



İNSANSIZ KARA ARAÇLARI İÇİN BOYLAMSAL VE YANAL KONTROL

Abdullah Nuri SOMUNCUOĞLU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ELEKTRİK – ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

GAZİ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TEMMUZ 2015

Abdullah Nuri SOMUNCUOĞLU tarafından hazırlanan “İNSANSIZ KARA ARAÇLARI İÇİN BOYLAMSAL VE YANAL KONTROL” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi Elektrik – Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Tuğba Selcen NAVRUZ

Elektrik – Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

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

Başkan: Doç. Dr. Özgül SALOR DURNA

Elektrik – Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

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

Üye: Yrd. Doç. Dr. Mustafa ÖZDEN

Devreler ve Sistemler Anabilim Dalı, Kırıkkale Üniversitesi

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

Tez Savunma Tarihi: 14/07/2015

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

.....
Prof. Dr. Şeref SAĞIROĞLU
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.

(İmza)

Abdullah Nuri SOMUNCUOĞLU

14 Temmuz 2015

İNSANSIZ KARA ARAÇLARI İÇİN BOYLAMSAL VE YANAL KONTROL
(Yüksek Lisans Tezi)

Abdullah Nuri SOMUNCUOĞLU

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Temmuz 2015

ÖZET

Bu çalışma, bir akülü araba kullanarak insansız kara aracı (İKA) için otonom kontrol sistemi geliştirmeyi amaçlamış olup aracın boylamsal ve yanal kontrolüne bulanık mantık ile odaklanmıştır. Bulanık mantık kuralları bir insan sürücünün sürüş hareketlerinin modellenmesinden türetilmiştir. Deneyler algılama aygıtları ve mikro denetleyici ile donatılmış akülü araba ile yapılmıştır. Araç, direksiyon yönlendiricisi ve hızlandırıcısına otomatik tahrik ediciler yerleştirilmiş, sıradan bir akülü arabadır. Bu tahrik ediciler bulanık mantık tabanlı kontrol sistemi tarafından kumanda edilmektedir. Kontrol sisteminin giriş bilgileri ultrasonik mesafe sensörlerinden, devir ölçerden ve direksiyona bağlı potansiyometreden gelmektedir. Elektrik motorların hızları PWM (Pulse Width Modulation – Darbe Genişlik Modülasyonu) sinyalleri ile kontrol edilmektedir. Direksiyon yönlendiricinin istenilen konuma getirilmesi direksiyon miline uygun dişli oranı ile sabitlenmiş servo motor ile yapılmaktadır. Çevre bilgisi ultrasonik sensörlerden, hız bilgisi sağ arka tekere sabitlenmiş kodlayıcıdan türetilmektedir. Boylamsal ve yanal hareketler mikro denetleyici tarafından kontrol edilen tahrik ediciler tarafından yönetilmektedir. Aracın düz ve dairesel pistlerde uygun hızlarda otonom olarak yol aldığının gösterilmesi amacıyla açık saha testleri gerçekleştirilmiştir. Testlerde aracın düz pistte önce hızlanarak yol aldığı, bir engelle karşılaştığında yavaşladığı, engel yaklaşırsa çarpmadan durduğu görülmüştür. Dairesel pistte aracın pistin sağ tarafına belirli bir mesafede kalarak yol aldığı gözlenmiştir. Testlerde sistemden bilgisayara aktarılan ön ve sağ sensör mesafe ölçüm bilgileri, kodlayıcıdan gelen hız bilgisi, potansiyometreden gelen direksiyon yönlendirme açısı bilgisi ve sistemin ürettiği boylamsal ve yanal kontrol için PWM sinyalleri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Boylamsal kontrolü sağlayan PWM sinyalinin ön sensörden gelen mesafe bilgisi ve kodlayıcıdan gelen hız bilgisi ile uyumlu olduğu; yanal kontrolü sağlayan PWM sinyalinin ise sağ sensörden gelen mesafe bilgisi ve potansiyometreden gelen açı bilgisi ile uyumlu olduğu sonucuna varılmıştır. Sonuç olarak kontrol sistemi aracın değişik hızları için test edilmiş ve birçok deneme sonucu başarılı sonuçlar elde edilmiştir.

