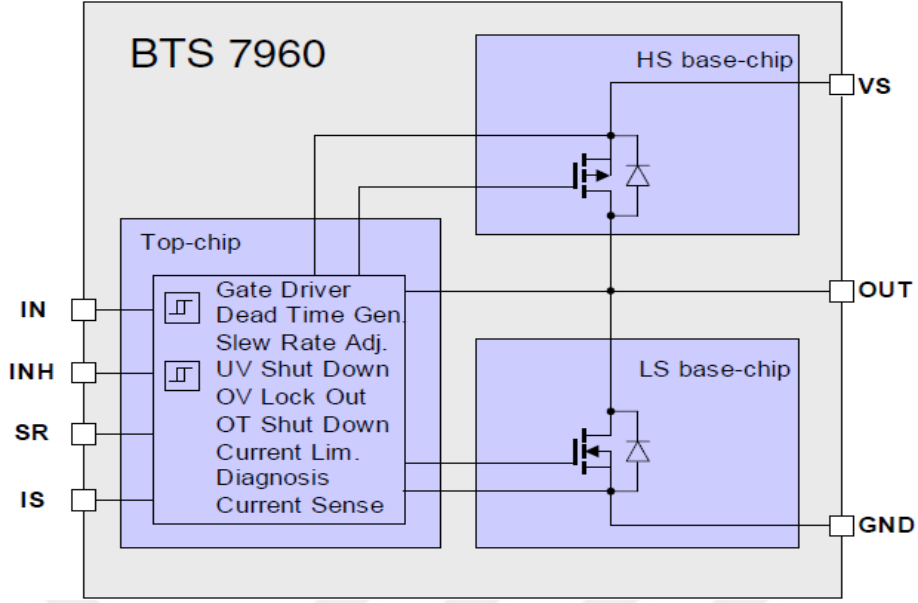
## 2.2. Elektronik Tasarım

Elektronik tasarım; güç, giriş, haberleşme, işletim gibi katmanları içeren kısımdır. Su, toz ve manyetizma gibi bozucu her etkiden korunması gereken elektronik sistem, mekanik sistemin içinde muhafaza edilir.

### 2.2.1. Motor sürücülerini

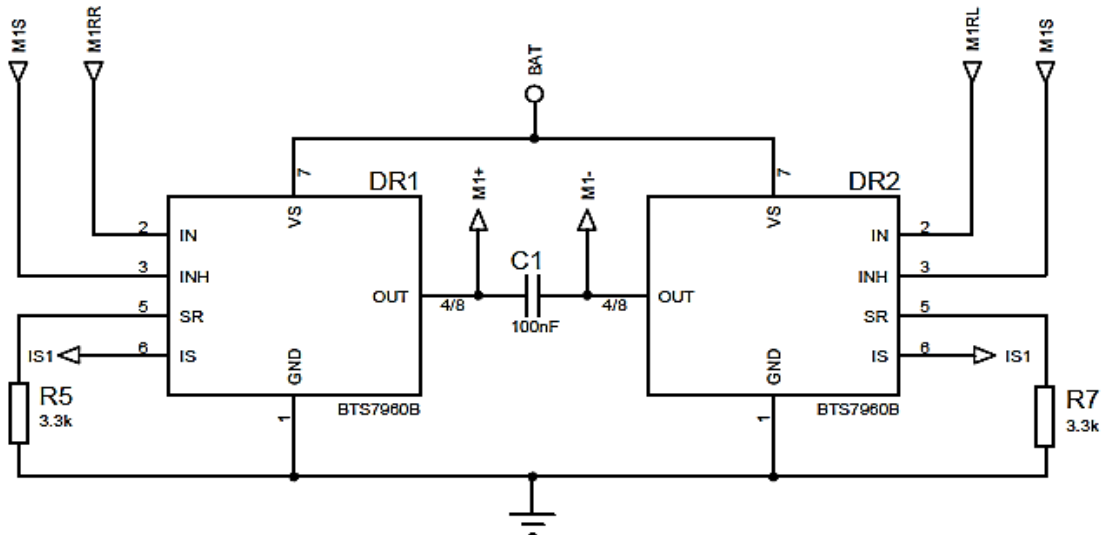
Motor sürücülerinin bulunduğu bu katman hareket yönetici katmanı olarak adlandırılır. Robotumuzda kullanılan doğru akım motorları 12V-3A değerlerine sahiptir. Yüksek akım çeken bu motorların bu motorların kontrol edilebilmesi için mikrodenetleyicinin çıkışları yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle motorları sürmek için mikrodenetleyici çıkışlarını yükseltmek gerekir. Yapılan araştırmalar sonucu, yükseltme işlemi için en uygun yapı H-köprülü motor sürücü, olduğu bulunmuştur.

H-köprülü motor sürücülerini iki adet BTS7960B yarım-köprü entegresinin birlikte kullanılması ile elde edilen bir yapıdır. Yüksek akımlarda kullanılmasına rağmen içerisinde; alçak ve yüksek gerilim koruması, sıcaklık koruması, akım sınırlayıcı bulunmaktadır. Şekil 2.3' de BTS7960B yarım-köprü entegresi gösterilmektedir.



Şekil 2.3. BTS7960B Yarım-Köprü Entegresi Gösterimi [7]

H-köprülü motor sürücünün kullanılmasının temel amacı, bağlantı kombinasyonları ile motorun çift yönlü çalışmasını mümkün kılmasıdır. Doğru akım motorunun uçlarını denetleyici ile düz yönde kutuplayarak motorun bir yönde dönmesi sağlanır. Ters kutuplama işlemiyle de motor diğer yönde dönmeye başlar. Ayrıca H-köprülü motor sürücü hız denetimi de sağlar. Şekil 2.4’ de H-köprülü motor sürücüsünün tasarımı bulunmaktadır.



Şekil 2.4. H-Köprü DC Motor Sürücüsü Gösterimi [7]

H-köprülü motor sürücüsünün pinleri de tasarım aşamasını kolaylaştırmak adına, önemli pinler çoklanmıştır. Şekil 2.5’ de motor sürücüsünün pin yapısını ve Tablo 2.2 de pinlerin özellikleri gösterilmiştir.



Şekil 2.5. Motor Sürücüsünün Pinleri Gösterimi [8]

Tablo 2.2. Motor Sürücüsü Pinleri Görev Dağılımı

Akım Ölçer (1)	Çekilen toplam akımı görmek için bu pin kullanılabilir.
PWM1, PWM2(3,7)	Mikroişlemciden gelen PWM değerleri için kullanılan pindir.
Enable(5)	Enable pini mosfetlerin üzerinden akım akması için gerekli olan lojik değerın atanmasını sağlar.
Motor A(9,11)	Doğrudan motorlara giden pinlerdir. Fazla akım ve voltajın daha stabil bir şekilde dağıtılması için, her motor için iki pin kullanılmıştır.
Motor B(13,15)	Doğrudan motorlara giden pinlerdir. Fazla akım ve voltajın daha stabil bir şekilde dağıtılması için, her motor için iki pin kullanılmıştır.
12V-Sürücü beslemesi(2)	Sürücüyü beslemek için kullanılan pindir.
Ground(4,6,8)	Toprak bacağı
12V-Motor Beslemeleri(10,12,14,16)	Motorların beslenmesi için kullanılan pindir.

### 2.2.2. Giriş katmanı

Giriş katmanında algılayıcılar bulunmaktadır. Bu algılayıcılar derinlik, yön, eğilim, ivme ve sıcaklık gibi bilgileri vermektedirler. Ana algılayıcı olarak GY80 IMU kullanılmıştır. Üzerinde HMC5883L manyetometre, ADXL345 akselerometre, L3G4200D jiroskop ve BMP085 dijital basınç algılayıcısı bulunmaktadır. Ayrıca Bar30 derinlik ve basınç sensörü, DS18B20 sıcaklık algılayıcısı bulunmaktadır.

Robotun basınç açısından izin verilen değerlerin dışına çıkması, hem gövdede şekil bozukluklarına hem de buna bağlı olarak elektronik sistemde maddi kayıplara neden olacaktır. Aracın içinde olduğu derinliği en doğru şekilde ölçmek ve kullanılabilir limitlerin içinde tutabilmek için Bar30 basınç algılayıcısını tercih edilmiştir. Özellikle 0.2mbar çözünürlük ile 2 milimetrelik değişiklikleri bile algılayabilmektedir.

Günümüzde çok yaygınlaşan insansız araçların yer, konum belirlemek için kullandığı sistem elektronik pusuladır. Bu çalışmada TCM 3 elektronik pusula kullanılmıştır. Üç eksenli çalışabilen TCM 3 elektronik pusula  $\pm 0.5$  doğruluk adımı ve 0.1 hassasiyet adımı ile çalışır. Sistemimizde Microsoft Visual C# ile tasarlanan ara yüz programında kullanılacaktır.

GY 80 IMU; manyetometre, akselerometre, jiroskop ve barometre içeren kendi regülatörü sayesinde 3,5V ya da 5V gerilim değeri ile çalışabilen bir konum kontrol modülüdür. Hem kendisi hem de üzerindeki modüller I<sup>2</sup>C protokolüyle haberleşmektedir.

HMC5883L manyetometresi robotun bulunduğu manyetik ortamı algılayabilir. Sürekli mod veya tekli modda çalışabilir. Sürekli modda durmaksızın ölçüm ve kayıt yapar, entegreden istendiği zaman bu değerler okunabilir. Tekli modda ise sadece istendiği zamanlarda ölçüm yapar. Bunun dışındaki zamanlarda ise bekleme modundadır ve güç tüketimini azaltır.

ADXL345 akselerometre çizgisel ivmeyi ölçen bir donanımdır. Akselerometre yer çekimi ivmesinden etkilendiği için ölçüm bu durum göz önüne alınarak yapılır. Yüksek çözünürlüğü sayesinde eğim ölçümünü 1° için bile yapabilir.

L3G4200D jiroskop açısal hızı ölçer. Bir cismin bir eksen etrafında ne kadar hızlı döndüğünü ölçerler. Akselerometrelerin aksine yer çekimi ivmelerinden etkilenmezler ve bu nedenle bir birleri için tamamlayıcı olurlar.

BMP085 barometre ya da dijital basınç algılayıcısı piezo rezistif basınç ölçüm entegresidir. Aynı zamanda kendi içinde sıcaklık sensörü de barındırır. Özellikle düşük güç tüketimi gerektiren uygulamalarda çok verimlidir. Robotumuzda; birden çok sistemde sıcaklık ölçer olmasına rağmen bulunduğu suyun sıcaklığını direk olarak ölçmek için DS18B20 sıcaklık algılayıcısı kullanılmaktadır. Bu entegrenin ayrıca termostat olarak kullanmak için kullanıcı tarafından tanımlanabilen alarm sınırları mevcuttur.

### **2.2.3. Haberleşme katmanı**

Günümüzde kablolu seri haberleşme adına birçok protokol vardır. I<sup>2</sup>C, SPI, USART bunlardan bazılarıdır. Her standardın ulaşabileceği maksimum hız, kullandıkları hat sayısı farklılık göstermektedir. Örneğin USART uzun hatlarda kullanılır ancak veri iletim hızı oldukça düşüktür. USART protokolünün aksine I<sup>2</sup>C oldukça hızlı bir haberleşme sağlamaktadır.

Kart üzerindeki mikrodenetleyiciyi bütün sensor verilerini okuyup bu verileri hem kontrol algoritmasında kullanmakta hem de kullanıcı ara yüzüne iletmektedir. Mikrodenetleyicilerimizin sensörler ve ara yüz ile haberleşebilmesi için USART, I2C ve 1-Wire haberleşme protokolleri kullanılmıştır.

USART çoğu mikrodenetleyicide bulunmaktadır. Kullanımı basit ve standart olan bir haberleşme protokolüdür. Verilerin senkron ya da asenkron olarak iletişimi için kullanılmaktadır. Robotumuzun iletişiminde dört adet USART iletim hattı bulunmaktadır.

I<sup>2</sup>C protokolü iki hat üzerine kurulmuştur. Bu hatlar SDA ve SCL diye adlandırılırlar. SCL saat darbelerini SDA ise verileri aktarır. Birden fazla veri transferini aynı anda başlatabilme özelliğine sahiptir. Bu robotda iki adet I<sup>2</sup>C iletim hattı bulunmaktadır.



#### **2.2.4. Güç katmanı**

Su altı robotumuzun tasarımı kablosuz olduğu için tüm sistemlerimiz depo enerji ile çalışmaktadır. Depo enerji olarak robotumuzda 12V geriliminde 3.7A akım değerinde iki adet pil bulunmaktadır. Başlık 2.1.1. Gövde Tasarımı kısmında araçta bulunduğu yerler açıklanmıştır.

Sualtı robotumuzda kullanılan piller, yeniden şarj edilebilir lityum polimer elektrolitli pillerdir. Şarj işlemleri kendilerine ait Imax B6AC şarj aleti ile yapılmaktadır. Yine aynı başlıkta açıklanan arka konektör çıkışının olduğu kısımdan pillerin şarj kablolarına da ulaşılabilir. Piller aracımızda hem güç kaynağı hem de ağırlıklarından dolayı batırma görevini üstlenmektedir.

#### **2.2.5. İşletim katmanı**

Mikrodenetleyicilerin bulunduğu bu katman su altı aracının yönetim merkezidir. Tüm katmanlarda yönetilen süreçleri denetler, düzenler, işletir ve iki yönlü veri akışının sağlar.

Sualtı aracında görüntü işleme ve ANFIS denetim yazılımları işletim katmanı içinde yürütülmektedir. Bu süreçler hakkında sonraki bölümlerde daha detaylı bilgiler verilecektir. Kullanacağımız mikrodenetleyici ise Raspberry Pi 3+ olarak tercih edilmiştir.

Raspberry Pi 3+ kartı gücünü Broadcom firmasının 64 bit, 1.4 GHz hızındaki işlemcisini kullanır. 512 MB dahili RAM' e sahiptir. Bu sayede yapılacak işlemleri çok hızlı bir şekilde gerçekleştirmektedir ve birden fazla işlem yapmaya olanak sağlamaktadır. Wifi ve bluetooth bağlantı özellikleri sayesinde kablosuz veri aktarımı ve uzaktan erişim gerçekleştirebilmektedir.

Üzerindeki dört adet USB 2.0 portu aracılığıyla mouse, klavye gibi çevresel birimler bağlanabilmektedir. Dışarıdan veri alması ya da dışarıya veri yollayabilmesi için dahili 40 pin GPIO başlığı bulunmaktadır. Görüntü ve ses elemanlarının bağlanabilmesi için; 1 adet HDMI, DSI görüntü, CSI kamera portu bulunmaktadır.

Raspberry Pi 3 B+ kartı 5V besleme gerilimi ile çalışmaktadır. 5V-2.5A güç verebilen, micro USB portlu bir adaptör ile beslenebilir. Ayrıca 5V GPIO pini üzerinden de harici olarak beslenebilmektedir. Raspberry Pi 3 B+ Şekil 2.6'da gösterilmektedir. [9]



Şekil 2.6. Raspberry Pi 3B+ Görself [10]

### 3. GÖRÜNTÜ İŞLEME SÜRECİ

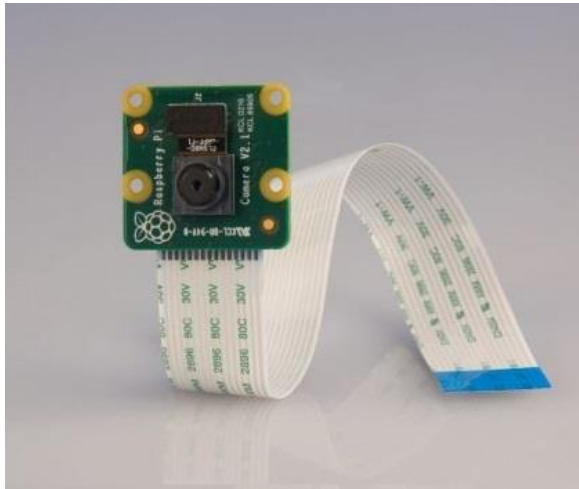
Günümüzdeki teknolojik gelişmeler ile birlikte; güvenlik sistemleri, tıp ve cerrahi sistemler, savunma sanayi, otonom araçlar ve daha yüzlerce alanda görüntü işleme uygulamaları kullanılmaya başlanmıştır. Telefon yüz tanıma sisteminden, nesne takip sistemine kadar birçok alanda insan hayatının bir parçası olmuştur.

Temel olarak herhangi bir görüntünün dijital ortama aktarılması ve bunun üzerinden istene değerlere göre verilerin saptanabilmesidir. Bu görüntü bir fotoğraf ya da bir video olabilir. Önemli olan o görüntü üzerinde uygulanacak işlemlerdir.

Öncelikli olarak görüntünün nasıl alınacağı, üzerinde hangi işlemlerin yapılacağı, hangi yöntemin uygulanacağı belirlenmelidir. Sonrasında algoritma oluşturulmalıdır. Sırasıyla adım adım işlemler uygulanmalıdır. Bu işlemler için OpenCV Kütüphanesi kullanılmıştır. OpenCV Kütüphanesi açık kaynak yazılıma sahip bir kütüphane olmakla birlikte çok fazla görüntü işleme algoritmasına da sahiptir. Bu kütüphanenin en büyük avantajı algoritmamızdaki fonksiyonları desteklemesidir.

#### 3.1. Görüntünün Alınması

Kullanılacak görüntünün çekim zamanının belirlenmesi gerekmektedir. Görüntü eskiden çekilmiş bir görüntü ya da anlık çekilebilecek bir görüntü olabilir.