Bilim Kodu : 905.1.035

Anahtar Kelimeler : İnsansız Kara Aracı (İKA), Otonom Araç, Bulanık Mantık, Akıllı Ulaşım Sistemleri, Boylamsal ve Yanal Kontrol

Sayfa Adedi : 99

Danışman : Yrd. Doç. Dr. Tuğba Selcen NAVRUZ

LONGITUDINAL and LATERAL CONTROL for UNMANNED GROUND VEHICLES

(M. Sc. Thesis)

Abdullah Nuri SOMUNCUOĞLU

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

July 2015

ABSTRACT

This research aims to develop an autonomous control system of an unmanned ground vehicle by using a battery-powered car and focuses on longitudinal and lateral control of the car with fuzzy logic. Fuzzy control rules are derived by modelling a man's driving actions. Experiments are performed using the battery-powered car equipped with sensing devices and a microcontroller. The vehicle is a common battery-powered car, provided with automatic actuators operating on the car controls: steering & accelerator. These actuators are commanded by a fuzzy logic based control system. The input information of the control system comes from ultrasonic distance sensors, tachometer and the pot connected to the steering wheel. The speeds of electric motors are controlled by PWM signals. The desired position of the steering wheel is achieved by a servo motor mounted to the steering shaft with appropriate rate gears. The environment information is taken by ultrasonic sensors, and the velocity information is derived from encoder located on right rear wheel. Longitudinal and lateral motions are run by actuators controlled by a microcontroller. In order to show the vehicle's ability to go through the straight and circular tracks, outdoor tests have been performed. During the tests, the vehicle's ability to accelerate in the straight track, and to slow down when any obstacle was sensed and finally to stop when the obstacle came close to it, is clearly established. In the circular track the vehicle managed to keep the track with a certain distance to the right side of the track. The distance, velocity, and the steering angular position data coming from sensors, encoder, potentiometer, and, PWM signals generated by the system for longitudinal and lateral control, are comparatively investigated in the series of tests. It is found that, the PWM signal which provides longitudinal control and distance data that is coming from front sensor and the PWM signal which provides lateral control, and distance information coming from right sensor and angular position data that is coming from potentiometer are both compatible. As a result, the control architecture was tested at different vehicle speeds. Successful results were obtained after many experiments.

Science Code : 905.1.035

Key Words : Unmanned Ground Vehicle (UGV), Autonomous Vehicle, Fuzzy Logic, Intelligent Transportation Systems (ITSs), Longitudinal and Lateral Control

Page Number : 99

Supervisor : Assist. Prof. Dr. Tuğba Selcen NAVRUZ

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca beni destekleyen değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Tuğba Selcen NAVRUZ'a, Türkcan KURT'a, Fatma Özge ÖZDEMİR'e ve aileme teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	x
RESİMLERİN LİSTESİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xvi
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	7
3. BİR İNSANSIZ KARA ARACI GELİŞTİRME	17
3.1. Gövde Tasarımı	18
3.2. Boylamsal Kontrol Donanımı	20
3.2.1. Hızlandırıcı ve frenleme	20
3.2.2. Hız Ölçümü	22
3.3. Yanal Kontrol Donanımı.....	26
3.3.1. Direksiyon yönlendirme	26
3.3.2. Direksiyon konum bilgisi ölçümü	29
3.4. Çevre Algılama Donanımı	31
3.5. Mikrodenetleyici.....	35
3.6. Güç Kaynağı	39
3.7. Yazılım	40
3.7.1. CCC C Compiler	41