Şekil 3.1. Pi V2 Kamerası Görseli [10]

Çalışmamızda denetleyicimizle uyumlu çalışması için aynı firmaya ait olan Raspberry Pi V2 kamerası tercih edilmiştir çünkü mikrodenetleyicimizde Raspberry olduğu için hem çalışması hep istikrarlı olmuştur hem de denetleyici üzerinde kameraya ait giriş olması avantaj sağlamıştır. Bunun yanında Pi V2 kameranın boyutunun küçüklüğü ve çalışma hızı sağladığı diğer avantajlar olmuştur.

### **3.2. Görüntünün İşlenmesi**

Karşılaşılan probleme özgü olarak literatürde birçok görüntü işleme uygulaması mevcuttur. Bunlara belli başlı birkaç örnek olarak görüntü iyileştirme, görüntü bölütleme, nesne tanıma ve nesne takibini süreçlerini verebiliriz. Örneğin; görüntü bölütleme, bir imgedeki aynı özellikteki bölgelerin çıkarılması veya bölgeler arasındaki sınırların bulunması olarak tanımlanır. Görüntü analizinin önemli bir basamağı olarak kabul gören bu süreç, imgeyi anlamlı bileşenlere veya nesnelere ayırır. [11]

Bu çalışmada, sualtı aracının, önceden belirlediğimiz şekil ve renge sahip bir nesneyi, bu özelliği olmayan tüm diğer imgelerden ayırarak tanıması ve takip etmesi amaçlanmıştır. Çalışmamızda kırmızı ve yuvarlak bir cisim takip edeceğiz. Su altında diğer renklerden daha az rastlanma ihtimali olan bu renk sayesinde takip işlemimiz daha verimli olacaktır.

#### **3.2.1. Renk tespiti**

Tespit etmek istediğiniz rengin imge renk çizelgesinde rahat ayırt edilebilir olması renk tespit işleminde önemli rol oynamaktadır. Bunun içinde renk gösterimi için hangi yöntemi seçeceğiniz önemlidir. En çok bilinen renk gösterim metotları RGB ve HSV'dir. RGB; temel olarak renklerin üç ana renk ile ifade edilmesidir. Kırmızı, Yeşil ve Mavi renkleri ile diğer tüm renk skalasını tanımlanmaktadır. Günümüzde en çok kullanılan renk gösterim metodudur. Raspberry Pi V2 kamerasından görüntülerimizi RGB renk gösterimi ile alabilmek için PiRGBArray modülü kullanılmıştır.

HSV uzayı ise renkleri üç temel özelliğe göre belirlemektedir. Bu özellikler Ton (Hue), Canlılık (Saturation) ve Parlaklık (Value, Brightness) diye adlandırılabilir.

Ton; rengin baskın olan dalga boyu uzunluğunu belirlemektedir. Kullanacağımız OpenCV programında 0-179° arasında değerler almıştır. Canlılık; rengin doygunluk seviyesi ile canlılığını belirtmektedir. Doygunluk seviyesi yüksek renkler, daha canlı olurken doygunluk seviyesi azalır, renkler önce pastelliğe daha sonrasında ise griliğe dönüşür. 0-255 arasında değer alırlar. Parlaklık; rengin içindeki beyaz miktarını belirtmektedir. Beyaz miktarı artan renkler daha parlak gözükür. Canlılık gibi parlaklığın da değeri aralığı 0-255 arasındadır.

1980'lerde keşfedilen HSV renk uzayı cihaz bağımlı bir uzaydır. İnsanlar tarafından doğal hayatta rahat ayırt edilebilen RGB renk uzayını cihaz ortamında ayırt edilebilmesi için tasarlanmıştır. RGB renk uzayından doğrusal olmayan dönüşümlerle HSV renk uzayına geçiş mümkündür. Tablo 3.1.'de bazı renklerin HSV uzayında alt ve üst limit değerleri verilmiştir.

Tablo 3.1. Gökkuşluğu Renklerinin HSV Uzayında Limitleri

<b>Renk</b>	<b>Alt Limit</b>	<b>Üst Limit</b>
<b>Kırmızı</b>	(160, 100, 100)	(179, 255, 255)
<b>Turuncu</b>	(0, 100, 100)	(22, 255, 255)
<b>Sarı</b>	(22, 100, 100)	(38, 255, 255)
<b>Yeşil</b>	(38, 100, 100)	(75, 255, 255)
<b>Mavi</b>	(75, 100, 100)	(130, 255, 255)
<b>Mor</b>	(130, 100, 100)	(160, 255, 255)

### 3.2.2. Nesne takibi

Görüntü işlemek için kullandığımız OpenCV Kütüphanesi nesne takibinde yeterli performansı veremediği için dlib ve imutils modülleri oluşturulmuştur. Gerçek zamanlı videolarda nesneyi etkin şekilde takip etmek için imutils modülünü tercih edilmiştir.

Görüntülerden aldığımız nesnenin konumunu uzun süreli muhafaza edebilmek için Deque modülünü kullanılmıştır. Yazılan her program grafik ara yüzüne sahip değildir. Bazı uygulamalar komut satırına daha uygundur ve bu uygulamalar bazı parametrelere ihtiyaç duyarlar. Parametreler için yardım mesajlarını anlamamızda yardımcı olan Argparse modülü tercih edilmiştir. Yanlış parametre kullanılırsa bu modül uygun hata mesajını verebilmektedir.

Ayrıca yapılan karışık işlemlerde daha hızlı sonuç alabilmemizi sağlayacak NumPy kütüphanesi Tercih edilmiştir. NumPy kütüphanesi; NumPy dizileri diye adlandırılan homojen yapıli dizilere sahiptir ve python listelerine benzerdir. En büyük farkı ise hız ve kullanılşılık yönünden python listelerinin çok önünde oluşudur.

Takip edilen cismin diğer cisimlerden ayırt edilmesi gerektiğini önceden söylemiştik. Bu ayrımı yapabilmek için cismin çözümlendirilmesi gerekmektedir. Çözümlendirme işleminin yapılabilmesi için kullanılan temel ayırt edici özelliğimiz renk olarak belirmemiştir. Ancak bunun yanında ANFIS 'de de kullanabilmesi için cismin geometrik açıdan da çözümlendirilmesi gerekmektedir. Geometrik açıdan çözümlendirme işlemi “Hough Dönüşümü” ile gerçekleştirilmiştir.

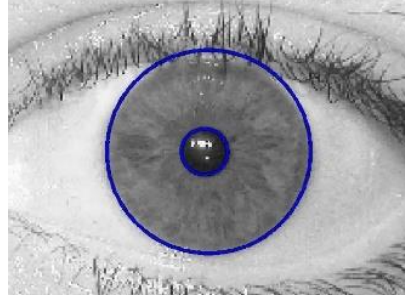
### **3.2.3. Hough dönüşümü**

Elde edilen görüntüde çizgi, daire gibi basit ve temel geometrik şekilleri tespit etmek için kullanılan çözümlendirme yöntemine Hough Dönüşümü adı verilir. [12]

Basit ve temel geometrik şekil derken kastedilen şey az parametre ile tanımlanabilen şekillerdir. Daire; merkezin koordinatları (x, y) ve yarıçapı (r) ile tanımlana bilen bir geometrik şekildir. Çizgi ise sadece 2 adet parametre ile bile tanımlanabilir. Bu parametreler eğim ve kesişimdir. Hough Dönüşümü, doğrular ve daireler için farklıdır. Bu projede Hough Daire Dönüşümü kullanılmıştır.

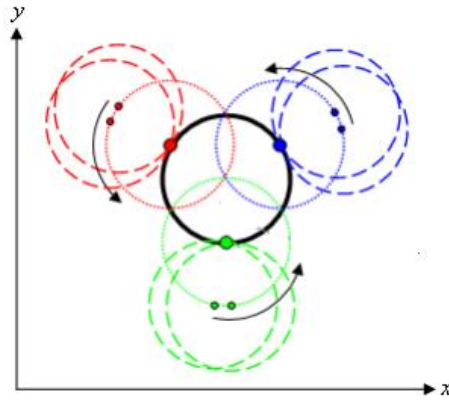
Görüntü işleme alanında en çok kullanılan uygulamalardan biri olan Hough Daire Dönüşümü; göz tanıma sisteminden, beysbol maçlarında top bulmaya kadar birçok farklı alanda kullanılmaktadır. Hough Daire Dönüşümünün en büyük artılarından biri; cismin şeklinde eksiklik ya da fazlalık olmasına rağmen diğer tespit

uygulamalarının aksine tahmini şekil oluşturabilmesidir. Şekil 3.2' de Hough Daire Dönüşümü ile düzenlenen göz tanıma sistemi gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Göz İrisinin Hough Dönüşümü İle Tanınması [13]

Hough Daire Dönüşümünde ilk olarak daireyi tespit etmek için iki boyutlu uzaydan üç boyutlu Hough uzayına geçiş yapılmalıdır. Hough uzayını üç boyutlu Akümülatör  $(x, y, r)$  olarak gösterilir. İlk önce  $A(x, y, r)$  dizisinin tüm başlangıç değerleri sıfır belirlenir ve filtreleme operatörleri çalıştırılır. Daha sonrasında her piksel değeri için daire merkezleri ve yarıçapları hesaplanır. Daha sonrasında her piksel daire oylamasına tabi tutulur. Daire oylaması kodları Kod 1 başlığı ile verilecektir. Ve en çok oy alan daire çizilir. Şekil 3.3 'de oylanmış değerlere göre çizilen daireler gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Hough Dönüşümünde Oylama Esnasında Çizilen Daireler [14]

Sonuç olarak, Hough dönüşümü kullanarak nesnenin dairesel olduğunun tespiti yapılmış olup, nesne takibi başarıyla sağlanmıştır.



Şekil 3.4. Hough Daire Dönüşümü Oylaması Akış Şeması

### 3.2.4 kullanılan nesnenin özellikleri

Su altında yapılan bu çalışmada doğal su ortamında en az bulunacak renk olan kırmızı seçilmiştir. Bunun nedeni yapılan takip esnasında hedefin ortamdaki diğer nesnelere daha kolay ayırt edilebilmesidir. Deney çalışmaları sırasında hedef nesne olarak yuvarlak kırmızı bir kapak kullanılmıştır. Kullanılan hedefin boyutu ve belirli mesafelerde ölçülen çapı Tablo 3.2. de verilmiştir.

Tablo 3.2. Hedefin Belirli Uzaklıklardaki Çapı

Hedefin Çapı	3 cm
Nesne, sualtında kameradan 20 cm uzakta iken nesnenin piksel olarak ölçülen çapı	250 px
Nesne, sualtında kameradan 10 cm uzakta iken nesnenin piksel olarak ölçülen çapı	420 px

$$k_x = \frac{(20-10)cm}{(250-420)px} = -0.05882 \text{ cm/px} \quad (3.1)$$

Denklem 3.1.'deki katsayı dikkate alınarak, Tablo.3.2'de bir doğrusal bir interpolasyon yapılırsa, görüntü işleme sırasında sualtı aracı kamerasından edilen nesne çapının piksel verisinden nesnenin araca uzaklığı (cm) yaklaşık olarak belirlenebilir (Denklem 3.2.).

$$y = k_x x + 34,706 \quad (3.2)$$



Kullanılan Raspberry Pi V2 kamera ile suyun altında 20 santimetreden görüntü alınabildiği için uzaklık ölçümleri 20 santimetre ile oranlı sayılar kullanılmıştır. Şekil 3.5' de deneyler sırasında kullanılmış olan hedef verilmiştir.



Şekil 3.5. Deneyler Yapılırken Kullanılan Hedef

## 4. KONTROL YÖNTEMLERİ VE BAŞARIM ÖLÇÜTLERİ

### 4.1. PID Kontrol Metodu

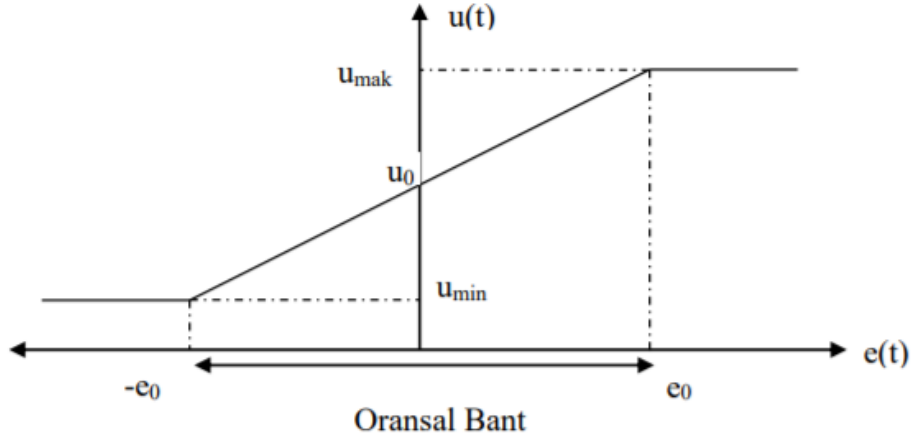
Günümüzde otomatik kontrol sistemlerinin temelini oluşturan PID kontrol sistemi üç aşamalı ve geri beslemeli bir kontrol sistemidir. Sürekli olarak hata değerini denetler. Hata denetimi; mevcut sistem ile amaçlanan sistem arasındaki fark hesaplanarak yapılır. Sistem girdi değerini ayarlayarak hata değerini minimum seviyeye indirmeye çalışır. Her sistemde üç aşamalı denetim yöntemi kullanılmasına gerek yoktur. P, PI, PD, I veya PID olarak kullanılır.

Oransal kontrol sistemin o an yaptığı hata ile sistemin çıkış değerini değiştirmeye çalışır. Toplamsal kontrol sistemi daha önceden yapılmış hataların toplamı ile sistem çıkış değerini değiştirmeye çalışır. Toplamsal kontrol sisteme hafız katmış olur. Türevsel kontrol sistemi ise hatanın değişim hızı ile birlikte bir öngörü oluşturarak sistem çıkış değerini değiştirmeye çalışır.

#### 4.1.1. Oransal (p) kontrolör

K sabit kazançlı kontrol sistemleri kontrol çıkışındaki işaret, girişindeki işarete sabit bir oran ile bağlı olduğundan oransal kontrol olarak bilinir. Oransal kontrolün amacı E hata işaretinin küçük olduğu durumlarda küçük, büyük olduğu durumlarda büyük kontrolör kazancı kullanmaktır. Oransal kontrol kazancı  $K_P$  hatadaki her birim değişikliğe kontrolör çıkışında kaç birimlik bir değişim olacağını belirler ve ayarlanabilir bir parametredir. Şekil 4.1'de oransal kontrolörün kural grafiği verilmiştir.

Oransal kontrolör kazancı  $K_P$ ' nin küçük değerlerinde kararlı hal hataları oluşabilir. Bu durum kontrol işareti, oransal kazanç ve kontrol hatası arasındaki ilişkiiden anlaşılabilir. Oransal kontrolörde yüksek kontrolör kazancı, kapalı çevrim kararlılığının kabul edilebilir seviyede olması koşulu ile kararlı hal hatalarını azaltmak için kullanılabilir.



Şekil 4.1. Oransal Kontrolör Kuralı [15]

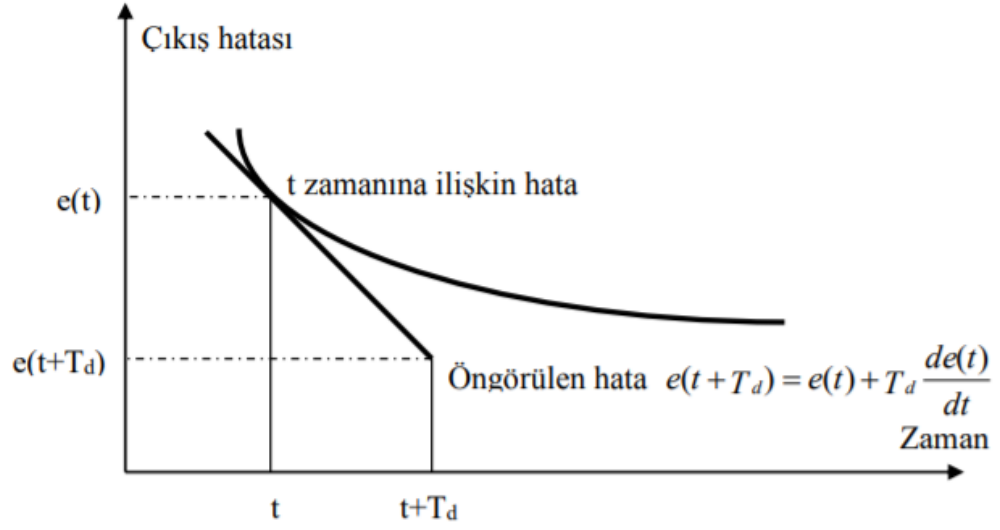
#### 4.1.2. Toplamsal (i) kontrolör

İntegral bloğunun ana işlevi süreç çıkışında kararlı hal hatasını yok etmektir. Oransal kontrolde kontrol işaretinin sıfır olmaması için hata gerekli idi. İntegral elemanı nispeten küçük pozitif bir hatada bile gittikçe artan, negatif bir hatada ise azalan kontrol işaretine yol açar. Kontrolör hata sıfır olmadığı sürece artan bir işaret üretirse, kararlı hatalarını giderebilir. Bu integral kontrolörün prensibine karşı düşer. Kontrolörün integral elemanı kontrolör girişinin zamana göre integrali ile orantılı bir işaret üretir.