	Sayfa
3.7.2. Proteus devre benzetim programı	44
3.7.3. Programlayıcı ve Usburn.....	45
3.7.4. Microsoft Excel ile grafiklerin oluşturulması	47
3.7.5. Eclipse Java ile kod optimizasyonu	47
3.7.6. MATLAB ile kontrol yönteminin geliştirilmesi.....	48
3.8. PID Denetleyici	48
3.8.1. MATLAB ile katsayıların hesaplanması	51
3.9. Bulanık Mantık	58
3.9.1. Bulanık mantık nedir	58
3.9.2. Bulanık mantık neden kullanılmalıdır?.....	60
3.9.3. Bulanık mantık nasıl kullanılır?	62
3.9.4. Bu çalışmada bulanık mantık	67
3.10. Verilerin Anlık Olarak Bilgisayara Aktarılması.....	73
4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	77
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	91
KAYNAKLAR	93
ÖZGEÇMİŞ	98

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. K_p , K_i ve K_d katsayılarının çıkış sinyaline etkileri	50
Çizelge 3.2. Hız için belirlenmiş etiket – karşılık gelen hız aralığı çizelgesi	69
Çizelge 3.3. Ön sensör için belirlenmiş etiket, karşılık gelen mesafe aralığı çizelgesi ..	69
Çizelge 3.4. Sağ sensör için belirlenmiş etiket, karşılık gelen mesafe aralığı çizelgesi .	70
Çizelge 3.5. Servo motor açısı için belirlenmiş etiket – karşılık gelen açı çizelgesi	71
Çizelge 4.1. Düz pistte araçtan alınan örnek veriler	84
Çizelge 4.2. Dairesel pistte araçtan alınan örnek veriler.....	87

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. DGPS'nin çalışma prensibi.....	11
Şekil 2.2. Temel jiroskop düzeneği.....	11
Şekil 2.3. İvmeölçerin iç yapısı.....	12
Şekil 2.4. Google sürücüsüz aracının LIDAR çıktısı.....	13
Şekil 3.1. Geliştirilen otonom aracın basitleştirilmiş blok diyagramı	17
Şekil 3.2. Değişen görev zamanlarında PWM sinyallerinin durumu.....	20
Şekil 3.3. Kodlayıcı için hazırlanmış çizgi tasarımı	22
Şekil 3.4. CNY70 renk algılayıcı	22
Şekil 3.5. CNY70 elektronik devre şeması	23
Şekil 3.6. Reed Anahtarın çalışma prensibi	24
Şekil 3.7. Ackermann yönlendirme sistemi ile donanmış bir aracın dönüş açısı	26
Şekil 3.8. MG996R servo motorun ölçüleri.....	28
Şekil 3.9. MG996R servo motorun kablo bağlantıları	28
Şekil 3.10. MG996R servo motorun PWM sinyal özellikleri.....	29
Şekil 3.11. POT çıkış voltajı – direksiyon yönlendirme derecesi grafiği	30
Şekil 3.12. Ultrasonik sensörün çalışma prensibi	31
Şekil 3.13. HC-SR04 ultrasonik sensörün ölçüleri (solda) ve ölçüm açısı (sağda)	32
Şekil 3.14. HC-SR04 ultrasonik sensörün bağlantı şeması.....	33
Şekil 3.15. HC-SR04 ultrasonik sensörün gönderdiği ve topladığı sinyaller	33
Şekil 3.16. PIC18F452 bacak bağlantıları	36
Şekil 3.17. PIC18F452'nin blok diyagramı	38
Şekil 3.18. Projenin Proteus'ta hazırlanmış elektronik devre çizimi.....	45
Şekil 3.19. PID kontrol ile DC motorun hız kontrolü blok diyagramı	48