#### 4.1.3. Türev (d) kontrolör

Türev elemanının görevi kapalı çevrim kararlılığını artırmaktır. Kontrol işaretindeki değişimin sistem çıkışına etki etmesi sistem dinamiklerinden ötürü zaman alır. Oransal ve türev elemanlarından oluşan kontrolör tahmin edilen hataya bağlıdır. Bu tahmin Şekil 4.2'den görüleceği üzere hata eğrisinde o noktanın eğiminden faydalanılarak öngörülür.

PI kontrolörün oransal ve integral kısımları geçmişteki kontrol hatalarından yararlanarak hesaplanır. Oysaki gelecekteki olası hatalar için herhangi bir işlem yapmazlar. Bu özellik PI kontrolörün başarısını sınırlar. İntegral kısmı hata kalmasa bile kontrol işareti üretmeye devam eder, bunun sonucu olarak sistemde salınımlar oluşur.



Şekil 4.2. Türev Kontrolün Öngörüsül Kontrol Olarak Yorumlanması [15]

Salınımların önüne geçmek için kontrolör hatanın sifira yaklaştığını anlamalıdır, bu hatanın türevi alınarak yapılabilir. [15]

Üç aşamada birer parametre ile sisteme etki ederler. PID kontrol parametreleri uygun seçilmezse, kontrol etmek istediğiniz süreci daha da kararsız hale sürükleyebilirsiniz. Bu parametrelerin birden fazla hesaplanma yöntemi vardır. Ancak günümüzde en çok uygulanan yöntem Ziegler- Nichols Yöntemi diye adlandırılır.

#### 4.1.4. Ziegler- Nichols yöntemi

Ziegler-Nichols yöntemi ile PID parametrelerini belirleyebilmek için sistemin integral ve türev kontrollerini kapatmak gerekmektedir. Sadece oransal kontrol ile sistem osilasyona gidene kadar  $K_p$  değeri artırılır. Sistemi periyodik osilasyonda kontrol eden en düşük oransal kazanç ( $K_u$ ) değeri ile sistemin periyodu ( $P_u$ ) not edilir. Bu değerlere göre Tablo 4.1. de gösterilen Ziegler-Nichols parametre ayarı formülleri kullanılarak PID parametreleri belirlenir [16].

Tablo 4.1. Ziegler-Nichols Parametre Ayarı Formülleri

	$K_P$	$K_I$	$K_D$
<b>P Kontrol</b>	$\frac{K_U}{2}$		

Tablo 4.1. (Devam) Ziegler-Nichols Parametre Ayarı Formülleri

<b>PI Kontrol</b>	$\frac{K_U}{2,2}$	$\frac{P_U}{1,2}$	
<b>PID Kontrol</b>	$\frac{K_U}{1,7}$	$\frac{P_U}{2}$	$\frac{P_U}{8}$

#### 4.2. Yapay Zeka Ve Adaptif Ağ Tabanlı Bulanık Mantık Çıkarım Sistemi (Anfis) Kontrol Metodu

20. yüzyılın ikinci kısmı ile birlikte temelleri atılmaya başlanan yapay zekâ uygulamaları; doğada veya insanlarda, var olan özellikleri ve mekanizmaları taklit etmeye çalışmıştır. Geçmişten günümüze çok sayıda araştırmacının üzerinde çalıştığı yapay zeka uygulamaları, her zaman en iyi çözümü bulmayı garanti etmese dahi kabul edilebilir sürelerde kabul edilebilir çözümler sağlamayı garanti eder.

Başlangıçta, tıp alanında hastalık teşhisi, uydu fotoğraflarının okunması, askeri strateji belirleme, kontrol problemleri ve endüstriyel uygulamalar gibi çok farklı amaçlar için geliştirilen bu teknikler günümüzde hemen her disiplinde kullanılır olmuştur. Yapay sinir ağları, bulanık küme teorisi, genetik algoritmalar, uzman sistemler araştırmacılar tarafından yaygın olarak kullanılan yapay zekâ yöntemlerinden bazılarıdır [17].

Yapay zekânın bir dalı olan Adaptif Ağ Tabanlı Bulanık Mantık Çıkarım Sistemi (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System, ANFIS), örneklerden öğrenme ve öğrenmiş olduğu bilgiyi belirli kurallara bağlı olarak ağ üzerinde dağıtabilme yeteneği gibi esnek ve güçlü yapısı sayesinde makine öğrenmesi, sınıflandırma ve optimizasyon gibi alanlarda başarı ile kullanılmaktadır.

Su altında aracın otonom olarak çalışabilmesi; aracın yapacağı her hareketin önceden belirlenmesi anlamına gelmez. Araç su altında yapacağı bir sonraki hamleyi kendisi belirleyebilir. Bu karar mekanizması bulanık mantık olarak adlandırılır.

Robotun hareket sisteminin temelinde; mesafeyi koruyarak hedefini takip etmesi yatar. Bunun içinde belirlenen takip mesafesini koruması gerekir. Takip mesafesini

korumak için; hedef hızlandığında hızlanmalı, hedef yavaşladığında yavaşlamalı ve hedefle birlikte sağa, sola dönüşlerini sağlamalıdır. Tam olarak bu noktada devreye ANFIS girmektedir. Ancak ANFIS'i tam olarak anlamak için öncelikli olarak bulanık mantığı anlamak gerekir.

#### **4.2.1. Bulanık mantık**

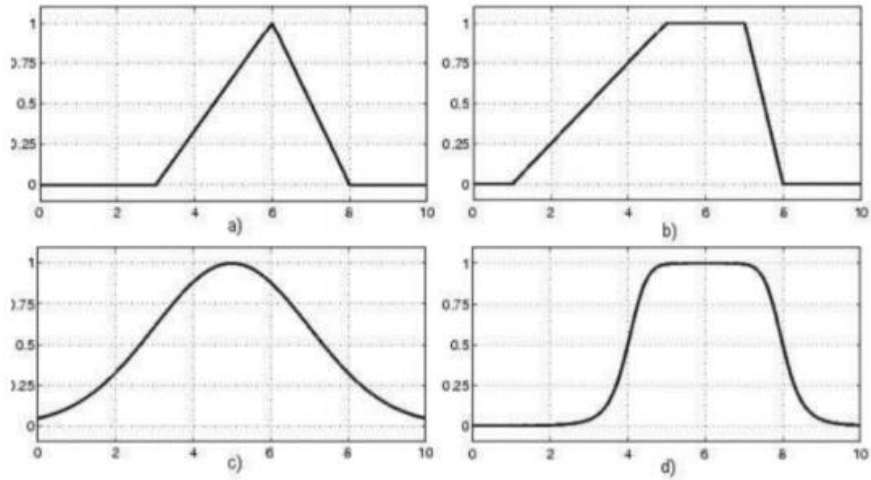
Azerbaycan Türkü bilim insanı Lütfi Aliasker ZADE; 1960'larda kontrol sistemleri üzerine çalışmalar yapmıştır. Tasarladığı kontrol sistemlerinde doğrusal olmayan denklemler için içine girdikçe kullanılan yöntemler karmaşıklaşmış ve çözümler zorlaşmaya başlamıştır. Bunun üzerine 1965 yılında L.A. ZADE bulanık mantığa yönelmiştir. [18]

Geleneksel mantık devrelerinde bir eleman bir kümeye aittir ve o elemanlar hakkında tanımlayıcı yargı keskin özelliklidir. Bu tarz kümelere keskin kümeler (crisp sets) denir. Ancak bulanık mantıkta üye olan, olmayan tarzı bir kesin sınıflandırma yoktur.

Bulanık mantığın diğer yöntemlerden ayrıldığı en önemli özelliği ise sözel ifadelerinde içerisinde bulunabilmesidir. Bulanık küme teorisinde üyelik derecesinin 0 ile 1 arasında değerler alması sözel bilgilerin, problemlerin çözümü sırasında sayısal verilerle birlikte kullanılmasını mümkün kılmaktadır. [19]

Bulanık mantık modellemesinde çok sayıda değişik üyelik formları oluşturulabilir ancak en yaygın olan formlar; üçgen (triangular), yamuk (trapezoidal), normal dağılım (gaussian) ve çan şekilli (bellshaped) diye sıralanır. Şekil 4.3'de literatürdeki en yaygın üyelik fonksiyonları gösterilmiştir.

Bulanık mantığın çalışma prensibi özetlenecek olursa; Eğer (if) ve İse (then) kuralı ile oluşturulurlar. Öncül kısımda sonuca sebep olan giriş değişkenleri ve bunlar arasındaki mantıksal ilişkiler, soncul kısımda ise bu giriş değişkenlerine bağlı olarak ortaya çıkan sonuç değişkenleri yer alır.



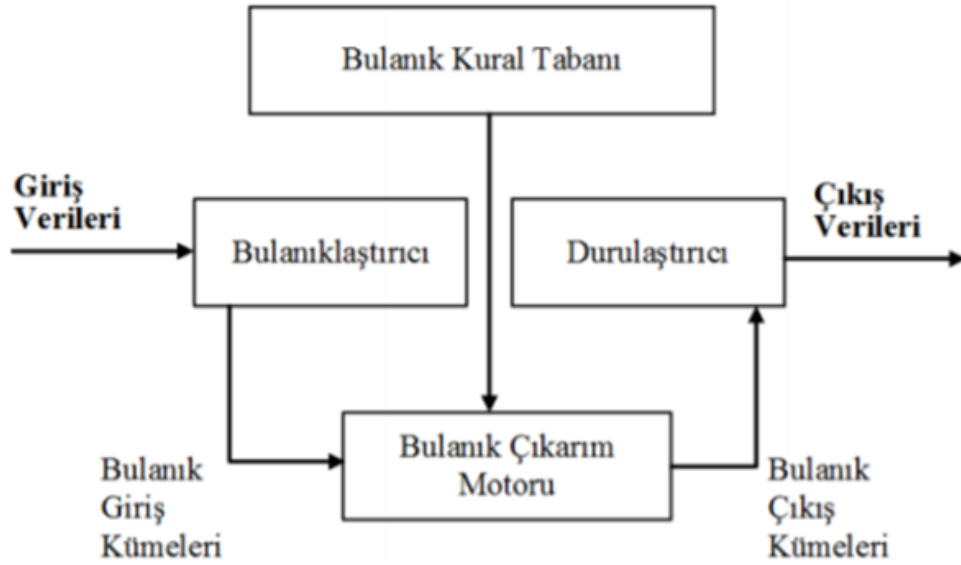
Şekil 4.3. Literatürde Yaygın Olarak Kullanılan Üyelik Fonksiyonları [20]

Genel olarak bulanık mantık denklemleri aşağıdaki formdadır. [21-22]

Kural 1: Eğer  $x = A_1$  ve  $y = B_1$  İse  $z = N_1$

Kural 2: Eğer  $x = A_2$  ve  $y = B_2$  İse  $z = N_2$  (4.1)

Burada  $x$  ve  $y$  öncül kısımdaki girdi değişkenlerince tanımlanan koşulları,  $z$  ise soncul kısımdaki çıktı değişkenlerince tanımlanan sonuçları ifade eder. Şekil 4.4'de genel bir bulanık model sisteminin yapısı gösterilmiştir.



Şekil 4.4. Bulanıklaştırma ve Durulaştırma Birimlerine Sahip Bulanık Model Sistemi [18]

Giriş Verileri: İncelenecek olayın etkilendiği girdi değişkenlerini ve bunlar hakkındaki tüm bilgileri içerir. Buradaki bilgilerin sayısal ve/veya sözel olabilmesinden dolayı genel veri tabanı da denilmektedir.

Bulanıklaştırıcı: Sayısal girdi değerlerini sözel olarak nitelendirilmiş bulanık kümelerdeki üyelik derecelerine atayan bir işlemcidir.

Bulanık Kural Tabanı Birimi: Veri tabanındaki girişleri çıkış değişkenlerine bağlayan mantıksal Eğer-İse türünde yazılabilen kuralların tümünü içerir. Bu kuralların yazılmasında sadece girdi verileri ile çıktılar arasında olabilecek tüm ara (bulanık küme) bağlantılar düşünülür. Böylece, her bir kural girdi uzayının bir parçasını çıktı uzayına mantıksal olarak bağlar ve bu bağlamaların tümü kural tabanını oluşturur.

Bulanık Çıkarım Motoru Birimi: Bulanık kural tabanında giriş ve çıkış bulanık kümeleri arasında kurulmuş olan parça ilişkilerin hepsini bir arada toplayarak sistemin bir çıkışlı davranmasını temin eden işlemler topluluğunu içeren bir mekanizmadır. Bu motor her bir kuralın çıkarımlarını bir araya toplayarak tüm sistemin girdiler altında nasıl bir çıktı vereceğinin belirlenmesine yarar.

Durulaştırıcı: Bulanık işlemler sonucu elde edilen bulanık çıkarım sonuçlarını keskin sayısal çıkış değerlerine dönüştürür.

Çıkış Verileri: Bilgi ve bulanık kural tabanlarının bulanık çıkarım motoru vasıtası ile etkileşimi sonunda elde edilen çıktı değerlerinin topluluğunu belirtir.

Bulanık mantık devreleri için birden çok modelleme bulunur ancak literatürde en yaygın olarak kullanılan modellemeler, Mamdani ve Takagi- Sugeno modelleridir.

#### **4.2.2. Mamdani bulanık modeli**

İnsan davranışlarına çok uygun olan Mamdani bulanık modeli; kolaylıkla oluşturulabilir ve bu nedenle de oldukça yaygın kullanım alanları bulur. Diğer bulanık modellerin temellerini oluşturan Mamdani bulanık modeli; ilk defa bir buhar motorunun kontrolü amacıyla, sözel kontrol kuralları ile kurulmuştur. Bu modelde hem girdi değişkenleri hem de çıktı değişkeni üyelik fonksiyonları ile ifade edilir. [23]

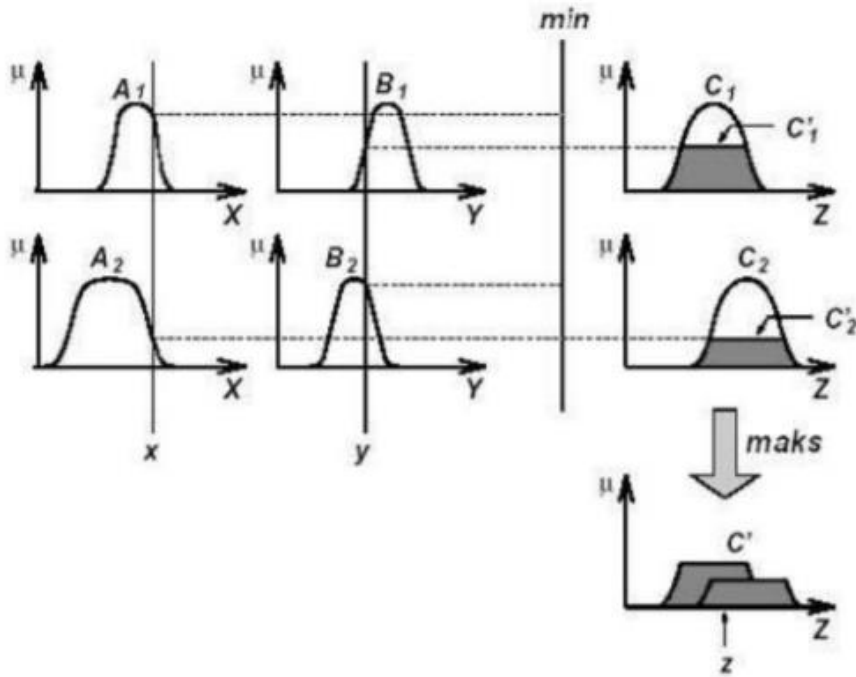


Eğer ve İse denklemleri ile modelin hesaplama kuralları verilir.

Kural 1: Eğer  $x = A_1$  ve  $y = B_1$  İse  $z = C_1$

Kural 2: Eğer  $x = A_2$  ve  $y = B_2$  İse  $z = C_2$  (4.2)

Bulanıklaştırılan giriş bilgileri önceden belirlenmiş kurallara tabi tutulur. Kurallar uygulanırken, şartlar arasındaki “VE” durumunda giriş üyelik değerlerinden en küçük olanı “VEYA” durumunda ise en büyük olanı alınarak çıkış üyelik fonksiyonunda bu sayının altında kalan alan bulunur. Her bir kurala ait çıkış üyelik fonksiyon bölgeleri bulunduktan sonra bu alanlar çeşitli berraklaştırma yöntemleri yardımıyla kesin çıkış bilgisinin elde edilmesinde kullanılır [24]. Şekil 4.5’de Mamdani bulanık modellemesinin grafiksel örneği verilmiştir.



Şekil 4.5. Mamdani Bulanık Mantık Modeli Grafiksel Görseli [25]

#### 4.2.3. Takagi- Sugeno bulanık modeli

Literatürde Sugeno, Takagi-Sugeno-Kang gibi de isimlendirilen bu model ilk kez 1985 yılında kullanılmaya başlanmıştır. Mamdani bulanık modellemesinin bir uyarlamasıdır. Takagi-Sugeno modelinin çıktıları doğrusal ya da sabittir.

Çıktı üyelik fonksiyonu sabit ise sıfıncı derece, doğrusal ise birinci derece diye isimlendirilir. Bir Sugeno bulanık modelindeki tipik bulanık kural aşağıdaki forma sahiptir,

$$\text{Eğer } x = A \text{ ve } y = B, \text{ İse } z = f(x,y) = px + qy + r(c) \quad (4.3)$$

Burada A ve B, z f (x, y) ' ye bağlı keskin çıkış veren bir fonksiyon olmasına rağmen, giriş değişkenlerinin bulanık kümeleridirler. z çıkış değeri ise genellikle x ve y değişkenlerine bağlı bir polinomdur. Ancak, z çıkış değeri bulanık kuralın girişi tarafından belirtilmiş bölge dâhilinde, bir sistemin çıkışını tanımlayabildiği sürece herhangi bir fonksiyon da olabilir.

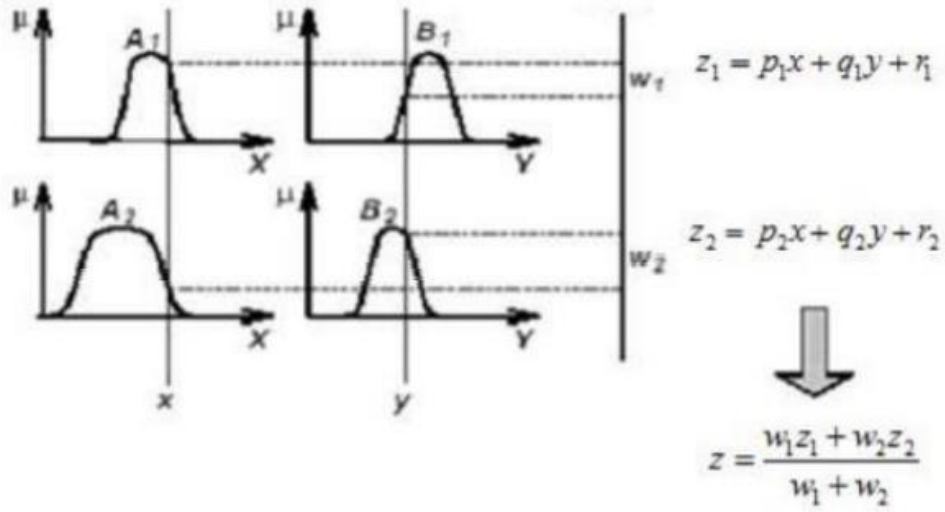
Şekil 4.6'da bir Sugeno modelinin bulanık çıkarım grafiği gösterilmiştir. Bu yöntemde hem girişim katsayıları hem de kural ağırlıkları bir optimizasyon algoritması yardımı ile bulunur. Her bir kural keskin çıkışa sahip olduğundan, sonuç keskin çıkış değeri ağırlıklı ortalama ile elde edilir.

Bu yaklaşım Mamdani modelindeki durulandırma işleminin hesaplama yükünü ve zaman kaybını gideren basit ve fonksiyonel bir yaklaşım olup, sistem modelleme ve kontrolör tasarımına çok uygun bir çıkarım mekanizmasıdır. Pratikte bazen ağırlıklı ortalama operatörü yerine,

$$z = \frac{(w_1 z_1 + w_2 z_2)}{w_1 + w_2} \quad (4.4)$$

operatörü kullanılır. Bu basitleştirme işlemi, kuralların ateşleme katsayılarının toplamı "1" e yakınsamadıkça ( $\sum_i w_i = 1$ ), üyelik fonksiyonlarının dilsel anlamının kaybolmasına neden olabilir.

Sıfıncı-dereceden Sugeno model komşu üyelik fonksiyonlarının şartları ile yeterince örtüşebildiği sürece kendi giriş değişkenlerine bağlı olarak düzgün bir fonksiyon olur. Mamdani modelde ise, üyelik fonksiyonlarındaki örtüşmeler, ara değerlendirmenin düzgünlüğü üzerinde belirleyici etkiye sahip değildir.



Şekil 4.6. Sugeno Bulanık Mantık Modeli Grafiksel Görseli [25]

#### 4.2.4. Adaptif ağ tabanlı bulanık mantık çıkarım sistemi

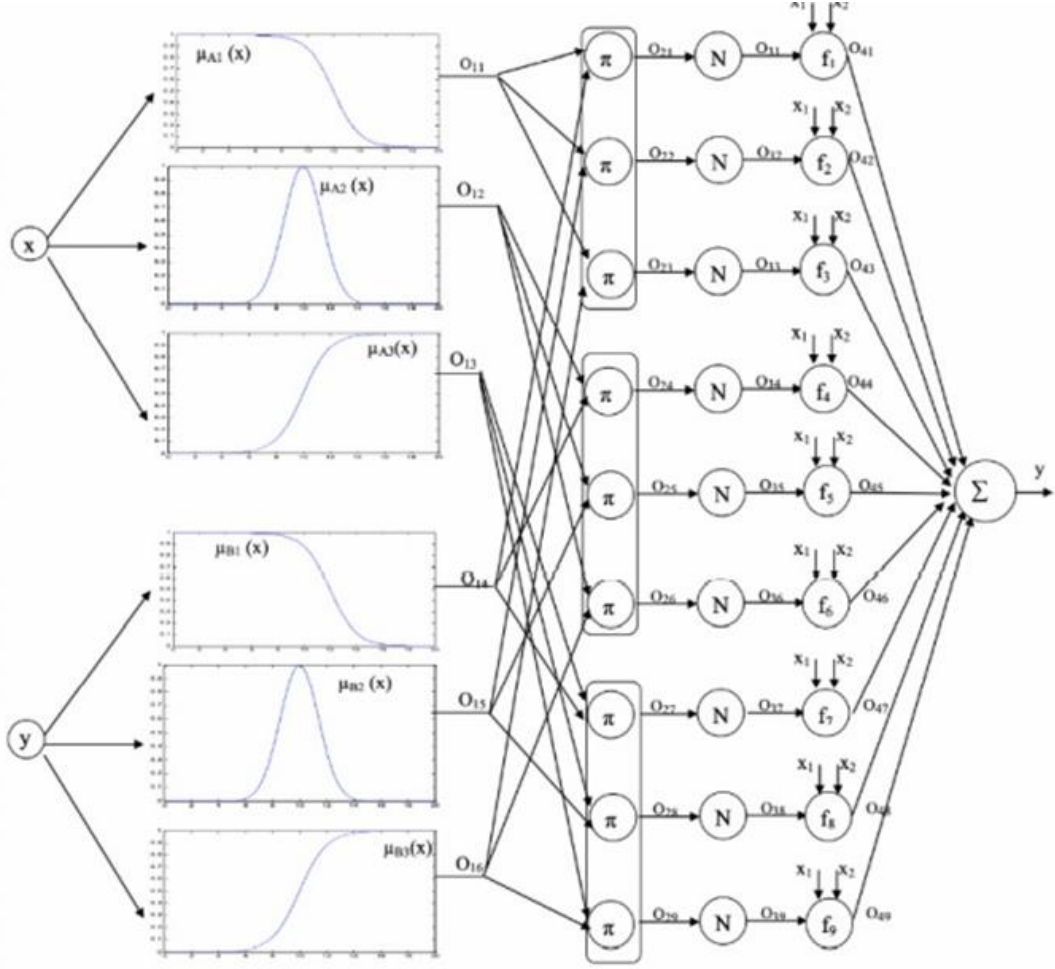
Adaptif ağ tabanlı çıkarım sistemi (ANFIS) Sugeno tipi bulanık sisteminin, sinirsel öğrenme kabiliyetine sahip bir ağ yapısı olarak adlandırılabilir.

Yapısında hem yapay sinir ağları hem de bulanık mantık kullanılır. Sinir ağı ile bulanık sistemin birleşimi bulanık sinir ağı olarak adlandırılır. ANFIS, öğrenme ve adaptasyon işlemlerini kolaylaştırmak için, adaptif sistemlerden yararlanan bulanık Sugeno modelidir. Böyle bir yaklaşım bulanık mantığı daha sistematik ve tecrübeye daha az bağlı hale getirmektedir [25-26].

ANFIS'in temel amacı, eşdeğer bulanık mantık sisteminin parametrelerini, giriş-çıkış veri kümelerini kullanarak bir öğrenme algoritması vasıtasıyla optimize etmektir. Parametre optimizasyonu, gerçek çıkış ile hedef çıkış arasındaki hata değeri minimum olacak şekilde yapılmaktadır.

ANFIS mimari olarak beş katmandan oluşmaktadır. Şekil 4.7'de bu mimari yapının bir örneği gösterilmektedir. İlk katmanda giriş verilerine üyelik fonksiyonları uygulanarak bulanıklaştırma işlemi yapılır. İkinci katmanda ise bulanık mantık çıkarım sistemine göre kurallar oluşturulur. Üçüncü katmanda kural katmanından gelen her bir düğüme, ağırlıklı ortalama ile normalizasyon işlemi uygulanır. Sondan bir önceki yani dördüncü katmanda ise bulanık sonuçlar sayısal değerlere

dönüştürülür. Son olarak da beşinci katmanda tüm düğümlerin çıkış değerleri toplanarak sistemin tek çıkış değeri üretilir.



Şekil 4.7. ANFIS Katmanları Mimari Yapısı [28]

#### 4.2.5. Anfis katmanlarındaki işlemler

Birinci katmanda girişler azalan sigmoid, artan sigmoid ve gauss fonksiyonlarına sokulur. İlk girişte azalan sigmoid fonksiyonun çıktısı  $O_{11}$ , gauss fonksiyonun çıktısı  $O_{12}$  ve artan sigmoid fonksiyonun çıktısı  $O_{13}$  olarak adlandırılır. İkinci girişteki azalan sigmoid fonksiyonun çıktısı  $O_{14}$ , gauss fonksiyonun çıktısı  $O_{15}$  ve artan sigmoid fonksiyonun çıktısı  $O_{16}$  olarak adlandırılır.

İkinci katmanda ise birinci katmandaki çıkışlar mantıksal operatör olan AND kapısı ile çarpma işlemine tabi tutulur. Burası kural katmanıdır.

$$\pi_{mn} = O_{1x} \times O_{1y} \quad (4.5)$$

Üçüncü katmanda; ikinci katmandaki kurallara normelleştirme işlemi uygulanır.

$$\pi_{\text{toplam}} = \sum_{i=1}^9 \pi_i \quad (4.6)$$

Dördüncü katmanda; üçüncü katmanda normelleştirilen kurallara durulaştırma işlemi uygulanır.

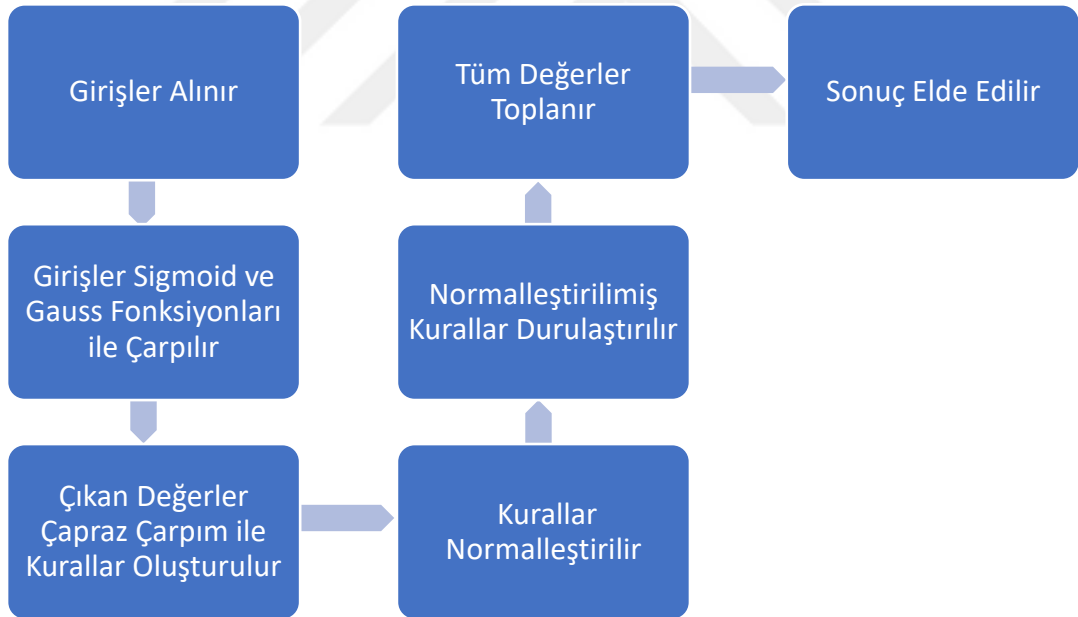
$$f_n = p_n(x) + q_n(x) + r_n \quad (4.7)$$

Daha sonrasında ise tüm kurallar katsayılar ile çarpılarak durulaştırma gerçekleştirilir.

$$O_n = f_n \times W_n \quad (4.8)$$

Beşinci yani son katmanda da tüm değerler toplanır ve ANFIS çıktısı elde edilir.

$$\sum_{i=1}^9 O_i \quad (4.9)$$



Şekil 4.8. ANFIS Kural Uygulamaları Akış Şeması

#### 4.2.6. Başarım ölçütleri

Dinamik sistemler; geçici durum davranışı ve kalıcı durum davranışı olmak üzere iki kısımda incelenirler.

Geçici durum davranışı; sistemin girişine uygulanan bir girdi ile başlayıp kararlı duruma geçene kadar olan kısımdır. Bu kısımda grafiksel dalgalanmalar vardır. Gecikme zamanı, yükselme zamanı, aşma zamanı, en fazla aşma zamanı grafiğin geçici durum bölgesinde gözlenir. Yerleşme zamanı ile başlayan kalıcı durum ise sistem sonsuza yaklaştıkça koruduğu davranıştır.

İki sistemi birbiri ile karşılaştırmak istediğimiz zaman; bu karşılaştırma geçici durum davranışları kısmında olur. Bu karşılaştırmalardan en önemlileri en fazla aşma ve yerleşme zamanıdır. En fazla aşma sistemin kararlı hale gelmeden yaptığı en büyük sapmayı gösterir. En fazla aşım arttıkça sistem salınım hareketi de artar. Yerleşme zamanı ise sistemin kalıcı duruma geçiş anıdır. Yerleşme zamanı ne kadar geç olursa sistem o kadar kararsızdır. Dinamik sistemlerde kararsızlık süresi ne kadar az ise sistem o kadar verimlidir.

Gecikme zamanı (Delay time); sistem çıktısının kararlı hal çıkış değerinin %50'sine ilk kez vardığı zamandır. İki şekilde hesaplanabilir. İster grafikte değerler verilmişse direk okunabilir. İster de;

$$t_d = \frac{1+0,7\zeta}{w_n} \quad (4.10)$$

denklemleri ile hesaplanabilir.

Yükselme zamanı (Rise time); sistem çıktısının kararlı hal çıkış değerine ilk kez ulaştığı zamandır. Grafikten gözlenebileceği gibi;

$$t_r = \frac{\pi - \cos^{-1} \zeta}{w_n \sqrt{1-\zeta^2}} \quad (4.11)$$

denklemleri ile de hesaplanabilir.

Aşma zamanı (Peak time); sistem çıktısı en fazla aşma yaptığı zaman kesitidir. Aşma zamanı da grafikten okunabilir. Ayrıca;

$$t_p = \frac{\pi}{w_n \sqrt{1-\zeta^2}}$$

denklemleri ile hesaplanabilir. (4.12)

Yerleşme zamanı (Settling time); sistemin çıktısının kararlı zaman çıktısına %2 tolerans ile ulaştığı zamandır. Hem grafikten okunabilen bu değer hem de;

$$t_s = \frac{5}{\zeta \omega_n} \quad (4.13)$$

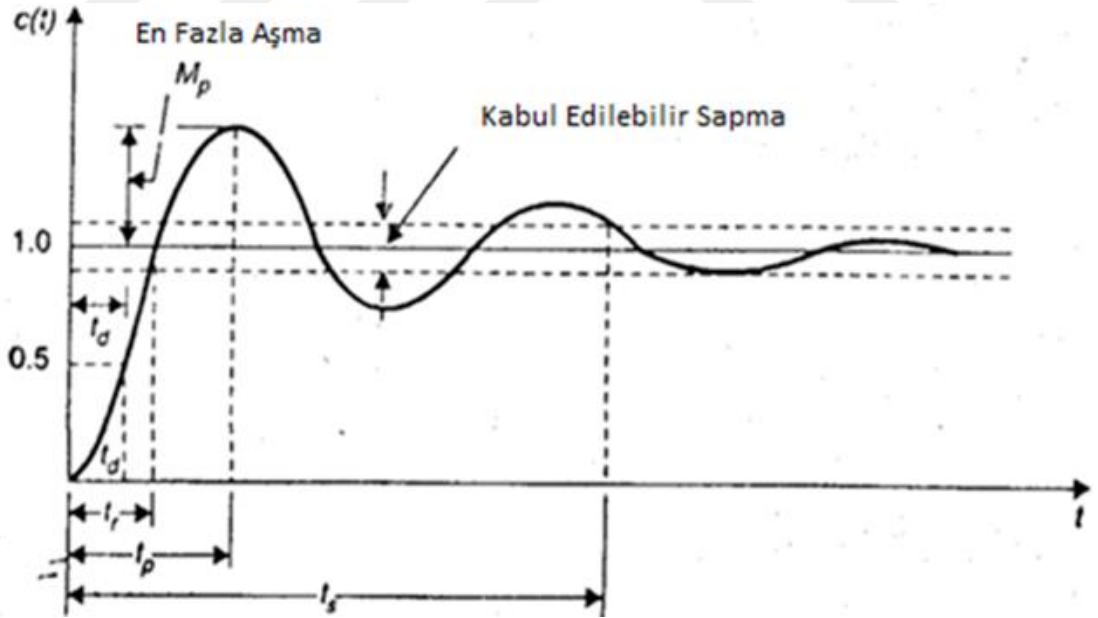
denklemleri yardımıyla hesaplanabilir.

En fazla aşma (Peak Overshoot, Max peak); sistem çıktısının maksimum değeri ile kararlı hal değerinin normalize edilmiş değeridir.

$$M_p = e^{\left(\frac{-\zeta \pi}{\sqrt{1-\zeta^2}}\right)} \quad (4.14)$$

denklemleriyle hesaplanabilir. Bu denklemlerde “ $\omega_n$ ” doğal frekansı, “ $\zeta$ ” sönüm faktörünü ifade eder.