Şekil	Sayfa
Şekil 3.20. PID'nin yapısı.....	49
Şekil 3.21. Standart bir DC motorun içyapısı.....	51
Şekil 3.22. MATLAB ortamında DC motorun standart çıkış grafiği.....	53
Şekil 3.23. MATLAB ortamında DC motorun $K_p=50$ $K_i=80$ $K_d=10$ olduğunda çıkışı.....	54
Şekil 3.24. Bir servo motorun içyapısı.....	54
Şekil 3.25. MATLAB ortamında DC servo motorun standart çıkışı.....	57
Şekil 3.26. MATLAB'da DC servonun $K_p=120$ $K_i=150$ $K_d=10$ olduğunda çıkışı.....	58
Şekil 3.27. Aristo mantığı ve bulanık mantığın farkı.....	59
Şekil 3.28. Klasik mantık uygulandığında sıcak – soğuk grafiği.....	60
Şekil 3.29. Bulanık mantık uygulandığında sıcak – soğuk grafiği.....	61
Şekil 3.30. Gerçek dünyada “kesinlik” ve “önem” farkı.....	60
Şekil 3.31. Giriş ve çıkış bilgilerinden bir bulanık sistemin tasarımı.....	62
Şekil 3.32. Bulanık mantık uygulama adımları.....	63
Şekil 3.33. Bulanık mantık uygulama blok diyagramı.....	63
Şekil 3.34. Bir giriş değerinin üyelik derecelerinin gösterimi.....	64
Şekil 3.35. Netleştirme için kullanılacak alan grafiği.....	65
Şekil 3.36. Bulanık mantık uygulama adımlarını anlatan akış diyagramı.....	66
Şekil 3.37. Boylamsal denetleyici blok diyagramı.....	68
Şekil 3.38. Boylamsal denetim temsili uygulama görünümü.....	68
Şekil 3.39. Yanal denetleyici blok diyagramı.....	68
Şekil 3.40. Hız için belirlenmiş üyelik fonksiyonu.....	69
Şekil 3.41. Ön sensör için belirlenmiş üyelik fonksiyonu.....	70
Şekil 3.42. Sağ sensör için belirlenmiş üyelik fonksiyonu.....	70
Şekil 3.43. Servo motor için belirlenmiş üyelik fonksiyonu.....	71

Şekil	Sayfa
Şekil 3.44. Üyelik fonksiyonları ile kuralların uygulanması gösterimi	72
Şekil 3.45. RF alıcı devresinin elektronik çizimi.....	73
Şekil 4.1. Uygulama yapılan pistler	81
Şekil 4.2. Aracın otonom sürüş algoritması.....	83
Şekil 4.3. Düz pistte ön sensör ve DC motor PWM değerlerinin karşılaştırılması	85
Şekil 4.4. Düz pist testinde ön sensör ve kodlayıcı değerlerinin karşılaştırılması.....	86
Şekil 4.5. Düz pistte sağ sensör, POT ve servo PWM değerlerinin karşılaştırılması	87
Şekil 4.6. Dairesel pistte ön sensör ve DC motor PWM değerlerinin karşılaştırılması..	88
Şekil 4.7. Dairesel pist testinde ön sensör ve kodlayıcı değerlerinin karşılaştırılması ...	89
Şekil 4.8. Dairesel pist testinde sağ sensör, POT ve servo PWM değerlerinin karşılaştırılması	90