Şekil 4.9’da gecikme zamanı, yükselme zamanı, aşma zamanı, yerleşme zamanı ve kabul edilebilir sapma değerlerinin nasıl okunabileceğini gösterilir.



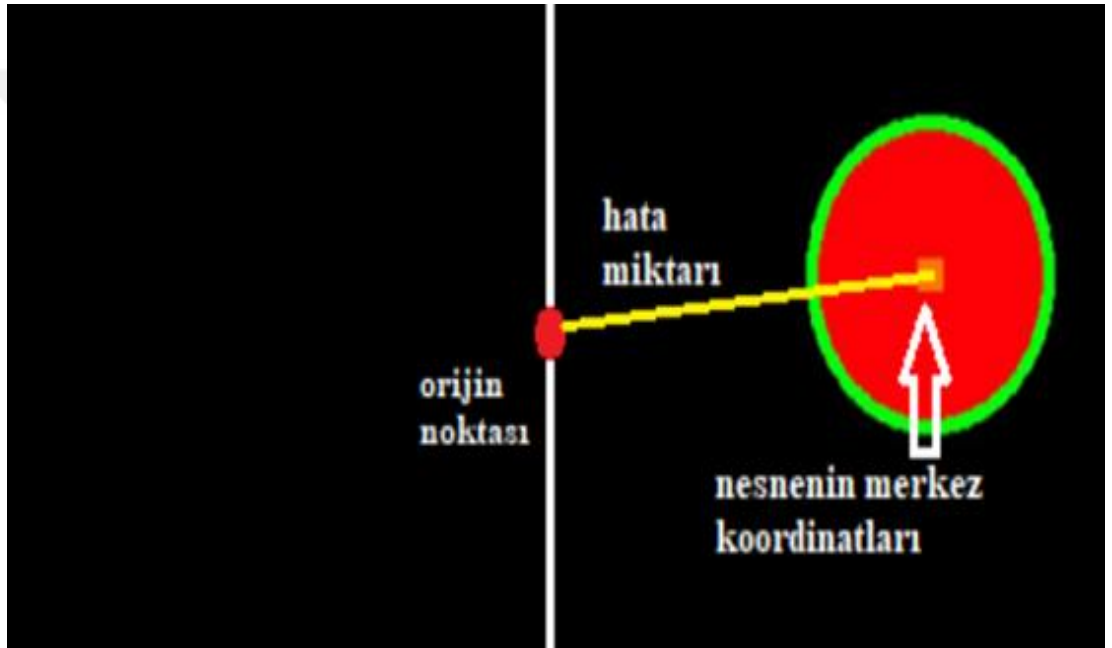
Şekil 4.9. Dinamik Sistemlerin Kararlılık Analiz Grafiği

#### 4.2.7. Anfis'in sisteme uygulanması

Temel amacımız su altında bir cismi takip etmek. Robot kendi kamerası ile aldığı veriyi (anlık fotoğraf ya da video) görüntü işleme metodu ile analiz eder. Bu analiz

sonucunda takip ilk olarak  $\pm z$  eksenini etrafında  $\phi$  açısal hareketi ile hedefi ortalayıp daha sonrasında ise  $\pm x$  doğrultusunda takip sağlanır.

$\Phi$  açısal hareketinde aracın kendi eksen doğrultusunda cisim negatif bölgede (sol tarafta) ise aracın sol motoru geri yönde sağ motoru ileri yönde çalışacaktır. Pozitif bölgede (sağ tarafta) ise sol motor ileri sağ motor geri yönde çalışacaktır. Daha sonra hedefimizin boyutu istenilen aralık tutulabilmesi için;  $\pm x$  doğrultusunda hedef küçük ise hızlanarak, hedef büyük ise yavaşlayarak hedef takip mesafesinde tutulacaktır.  $\Phi$  açısal hareketinde bir cismin analizi Şekil 4.10'da gösterilmiştir.



Şekil 4.10. Nesne Tespitinin Görseli

#### 4.2.8. Anfis şartlarının belirlenmesi

ANFIS uygulamalarında en önemli detay şartların belirlenmesidir. Ne kadar az şart olursa sistem o kadar daha basit ilerler. Robotumuzun hareket şartları Tablo 4.2. ve Tablo 4.3. de gösterilmiştir.

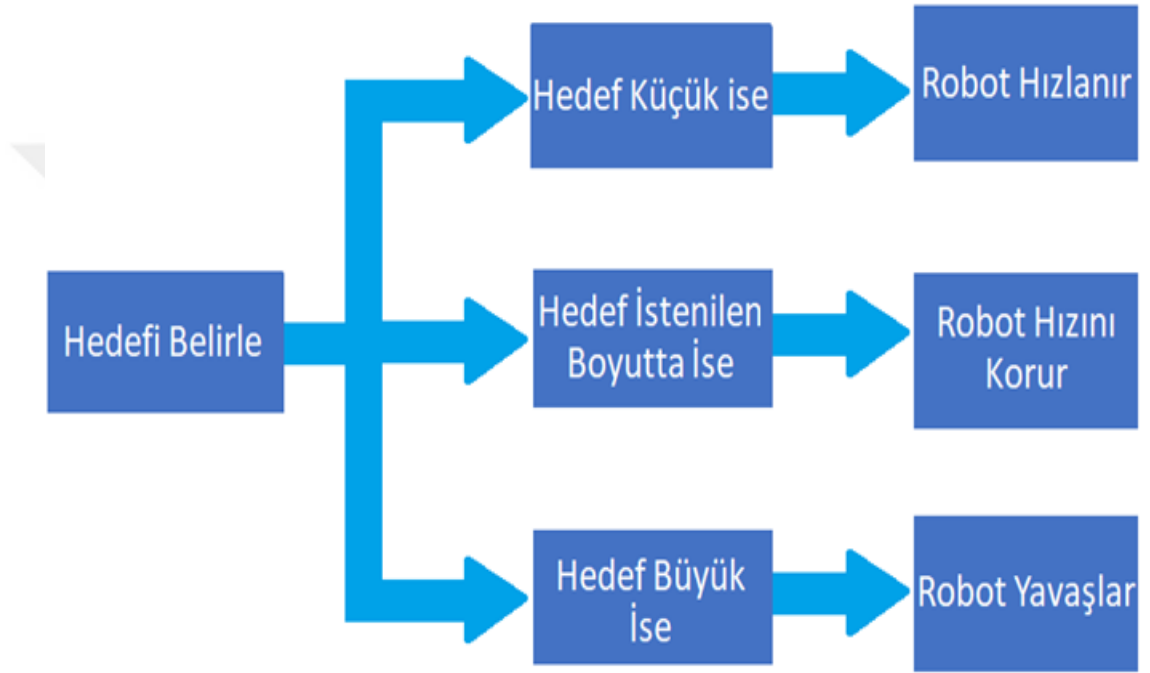
Tablo 4.2.  $\pm X$  Ekseninde Robotun Hareket Şartları

$\pm X$ Ekseninde		
Hedef Boyutu	Hedef Konumu	Robot Hareketi



Tablo 4.2. (Devam)  $\pm X$  Ekseninde Robotun Hareket Şartları

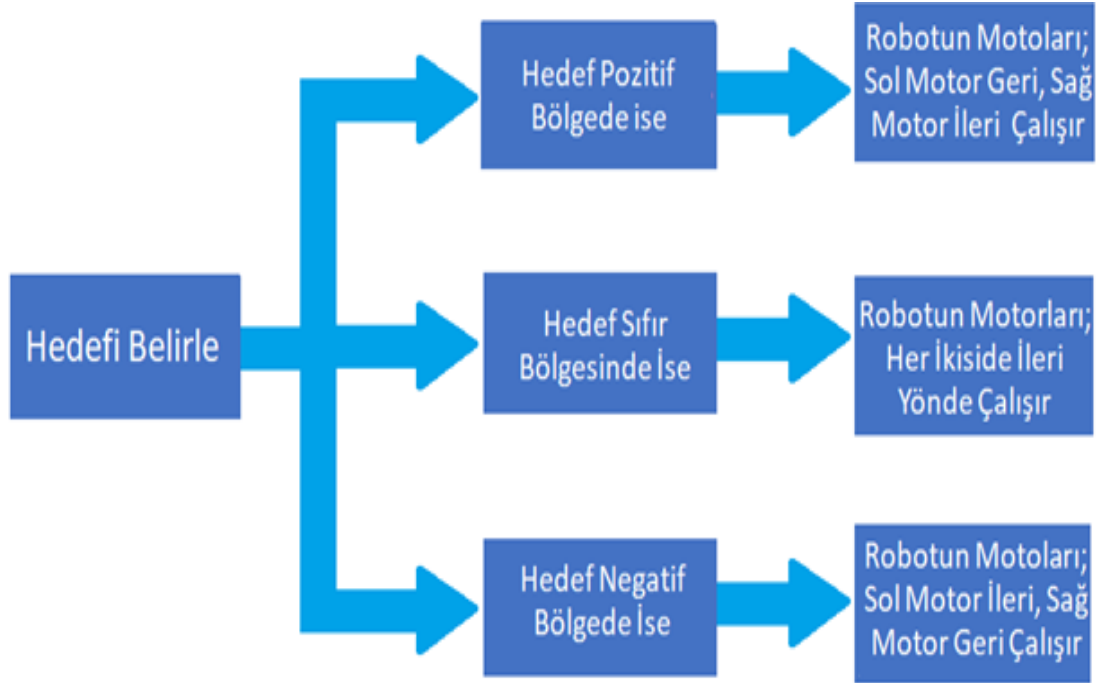
Küçük	Takip Mesafesinden Uzak	Hızlanmalı
Büyük	Takip Mesafesinden Yakın	Yavaşlamalı
İstenilen Aralıkta	Takip mesafesinde	Hızını Korumalı



Şekil 4.11.  $\pm X$  Ekseninde Robotun Hareket Şartları Akış Şeması

Tablo 4.3.  $\Phi$  Açısal Hareketinde Robotun Hareket Şartları

<b><math>\Phi</math> Açısal Hareketinde</b>		
Hedefin Eksendeki Yeri	Hedefin Konumu	Motor Hareketi
Negatif Bölgede	Sol Tarafta	Sol Motor Geri, Sağ Motor İleri
Pozitif Bölgede	Sağ Tarafta	Sağ Motor Geri, Sol Motor İleri
Sıfır Bölgesinde	Ortada	İki Motorda İleri



Şekil 4.12.  $\Phi$  Açısal Hareketinde Robotun Hareket Şartları Akış Şeması

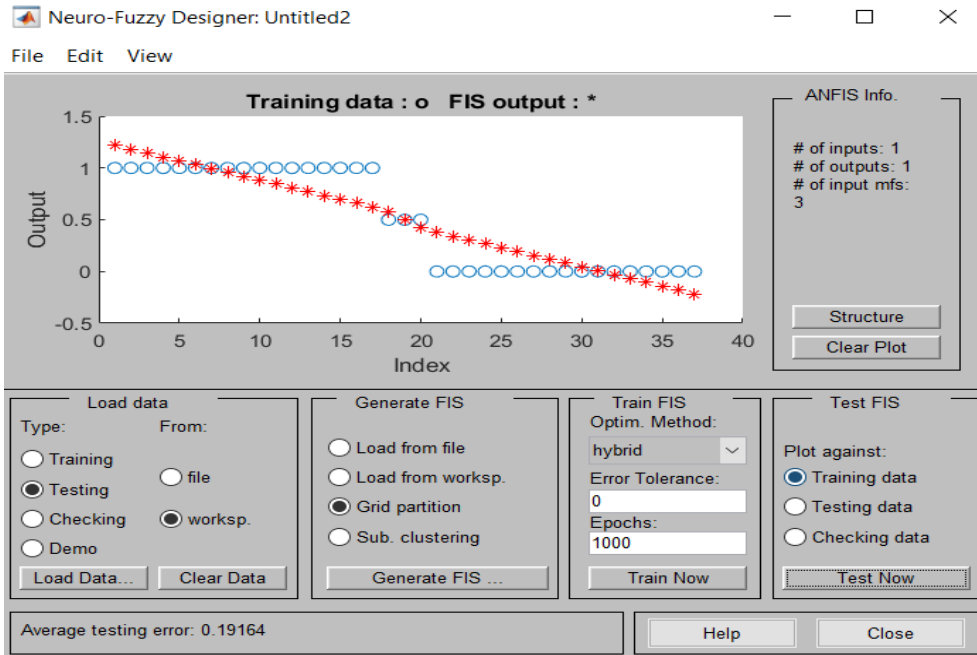
Oluşturulan tablolardan da görüldüğü üzere sistemimizin altı adet girdisi bulunmaktadır. Ancak sistemimizin girdi sayısını azaltmak daha fazla avantaj sağlar. Sistemimizde  $\pm x$  yönünde hareket sağlarken hedefin istenilen aralıkta olması çıktı olarak ekstra bir şey katmaz; robot kendi hareket şeklini koruması yeterlidir. Aynı şeyler  $\Phi$  açısındaki konumunda hedefin ortada olduğu girdi içinde aynıdır. Bu adımlar için ekstra girdi ve çıktı eklemektense bu girişleri yok sayabiliriz.

## 5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Su altı robotunda deneysel çalışmalar; simülasyon ortamında ve gerçek hayatta yapılmıştır. ANFIS eğitimi, ateşleyici kural çarpanları, ANFIS testleri matlab üzerinden simüle edilmiştir. Bunun yanı sıra tasarımı komple bitirilmiş olan su altı robotu, gerçek hayatta; KALE' de bulunan yatay havuzda test edilmiştir.

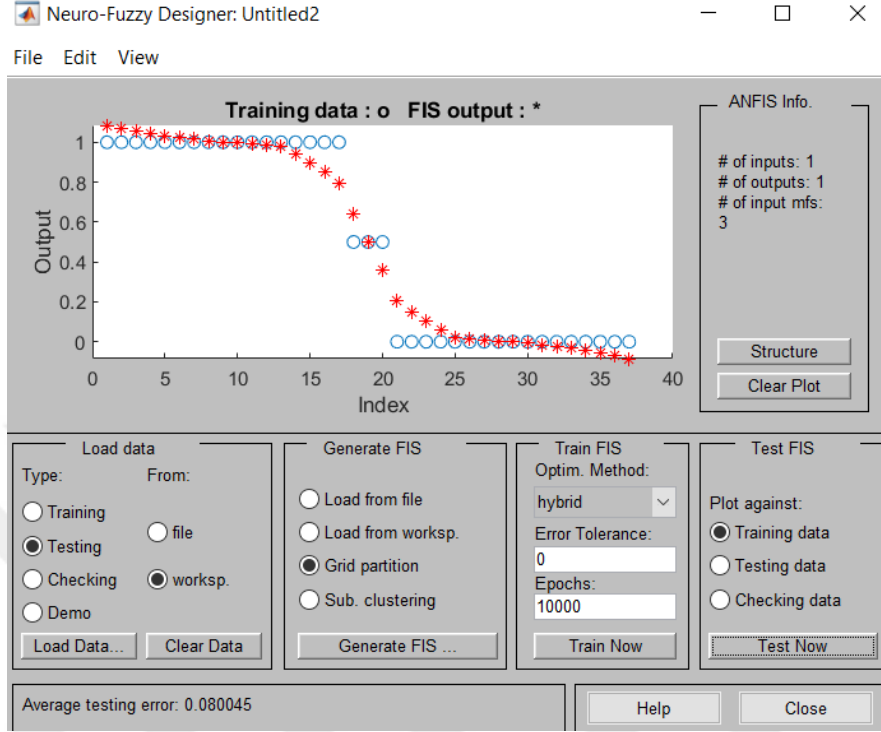
### 5.1. Matlab Simülasyon Çalışmaları

Öncelikli olarak ANFIS uygulamamızın Matlab ile bir simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Yapılan bu çalışma ile uygulamamızda kullanacağımız bazı parametreler elde edilmiştir. Yaw açısındaki kontrol kısmı üzerine yapılmış olan bu çalışmalarda açı sınırları +90/ -90 arasında alınmıştır. Matlab sayısal değer kabul ettiği için; sağ motorun ileri yönde sol motorun geri yönde çalıştığı değere sıfır (0), iki motorun da ileri yönde çalıştığı değere yarım (0,5) ve sağ motorun geri sol motorun ileri yönde çalıştığı değere de bir (1) verilmiştir. Sistemin girdi ve sonuç tablosu ekler kısmında verilmiştir.



Şekil 5.1. Bin Kez eğitim Sonucu Oluşan Hatanın Eğitim Verileri ile Testi

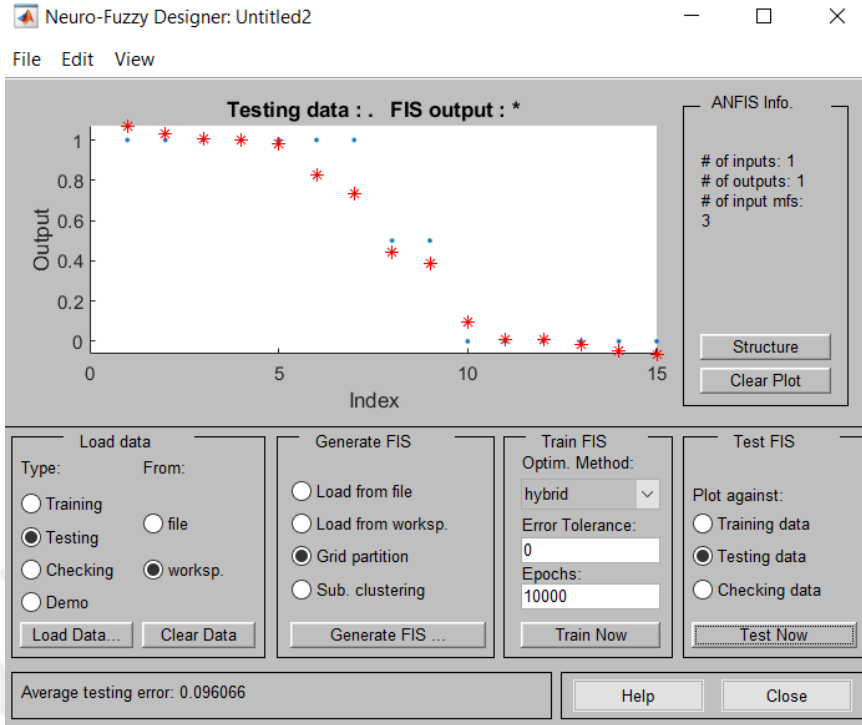
Tek girdi/ tek çıktı olarak tasarlanan bu sistem için; bin ve on bin adet olmak üzere iki farklı sayıda eğitim yapılmış ve bunlar gösterilmiştir. Yapılan bu eğitimler sonucunda sistemin oluşturduğu kurallar kodlama kısmında kullanılmıştır.



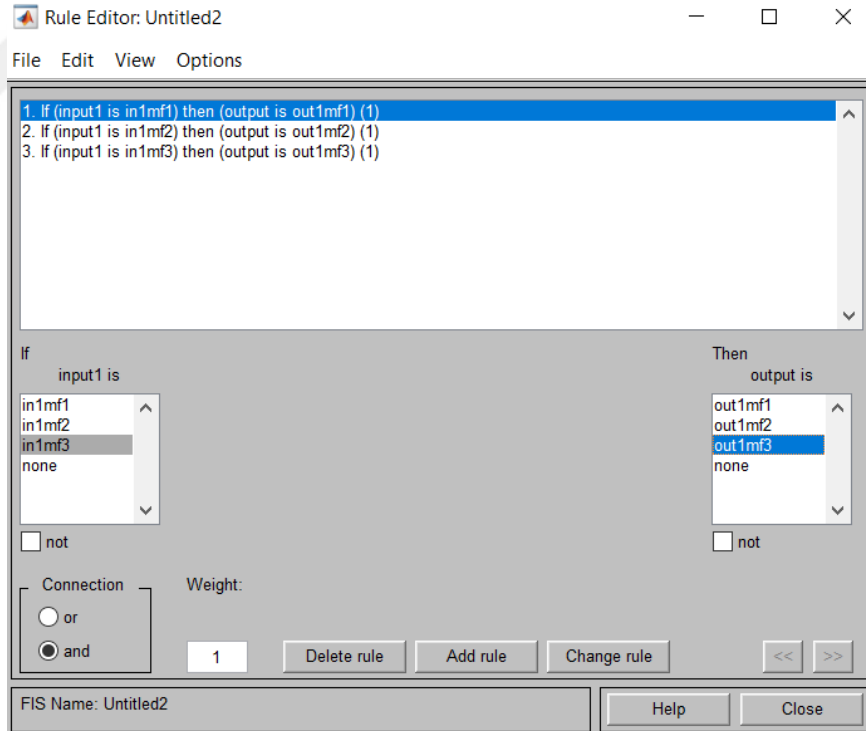
Şekil 5.2. On Bin Kez eğitim Sonucu Oluşan Hatanın Eğitim Verileri ile Testi



Şekil 5.3. Bin Kez eğitim Sonucu Oluşan Hatanın Test Verileri ile Testi



Şekil 5.4. On Bin Kez eğitim Sonucu Oluşan Hatanın Test Verileri ile Testi

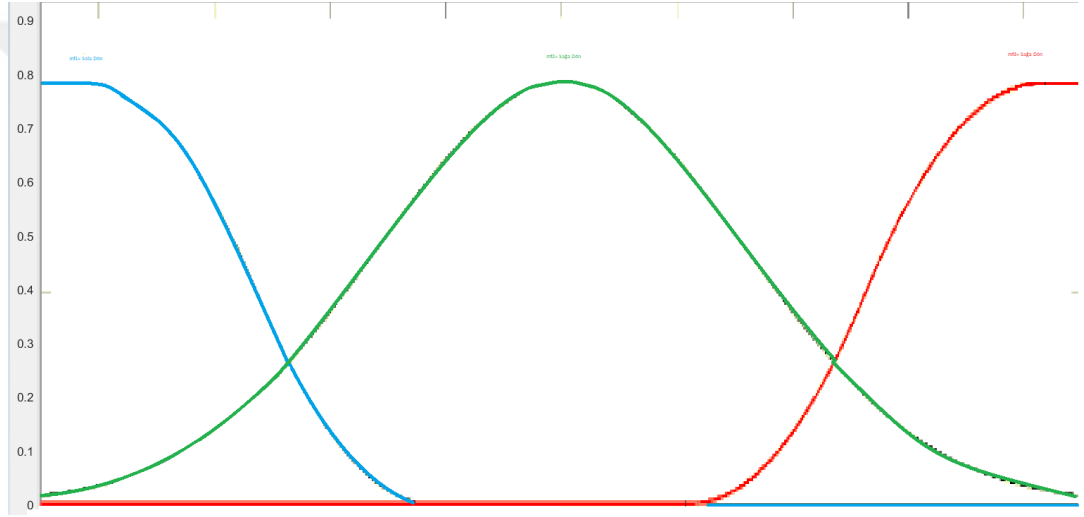


Şekil 5.5. Sistemin Kendi İçin Oluşturduğu Kurallar

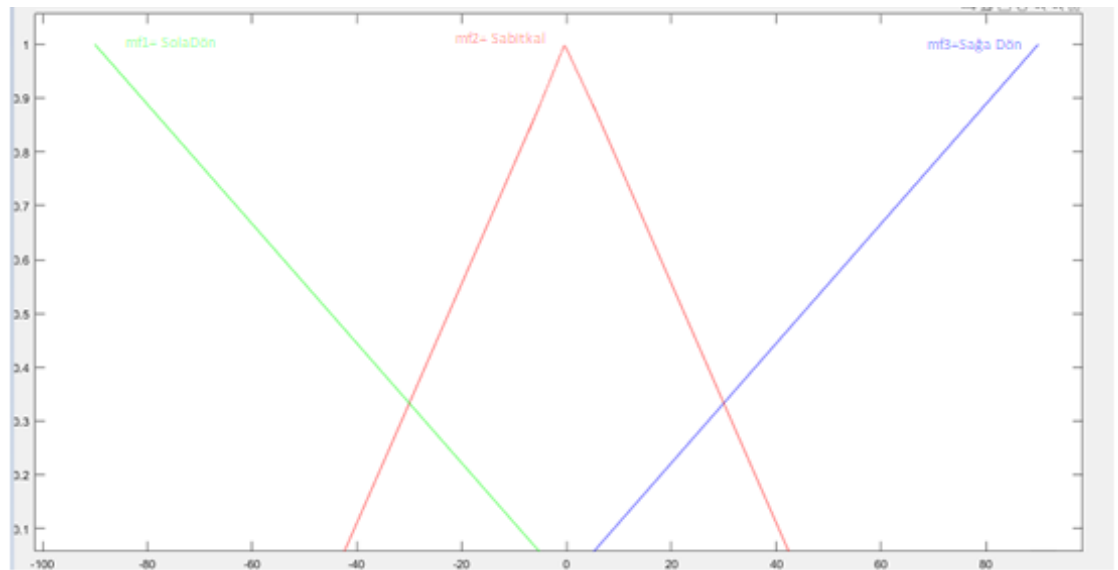
Burada ki in1mf<sub>n</sub> değerleri sistemin girdisini out1mf<sub>n</sub> değerleri ise çıkış değerlerini göstermektedir.

Tablo 5.1. Kurallar Girdi/Çıktı Tablosu

İn1mf <sub>1</sub> = 0° ile 90° arasında	Out1mf <sub>1</sub> Sağa Dön
İn1mf <sub>2</sub> = 45° ile -45° arasında	Out1mf <sub>2</sub> Sabit Kal
İn1mf <sub>3</sub> = -90° ile 0° arasında	Out1mf <sub>3</sub> Sola Dön



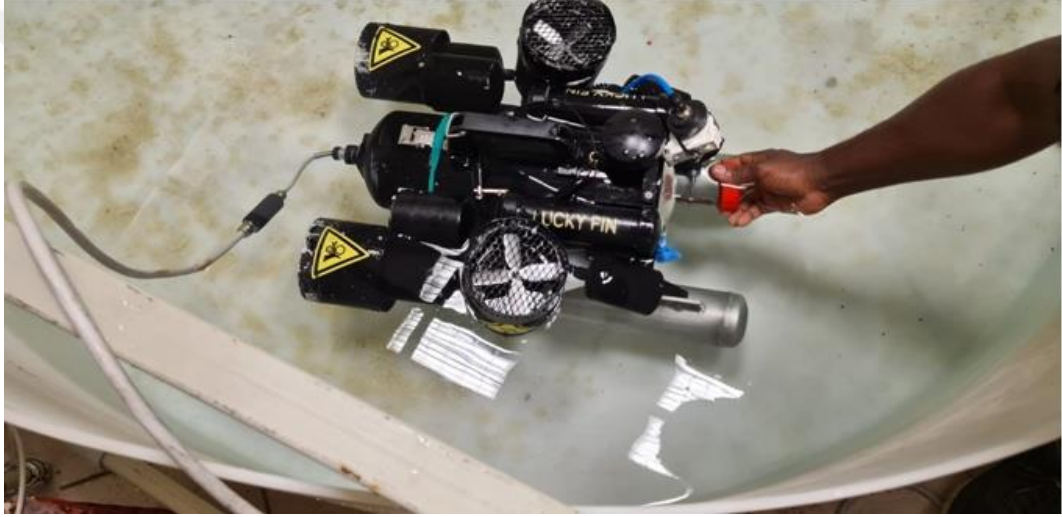
Şekil 5.6. ANFIS Yaw Açısı Denetim Sisteminin Giriş Üyelik Fonksiyonları



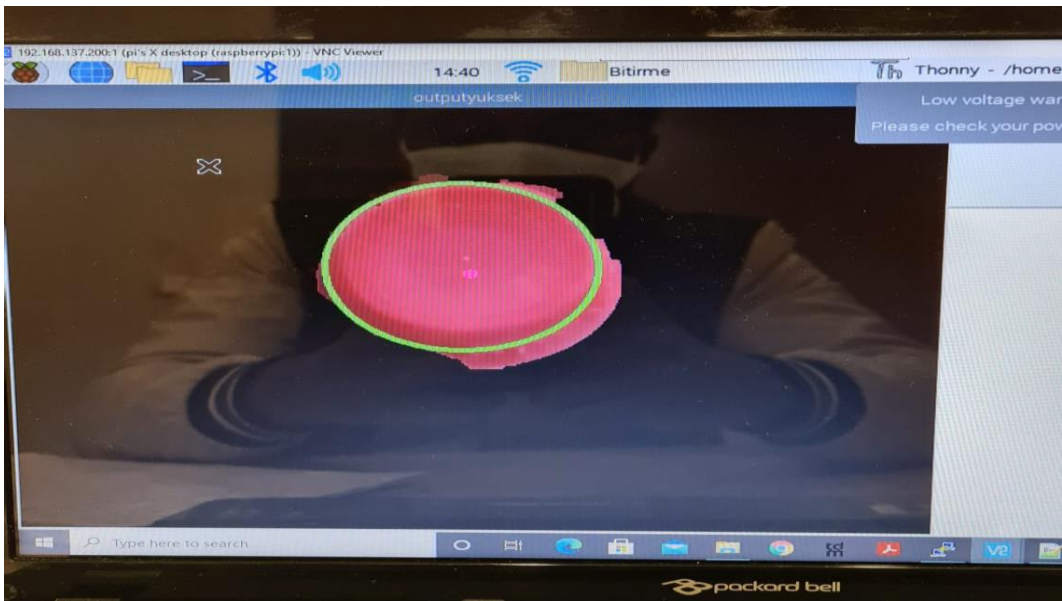
Şekil 5.7. ANFIS Yaw Açısı Denetim Sisteminin Çıkış Üyelik Fonksiyonları

## 5.2. Deneysel Çalışmalar

KALE Laboratuvarında yatay havuzda yapılmış olan deneyler ile su altı robotunun suyun içinde ne kadar verimli çalıştığı gösterilmiş oldu. Bu deneylerin asıl amacı; PID kontrol metodu ile bizim tarafımızdan gerçekleştirilen ANFIS kontrol metodunu karşılaştırmaktı. Bu çalışmalar yapılırken fotoğraf çekimleri ile olaylar görselleştirilmiştir. Bunun yanı sıra video kaydı da yapılmıştır. Su altı robotu, hedefini  $\pm x$  düzleminde takip ederken, hedefin uzaklığı takip mesafesinden yakında olursa robot durur. Şekil 5.8’de bu gösterilmiştir. Ayrıca düzenlenen programın çıktısı olarak kamera ile tespit edilmiş cisimde Şekil 5.9’da verilmiştir.



Şekil 5.8. Robotun  $\pm X$  Eksenindeki Hareketi İçin Hedefin Konumu



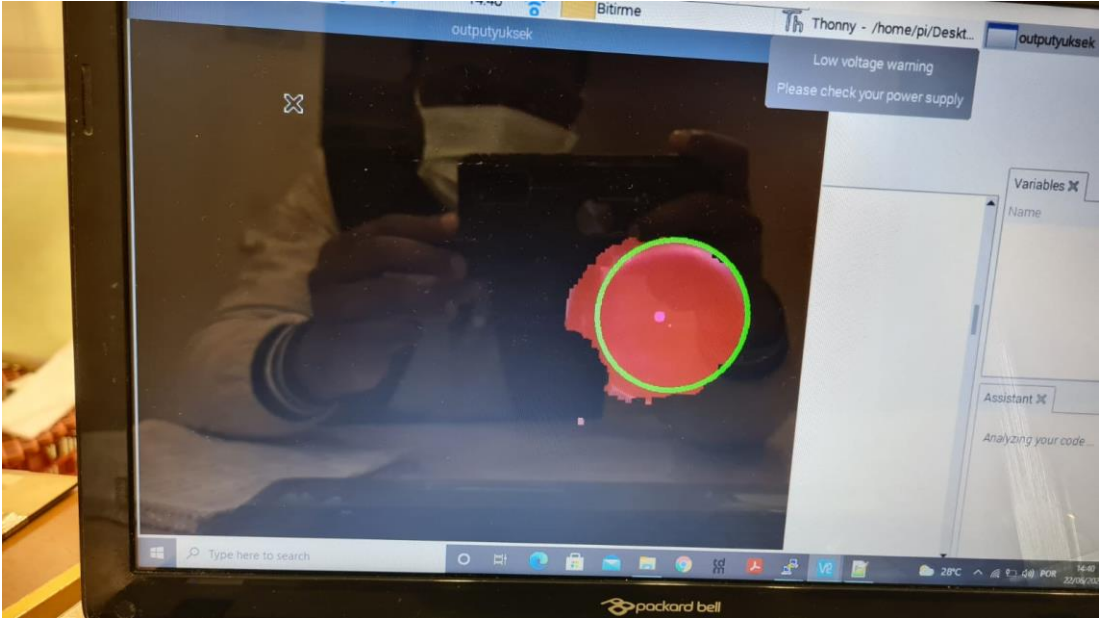
Şekil 5.9. Aynı Doğrultuda Hedefin Programla Tespiti



Robotun sağı dönebilmesi için; hedefin, robotun kendi doğrultusuna göre sağı da olması gerekmektedir. Sağı dönüş hareketini test ederken çekilen fotoğraf Şekil 5.10'da verilmiştir. Sağı dönüş işlemi için nesnenin tespit edildiğı ekran görüntüsünün fotoğrafı ise Şekil 5.11' da verilmiştir.



Şekil 5.10. Robotun Sağı Dönüş Hareketi İçin Hedefin Konumu



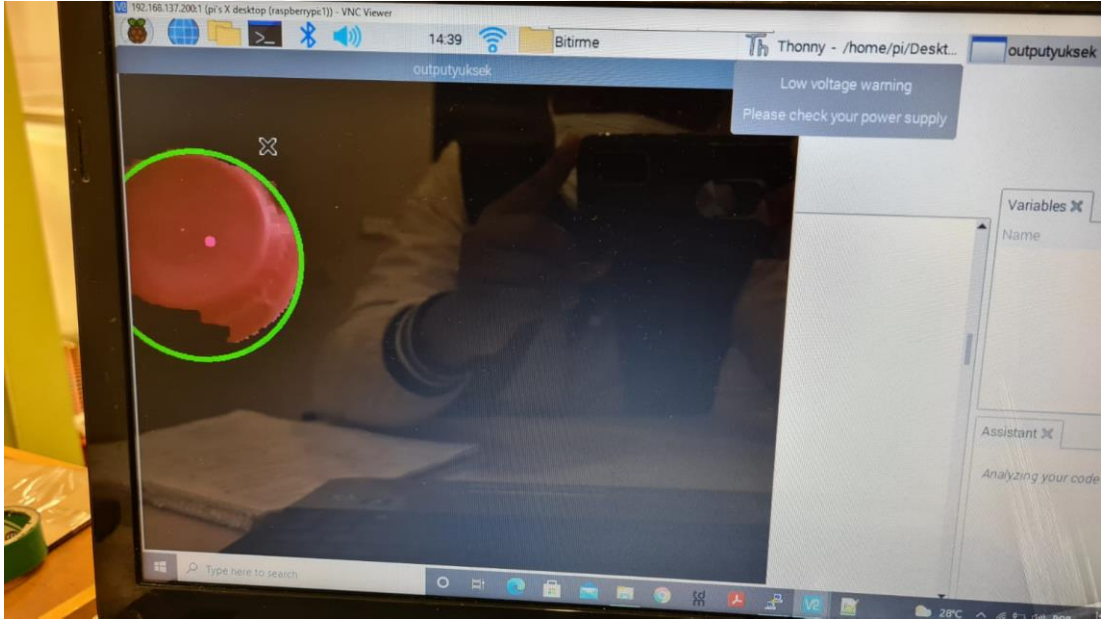
Şekil 5.11. Hedef, Robotun Sağındayken Programla Tespiti

Su altı robotunun yaw açısındaki sola dönüş hareketini yapabilmesi için ise; hedefin, robotun doğrultusunun solunda kalması gerekmektedir. Hedefin ve robotun görseli Şekil 5.12'de verilmiştir. Hedef program ile tespiti ise Şekil 5.13'de verilmiştir.