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 1.1. Google Sürücüsüz Aracı	2
Resim 1.2. Otonom Freightliner kamyon	3
Resim 2.1. Ensco takımının aracı (solda), Spirit of Las Vegas takımının aracı (sağda)	10
Resim 2.2. Overbot takımının aracı (solda), Cajunbot takımının aracı (sağda).....	10
Resim 2.3. Dönen tipte LIDAR	11
Resim 2.4. Stereo Kamera	14
Resim 2.5. Antony Best Dynamics'in geliştirdiği direksiyon kontrol sistemi.....	15
Resim 2.6. Antony Best Dynamics'in geliştirdiği gaz ve fren pedalları kontrol sistemi ...	15
Resim 2.7. Antony Best Dynamics'in geliştirdiği direksiyon, gaz, fren ve vites değiştirme sistemleri	16
Resim 3.1. İnsansız kara aracı geliştirilmek üzere seçilen akülü araba	18
Resim 3.2. Geliştirilmiş insansız kara aracının gövde görünümü	19
Resim 3.3. BTS7960B motor sürücüsü.....	21
Resim 3.4. Aracın altından motorlarının görünümü	21
Resim 3.5. Reed anahtar	23
Resim 3.6. Reed anahtarlı bütünleşik devre	24
Resim 3.7. 32768 Hz'lik harici osilatör.....	25
Resim 3.8. Aracın sağ tekeri üzerine inşa edilmiş hız ölçümünü sağlayan kodlayıcı	25
Resim 3.9. Servo motor ve kayış kasnak ile kurulmuş direksiyon yönlendirme sistemi....	27
Resim 3.10. MG996R servo motor	27
Resim 3.11. Potansiyometre	29
Resim 3.12. Direksiyon yönlendirici sisteme yerleştirilmiş potansiyometre.....	30
Resim 3.13. HC-SR04 ultrasonik sensör.....	32
Resim 3.14. Ön sensör (üstte), sağ sensör (solda), sol sensör (sağda).....	34

Resim	Sayfa
Resim 3.15. PIC18F452.....	35
Resim 3.16. PIC18F452'nin devrede kullanımı	37
Resim 3.17. 12 V – 12 Ah Pilsan akü	39
Resim 3.18. LM2596 regülatör devresi.....	40
Resim 3.19. Akü (solda) ve güç dağıtım devresi (sağda).....	40
Resim 3.20. CCS yazılımı	41
Resim 3.21. CCS C yazılımında mikrodenetleyici ayarlamalarının yapılması.....	42
Resim 3.22. CCS C yazılımının örnek kodlar ekranı.....	43
Resim 3.23. CCS C yazılımında örnek LED uygulaması seçimi	43
Resim 3.24. CCS C yazılımında örnek LED uygulaması kodları	44
Resim 3.25. Programlayıcı donanımı	46
Resim 3.26. Usburn programlayıcı yazılımı.....	46
Resim 3.27. Eclipse Java	47
Resim 3.28. ARX-34 alıcı (solda) ve ATX-34 verici entegre devresi (sağda)	74
Resim 3.29. HyperTerminal programının ekran görüntüsü	75
Resim 3.30. Verici devresinin uygulamadaki görünümü.....	75
Resim 3.31. Alıcı devresinin uygulamadaki görünümü.....	76
Resim 4.1. Geliştirme sırasında hızlanma, frenleme ve hız bilgisi ölçümü testi.....	77
Resim 4.2. Geliştirme sırasında direksiyon yönlendirme ve konum bilgisi ölçümü testi ..	78
Resim 4.3. Geliştirme sırasında çevre algılama donanımı testi.....	79
Resim 4.4. Tamamlanmış aracın kapalı ortam testi	79
Resim 4.5. Orta Doğu Teknik Üniversitesi kampüsü içinde testlerin yapıldığı pist	80
Resim 4.6. Düz pist test alanı.....	81
Resim 4.7. Dairesel pist test alanı	82

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	Açıklamalar
Ω	Ohm
μs	Mikrosaniye
A	Amper
Ah	Amper Saat
cm	Santimetre
g	Gram
m	Metre
mA	Miliamper
mm	Milimetre
ms	Milisaniye
db	Desibel
Hz	Hertz
k Ω	Kiloohm
kg	Kilogram
kHz	Kilohertz
m ²	Metrekare
MHz	Megahertz
V	Volt

Kısaltmalar**Açıklamalar**

ABD	Amerika Birleşik Devletleri
ABS	Anti-lock Braking System
ADC	Analogue to Digital Converter
ATV	All Terrain Vehicle
CCP	Capture/Compare/PWM
CCS	Custom Computer Services
CEO	Chief Executive Officer
DA	Doğru Akım
DARPA	Defense Advanced Research Projects Agency
DC	Direct Current
DGPS	Differential Global Positioning System
EEPROM	Electronically Erasable Programmable Read-Only Memory
EPROM	Erasable Programmable