Şekil 5.12. Robotun Sola Dönüş Hareketi İçin Hedefin Konumu



Şekil 5.13. Hedef, Robotun Solundayken Programla Tespiti

### 5.3. ANFIS Kontrolü ve PID Kontrolünün Grafikselsel Değerleri

Yapılmış olan deneysel çalışmalarda PID kontrol metodu ile ANFIS kontrol metodunu verimli bir şekilde kıyaslayabilmek için tüm değişkenleri sabit tutarak (hedefin boyutu, hedefin rengi, kameranın özellikleri, ortam aydınlatması, güç kaynakları, vs.) sadece kontrol metotları değiştirilmiştir.

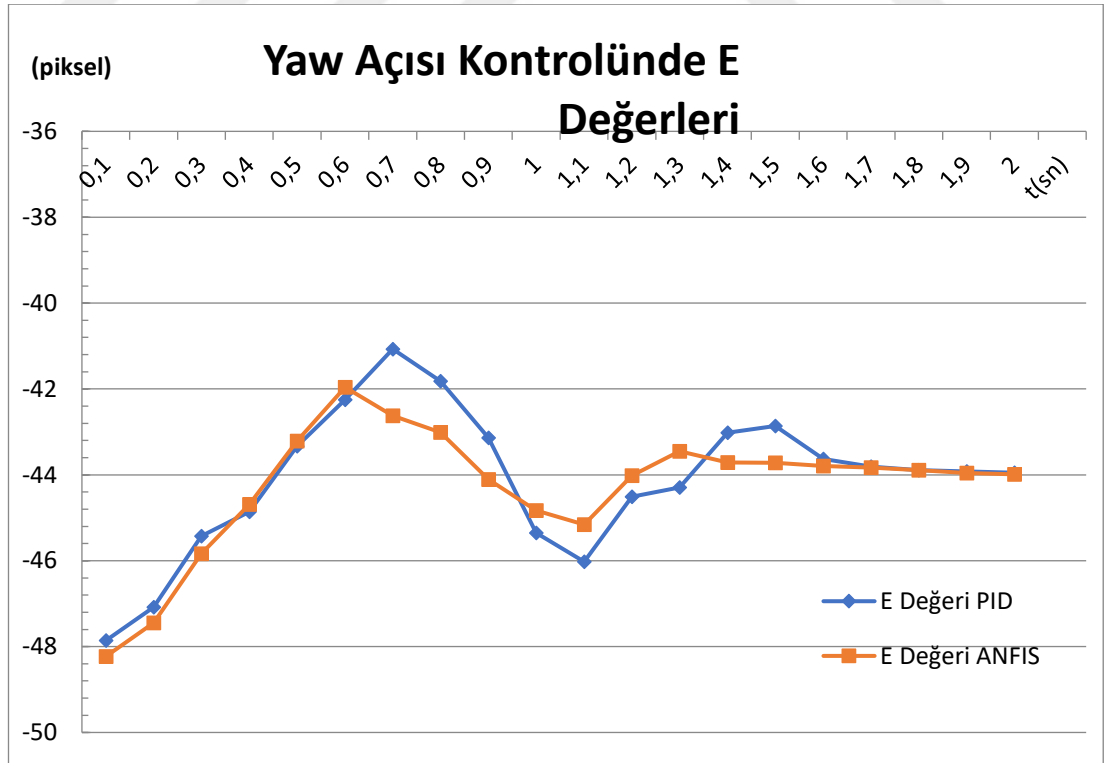
Yapılan bu deneylerde; Yaw açısındaki kontrol  $\pm 90^\circ$  derece değerlerinde yapılmıştır.  $180^\circ$  derecelik bu değişim yazılan programda 90 piksel değerine karşılık gelmiştir. Hata değerleri (E) üzerinden kontrol sisteminin yönetimi ve grafiksel çıktıları oluşturulmuştur. Toplam piksel (P) değerinden hata değerinin çıkarılması ile sapma miktarı elde edilir. Formül 5.1. de bu hesap verilmiştir.

$$P - E = \text{Sapma Miktarı} \quad (5.1)$$

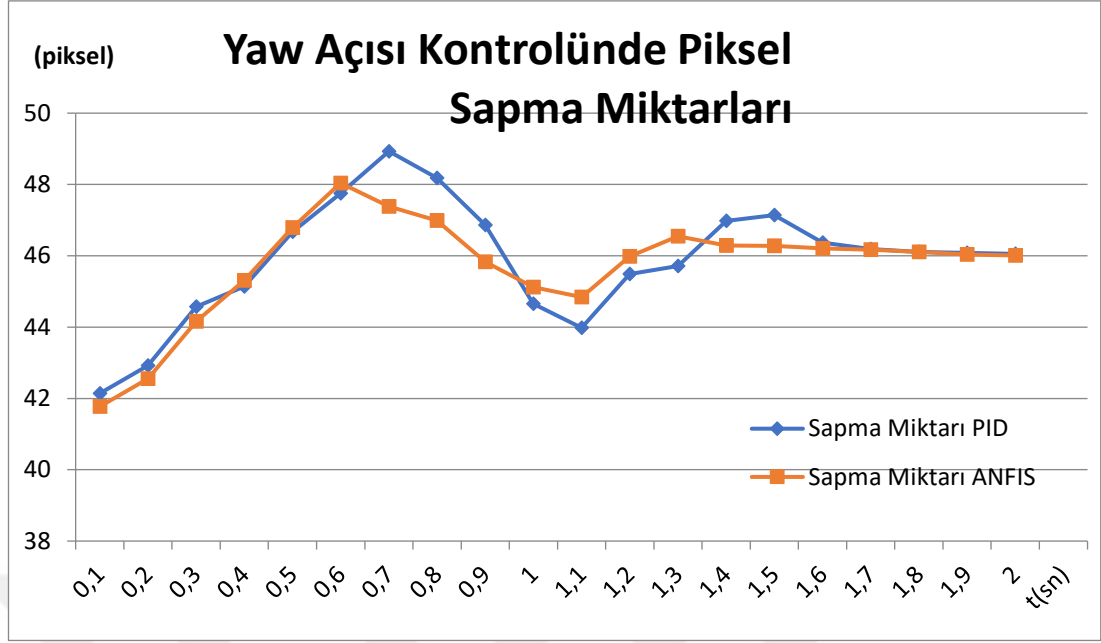
Bir örnek yardımıyla açıklamak gerekirse birinci saniyede PID kontrol yöntemi ile oluşan sapma miktarı;

$$90 - 41,07 = 48,93 \quad (5.2)$$

şeklinde hesaplanmıştır. Su altı robotunun gövde çerçevesi bazlı ekseninde orta nokta 46 piksel değerine denk gelmektedir. ANFIS kontrol metodu ve PID kontrol metodunu hata değerleri (E) Grafik 5.1. de verilmiştir. ANFIS kontrol metodu ve PID kontrol metodunun sapma miktarlarındaki değişimleri Formül 5.1. ile hesaplanmıştır ve Grafik 5.2 ile gösterilmiştir.



Şekil 5.14. Yaw Açısı Kontrolünde E (Hata) Değerleri



Şekil 5.15. Yaw Açısı Kontrolünde Piksel Sapma Miktarları

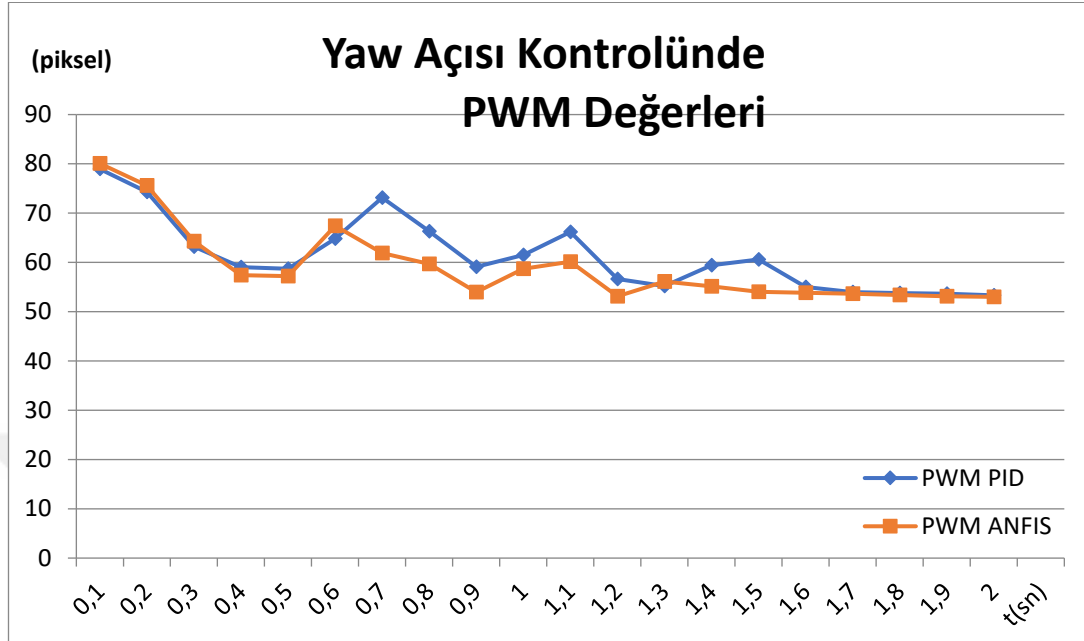
ANFIS kontrol metodu ile elde edilmiş kontrolde sapma miktarı PID kontrolör ile elde edilmiş olan kontrolden daha düşük değerler içerisindedir. Ayrıca ANFIS kontrolünde maksimum aşım miktarı PID kontrolden daha düşüktür. Bunun yanı sıra ANFIS kontrol metodunda yerleşme zamanı, PID kontrol metodundan önce gerçekleşmiştir.

Tablo 5.2. Kontrol Metotlarının Kararlılık Analiz Değerleri

	ANFIS KONTROL METODU	PID KONTROL METODU
$t_d$	0,3 sn	0,25 sn
$t_r$	0,5 sn	0,5 sn
$t_p$	0,6 sn	0,7 sn
$t_s$	1,4 sn	1,6 sn
$M_p$	%51	%73

Gerçekleştirilen kontrol metotlarında; sapma miktarını azaltabilmek için su altı aracımız sağa sola dönüş işlemi gerçekleştirmiştir. Bu dönüşler motor sürücülerin

PWM ile tetiklenmesi sonucu oluşmuşlardır. Bu PWM değerleri Grafik 5.3. de verilmiştir.



Şekil 5.16. Yaw Açısı Kontrolünde PWM Değerleri

## 6. SONUÇLAR VE YORUMLAR

Su altı robotunun hangi kontrol yöntemi ile daha verimli çalıştığını bulmak için yapmış olduğumuz deneyler sonucu grafikler elde ettik. Elde edilen bu grafikler dinamik sistem grafikleridir.

Yaptığımız deneyler sonucunda PID ve ANFIS kontrol metotlarının kararlılık analizleri yapılmıştır. İki kontrol metodu içinde başlangıç değeri aynı belirlenmeye çalışılmıştır. Ancak suyun içinde elle ayarlanan bir sistem olduğu için küçük farklılıklar oluşmuştur. Bu değer 0,3 birimlik bir değer olduğu içinse çok rahat göz ardı edilebilmiştir.

PID kontrol metodunda, ANFIS kontrol metoduna göre aşma zamanını daha geç yaşamıştır. Bu sistemin daha geç tepki verdiğini gösterir. En fazla aşma miktarında yaklaşık olarak %20'lik bir fark oluşmuştur. Bu fark PID kontrol metodu ile yapılan kontrolde daha büyük açılarda sapma ve daha fazla salınım yapıldığını göstermiş olur. Ayrıca ANFIS kontrol metodu ile yapılan kontrol yöntemi ile yerleşme zamanı PID kontrolüne göre daha önce gerçekleşmiştir. Bu da ANFIS metodunun kalıcı duruma daha erken geldiğini, sistemin daha kararlı olduğunu gösterir.

Yapılan çalışmalar sonucunda; ANFIS kontrol metodunun PID kontrol metoduna göre daha başarılı sonuçlar verdiği görülmüştür.

## KAYNAKLAR

- [1] Canlı G. A., Kurtođlu İ., Canlı M. O., Tuna Ö. S., Dünyada ve Ülkemizde İnsansız Sualtı Araçları (İsaa-Auv & Rov) Tasarım ve Uygulamaları, Gıdb Dergi, 2016, 1(04) 43-75.
- [2] Gül D. U., Leblebiciođlu K., Otonom Sualtı Aracı Modellemesi, Denetimi ve Hareket Planlama Tasarımı, Ankara, Türkiye Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Sempozyumu, 2011.
- [3] Yakut M., Yılmaz S., İnce S., Otçu M., Aygün E. Derinlik ve Yön Kontrol Uygulamaları için Sualtı Aracı Tasarımı. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C; Tasarım ve Teknoloji, 2015, 3(1), 343-355.
- [4] Wadoo S., Kachroo P., Autonomous Underwater Vehicles Modeling, Control Design And Simulation, 1st, Crc Press Taylor & Francis Group, Abd, 2017.
- [5] Lützen J., Mechanistic Images in Geometric Form: Heinrich Hertz's 'Principles Of Mechanics', 1st, Oxford University Press, England, 2005
- [6] Condit, Reston. "Brushed Dc Motor Fundamentals." Microchip Technology Inc, Http://ww1. Microchip. Com/Downloads/En/Appnotes/00905a. Pdf 2004.
- [7] Zhua Y., Xiaoweia H., Xinxiaoa D., Design And Implement of Welding Motor Control System Based on Wireless Sensor Network, International Conference on Power Electronics and Engineering Application, China, 2011.
- [8] Kocaođlu N.T., İnsansız Su Altı Araçlarında Görüntü İşleme Uygulamaları, Lisans Tezi, Koü, Fbe, Kocaeli, 2019
- [9] <https://Market.Samm.Com/Raspberry-Pi-3-B-Plus>, (Ziyaret Tarihi: 13 Mayıs 2021)
- [10] <https://Www.Raspberrypi.Org/Products/Raspberry-Pi-3-Model-B-Plus/> (Ziyaret Tarihi: 13 Mayıs 2021)
- [11] Ketenci S., Otomatik Tohumlandırılmalı Bölge Büyütme Metoduyla Renkli Görüntülerde Bölge ve Kenar Tespiti Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2011, 285386.
- [12] Illingworth, John, and Josef Kittler. "A Survey of The Hough Transform." Computer Vision, Graphics, and Image Processing44.1, 1988, 87-116.
- [13] Gül Ç., Durur A., Bayıroğlu F., Akıllı Evler için İris Tanıma Sistemi, Bitirme Projesi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 2016.

- [14] Taşel F. S., Hough Dönüşümünün Dairesel Şekil Tespiti İçin Cuda Üzerinde Paralleştirilmesi, Mühendislik ve Teknoloji Sempozyumu, Ankara, Nisan 2012
- [15] Develi H., (2004), Ziegler Nichols Yöntemi ve Mıgo Yaklaşımı, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2004
- [16] Lin J-M.; Lin C-H., A Novel Fuel Cell System Design By Using Ziegler-Nichols-Based Intelligent Fuzzy Controller, International Conference on Machine Learning and Cybernetics (Icmlc), Tianjin, China, 1268-1271, 2013.
- [17] Civalek Ö., Ülker M., Dikdörtgen Plakların Doğrusal Olmayan Analizinde Yapay Sinir Ağı Yaklaşımı, İmo Teknik Dergi, 2004, 2(13) 3171-3190.
- [18] Yılmaz M., Arslan E, Bulanık Mantığın Jeodezik Problemlerin Çözümünde Kullanılması, Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu, İstanbul, Türkiye, 23-25 Kasım 2005.
- [19] Türkbey, O., Çok Amaçlı Makine Sıralama Problemi İçin Bir Bulanık Güçlü Metot, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen ve Mühendislik Dergisi, 2003, 5 (3) 81-98.
- [20] Ataşoğlu A., Bulanık Mantık, Medium.org <https://Ahmetatasoglu98.Medium.Com/Bulan%C4%B1k-Mant%C4%B1k-1-Bulan%C4%B1k-K%C3%Bcmeler-A810ffdc1620> (Ziyaret Tarihi: 18 Mayıs 2021)
- [21] Jang J. S. R., Anfis: Adaptive Networkbased Fuzzy İference Systems. Ieee Trans. Syst., Man. and Cybern, 1993, 2(3) 665-685.
- [22] Franklin G. F., Powell J. D., Workman M. L., Digital Control Of Dynamic Systems, 3rd, Ellis-Kagle Press, Abd, 1990,
- [23] Akyılmaz O., Esnek Hesaplama Yöntemlerinin Jeodezide Uygulamaları, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2005, 166674.
- [24] Palancıoğlu H. M., Beşdok E., Hareketli Objelerin Ulaşım Ağındaki Hareketlerinin Bulanık Mantık Metotları ile Modellenmesi, 2. Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu, İstanbul, Türkiye, 23-25 Kasım 2005.
- [25] Karakuzu C. Bulanık Modelleme ve Akıllı Denetim, Docplayer, <https://docplayer.biz.tr/9105550-Ders-5-bulanik-modeller.html>, (Ziyaret Tarihi: 12 Mayıs 2021)
- [26] Özçalık H., Uygur A., Dinamik Sistemlerin Uyumlu Sinirsel – Bulanık Ağ Yapısına Dayalı Etkin Modellenmesi, Ksü Fen ve Mühendislik Dergisi, 2003, 6 (1) 36- 46 .

- [27] Avcı E., Akpolat Z. H., Uyarlamalı Ağ Tabanlı Bulanık Çıkarım Sistemi ile Doğru Akım Motorlarının Hız Denetimi, Eleco'2002 Elektrik Elektronik-Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu, Bursa, Türkiye, Aralık 2002.
- [28] Yılmaz S. , İlhan R., Feyzulloğlu E. Estimation Of Adhesive Wear Behavior of The Glass Fiber Reinforced Polyester Composite Materials Using Anfis Model, Journal of Elastomers and Plastics, 10.1177/00952443211020793







## Ek-A ANFIS Eğitim Sistemi Girdileri, Beklenen Sonuçları, Elde Edilen Sonuçları

Verilen açı değeri  $90^\circ$  ile  $5^\circ$  arasında ise, denetleyiciden  $\approx 10x\Sigma$  gerilim üretilir ve sistemin sola dönmesini sağlar.

Verilen açı değeri  $5^\circ$  ile  $-5^\circ$  arasında ise, denetleyiciden  $\approx 10x\Sigma$  gerilim üretilir ve sistemin sabit kalması sağlanır.

Verilen açı değeri  $-5^\circ$  ile  $-90^\circ$  arasında ise, denetleyiciden  $\approx 10x\Sigma$  gerilim üretilir ve sistemin sağa dönmesini sağlar.

Tablo A.1. Eğitim Verileri

Açı Değeri	Beklenen Sonuç	Elde Edilen Sonuç	Denk Geldiği Gerilim	
			Sol Motor	Sağ Motor
$90^\circ$	1	1.084	0v/12v	
$85^\circ$	1	1.068	0v/12v	
$80^\circ$	1	1.054	0v/12v	
$75^\circ$	1	1.042	0v/12v	
$70^\circ$	1	1.032	0v/10v	
$65^\circ$	1	1.023	0v/10v	
$60^\circ$	1	1.015	0v/10v	
$55^\circ$	1	1.007	0v/10v	
$50^\circ$	1	1.001	0v/8v	
$45^\circ$	1	0.9955	0v/8v	
$40^\circ$	1	0.9902	0v/8v	

Tablo A.1. (Devam) Eğitim Verileri

35°	1	0.9854	0v/8v
30°	1	0.9793	0v/6v
25°	1	0.9405	0v/6v
20°	1	0.8975	0v/6v
15°	1	0.8498	0v/6v
10°	1	0.7946	0v/6v
5°	0.5	0.6432	6v/6v
0°	0.5	0.5000	6v/6v
-5°	0.5	0.3568	6v/6v
-10°	0	0.2054	6v/0v
-15°	0	0.1502	6v/0v
-20°	0	0.1025	6v/0v
-25°	0	0.0595	6v/0v
-30°	0	0.0207	6v/0v
-35°	0	0.0146	8v/0v
-40°	0	0.0098	8v/0v
-45°	0	0.0045	8v/0v
-50°	0	-0.0014	8v/0v
-55°	0	-0.0078	10v/0v

Tablo A.1. (Devam) Eğitim Verileri

-60°	0	-0.0150	10v/0v
-65°	0	-0.0231	10v/0v
-70°	0	-0.0322	10v/0v
-75°	0	-0.0426	12v/0v
-80°	0	-0.0546	12v/0v
-85°	0	-0.0684	12v/0v
-90°	0	-0.0847	12v/0v

### Ek-B ANFIS Test Sistemi Girdileri, Beklenen Sonuçları, Elde Edilen Sonuçları

Eğitilerde tam sayı değerleri kullanılmıştır. Test değerleri olarak ise küsuratlı değerler kullanılmıştır. Bunun amacı elde edilen kuralların başarımı oranını test etmektir.

Tablo B.1. Test Verileri

Açı Değeri	Beklenen Sonuç	Elde Edilen Sonuç	Denk Geldiği Gerilim	
			Sol Motor	Sağ Motor
86°	1	1.071	0v/12v	
68°	1	1.028	0v/10v	
53°	1	1.005	0v/10v	
47°	1	0.9978	0v/10v	
32°	1	0.9827	0v/6v	
13°	1	0.8293	0v/6v	
8°	1	0.7330	0v/6v	
-2°	0.5	0.4437	6v/6v	
-4°	0.5	0.3861	6v/6v	
-21°	0	0.0935	6v/0v	
-38°	0v	0.0117v	8v/0v	
-42°	0v	0.0077v	8v/0v	
-61°	0v	-0.0166v	10v/0v	

Tablo B.1. (Devam) Test Verileri

-78°	0v	-0.0496v	12v/0v
-83°	0v	-0.0626v	12v/0v



### Ek-C Daire Oylama Kodu

```
For pixel(x,y)
  For radius r = 10 to r = 60 //olası yarıçaplar
    For theta  $\theta$  = 0 to 360 //  $\theta$  radiana çevrilmeli
      a=x-r\times cos( $\theta$ ) //merkez koordinatları
      b=y-r\times sin( $\theta$ ) //merkez koordinatları
      A[a,b,r] +=1; //oylama işlemi
    end
  end
end
end
```



## Ek-D ANFIS Uygulaması Kodu

```
#Gerekli paketleri al
from picamera.array import PiRGBArray
from picamera import PiCamera
from collections import deque
from imutils.video import VideoStream
import imutils
import time
import cv2
import numpy as np
import argparse
import scipy.misc
import scipy
import math as mt

defaultSpeed =30
windowCenter = 320
centerBuffer = 10
pwmBound = float(50)
cameraBound = float(320)
kp = pwmBound / cameraBound
leftBound = int(windowCenter - centerBuffer)
rightBound = int(windowCenter + centerBuffer)
error = 0
ballPixel = 0
```



```
PWM_G = PWM_D = PWM_I = e1 = e2 = e2_sc = e2_p = PWM_IG = PWM_LR =  
0
```

```
#m = merkez, s=sigma
```

```
def sigmoid(a,u,m,s,x):
```

```
    mu_x = 1/(1+mt.exp(-(x-m)*s))
```

```
    return mu_x
```

```
#m = merkez, s=sigma, n=tavan genişliği
```

```
def gaussian(a,u,m,s,x):
```

```
    mu_x = mt.exp(-((x-m)**2)/(2*(s**2)));
```

```
    return mu_x
```

```
DC1 = DC2 = DC3 = DC4 = 0
```

```
#Tek ton sonuç üyelik fonksiyonları (geri&ileri hareket için)
```

```
k_g = k_r = [[-100, 0],[-100, 1]] #gerile ve sağa dönüş fonksiyonu
```

```
k_d = k_s = [[1, 0], [1, 1]] #dur fonksiyonu
```

```
k_i = k_l = [[+100, 0],[+100, 1]] #ilerle ve sola dönüş fonksiyonu
```

```
mu_g = k_g[1][1]
```

```
mu_d = k_d[1][1]
```

```
mu_i = k_i[1][1]
```

```
e1 = e2_n = 0
```

```
#GPIO
```

```
import RPi.GPIO as GPIO
```

```
GPIO.setmode(GPIO.BOARD)
```

```
GPIO.setwarnings(False)
```

```
#Pin definitions
```

```
enableRight= 5 #
#rightFwd = 7 #
#rightRev = 11 #
leftFwd = 16 #
leftRev = 18 #
enableLeft= 12 #
ek1=10
ek2=32
ek3=22
ek4=36
ek5=24
ek6=26

#GPIO initialization
GPIO.setup(leftFwd, GPIO.OUT)
GPIO.setup(leftRev, GPIO.OUT)

GPIO.setup(enableRight, GPIO.OUT)
GPIO.setup(enableLeft, GPIO.OUT)
GPIO.setup(ek1, GPIO.OUT)
GPIO.setup(ek2, GPIO.OUT)
GPIO.setup(ek3, GPIO.OUT)
GPIO.setup(ek4, GPIO.OUT)
GPIO.setup(ek5, GPIO.OUT)
GPIO.setup(ek6, GPIO.OUT)
#Disable movement at startup
GPIO.output(leftFwd, False)
GPIO.output(leftRev, False)
GPIO.output(ek1, False)
GPIO.output(ek2, False)
```

```

GPIO.output(ek3, False)
GPIO.output(ek4, False)
GPIO.output(ek5, False)
GPIO.output(ek6, False)

#PWM Initialization
rightMotor = GPIO.PWM(enableRight,900)
leftMotor = GPIO.PWM(enableLeft,900)

rightMotor.start(defaultSpeed)
leftMotor.start(defaultSpeed)

def updatePwm(rightPwm, leftPwm):
    rightMotor.ChangeDutyCycle(rightPwm)
    leftMotor.ChangeDutyCycle(leftPwm)
    GPIO.output(leftFwd, True)
    GPIO.output(leftRev, False)
    GPIO.output(ek1, True)
    GPIO.output(ek2, False)
    GPIO.output(ek3, True)
    GPIO.output(ek4, False)
    GPIO.output(ek5, True)
    GPIO.output(ek6, False)

def pwmStop():
    rightMotor.ChangeDutyCycle(0)
    leftMotor.ChangeDutyCycle(0)

    GPIO.output(leftFwd, False)
    GPIO.output(leftRev, False)
    GPIO.output(ek1, False)

```

```
GPIO.output(ek2, False)
GPIO.output(ek3, False)
GPIO.output(ek4, False)
GPIO.output(ek5, False)
GPIO.output(ek6, False)
```

```
#Argüman çözümlendirme yapılandırmaları gerçekleştir
ap = argparse.ArgumentParser()
ap.add_argument("-b", "--buffer", type=int, default=30, help = "max buffer size")
args = vars(ap.parse_args())

#Takip edilecek noktalar için tampon oluştur
pts = deque(maxlen=args["buffer"])

#Kamerayı başlat ve ham çekim için referans al
camera = PiCamera()
camera.resolution = (640, 480)
camera.framerate = 30
rawCapture = PiRGBArray(camera, size=(640, 480))
time.sleep(0.1)

#Sarı rengi için üst ve alt BGR sınırları belirle
lower_red = np.array([160,160,10])
upper_red = np.array([190,255,255])

#Çerçeveler kameradan yakala
for frame in camera.capture_continuous(rawCapture, format="bgr",
use_video_port=True):

    #Görüntüyü temsil eden NumPy dizisini al
```

```

image = frame.array

image = frame.array
output = image.copy()
hsv = cv2.cvtColor(image, cv2.COLOR_BGR2HSV)
kernel = np.ones((5,5), np.uint8)

mask = cv2.inRange(hsv, lower_red, upper_red)
mask = cv2.erode(mask, kernel, iterations=1)
mask = cv2.dilate(mask, kernel, iterations=1)
output = cv2.bitwise_and(output, output, mask=mask)
output = cv2.dilate(output, kernel, iterations=2)
output = cv2.erode(output, kernel, iterations=2)
gray = cv2.cvtColor(output, cv2.COLOR_BGR2GRAY)
_, binary = cv2.threshold(gray, 1, 255, cv2.THRESH_BINARY)

circles = cv2.HoughCircles(gray, cv2.HOUGH_GRADIENT, 3, 500, minRadius =
10, maxRadius = 200, param1 = 100, param2 = 60)

cnts = cv2.findContours(mask.copy(), cv2.RETR_EXTERNAL,
cv2.CHAIN_APPROX_SIMPLE)[-2]

ballPixel = 0
center = None

#En az bir merkez bulunursa ilerle
if len(cnts) > 0:

    #Maskedeki en geniş dış hattı bul

    #Bulunan hattı, hattı çevreleyen en küçük çemberi ve kütle merkezini
hesaplamak için kullan

    c = max(cnts, key=cv2.contourArea)

    ((x,y), radius) = cv2.minEnclosingCircle(c)

```

```

M = cv2.moments(c)
center = (int(M["m10"] / M["m00"]), int(M["m01"] / M["m00"]))
r = radius
z = center[0]
e1 = 275 - z
e2 = 90 - r

```

#Çemberin yarıçapı minimum bir değere erişiyorsa çember ve merkezi ekranda göster

```

if circles is not None:
    circles = np.round(circles[0, :]).astype("int")
    for (x, y, radius) in circles:

        cv2.circle(output, (x, y), radius, (0, 255, 0), 3)
        cv2.circle(output, center, 5, (128, 0, 255), -1)

        if radius > 10:

            ballPixel = x
        else:
            ballPixel = 0
#else:
e1_n = sigmoid(-275,0,-137.5,-0.1,e1) #negatif hata
e1_p = sigmoid(0,275,137.5,0.1,e1) #pozitif hata
e1_sc = gaussian(-275,275,0,75,e1) #sıfır civarı hata

e2_n = sigmoid(-80,0,-40,-0.2,e2) #negatif hata
e2_p = sigmoid(0,80,40,0.2,e2) #pozitif hata
e2_sc = gaussian(-80,80,0,20,e2) #sıfır civarı hata

```

```
kural_g = min(e2_n,mu_g) #Hata negatifse gerile
```

```
kural_d = min(e2_sc,mu_d)#Hata sıfır civarıysa dur
```

```
kural_i = min(e2_p,mu_i) #Hata pozitifse ilerle
```

```
kural_r = min(e1_n,mu_g) #Hata negatifse sağa dön (sol motor)
```

```
kural_s = min(e1_sc,mu_d)#Hata sıfır civarıysa dur
```

```
kural_l = min(e1_p,mu_i) #Hata pozitifse sola dön (sağ motor)
```

```
PWM_G = k_g[0][0]*kural_g #(-100*kural_g)
```

```
PWM_D = k_d[0][0]*kural_d #(1*kural_d)
```

```
PWM_I = k_i[0][0]*kural_i #(100*kural_i)
```

```
PWM_IG = (PWM_I+PWM_G+PWM_D)/(kural_g+kural_d+kural_i)
```

```
PWM_L = k_l[0][0]*kural_l #Sağ motor ile sola dön
```

```
PWM_S = k_s[0][0]*kural_s #dur
```

```
PWM_R = k_r[0][0]*kural_r #Sol motor ile sağa dön
```

```
PWM_LR = (PWM_R+PWM_S+PWM_L)/(kural_r+kural_s+kural_l)
```

```
if ballPixel == 0:
```

```
    print ("no object")
```

```
    error = 0
```

```
    pwmStop()
```

```
elif (ballPixel < leftBound) or (ballPixel > rightBound):
```

```
    error = windowCenter - ballPixel
```

```
    pwmOut = abs(error * kp)
```

```
    #print ballPixel
```

```
    turnPwm = pwmOut + defaultSpeed
```

```
if ballPixel < (leftBound):
```

```
    print ("left side")
```

```
    if radius > 50 and ballPixel < 110:
```

```

        #print (ballPixel)
        updatePwm(defaultSpeed, 60)
    else:
        updatePwm(turnPwm, defaultSpeed)
elif ballPixel > (rightBound):
    print ("right side")
    if radius > 50 and ballPixel >540:
        print (ballPixel)
        updatePwm(15, defaultSpeed)
    else:
        updatePwm(defaultSpeed, turnPwm)
else:
    print ("middle")
    if (radius < 40):
        updatePwm(defaultSpeed, defaultSpeed)
    else:
        updatePwm(defaultSpeed, defaultSpeed)

    #pwmStop()

#Noktalar kuyruğunu sonraki çerçeveler için güncelle

#Çerçeveyi ekranda göster
cv2.imshow("outputyukse", output)

print("E2 =%f, E2_N = %f, E2_SC=%f, E2_P=%f, PWM_IG=%f" %
(e2,e2_n,e2_sc,e2_p,PWM_IG))

#Bir sonraki çerçeveye hazırlık aşamasında olan akışı temizle
rawCapture.truncate(0)

#q tuşuna basılırsa programı kapat
k = cv2.waitKey(5) & 0xFF

```



```
if k == ord('q'):
    break
```

```
#PWM sinyallerinin üretimlerini durdur ve GPIO pinlerini temizle
cv2.destroyAllWindows()
camera.close()
pwmStop()
GPIO.cleanup()
```

```
#Programın kapatılma mesajını ekrana yazdır
#print("\n\nThe program has been closed.")
#print ("\033c")
```

## KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

- [1] **Ofluđlu A. A.**, Yılmaz S., Sualtı Araçlarında Anfis Yöntemi İle Nesne Takibi, *Uluslararası Marmara Fen Ve Sosyal Bilimler Kongresi*, Kocaeli, 21-22 Mayıs 2021.



## ÖZGEÇMİŞ

Ali Alpcan OFLUOĞLU lise öğrenimini Tefik Serdar Anadolu Lisesi'nde tamamladı. 2012 yılında girdiği Karadeniz Teknik Üniversitesi Elektrik & Elektronik Mühendisliği Bölümü'nden 2018 yılında mezun oldu. 2019 yılında Kocaeli Üniversitesi Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda yüksek lisans eğitime başladı. Yüksek lisans eğitiminde su altı robotlarında ANFIS kontrolü konusunda çalışmaları bulunmaktadır.

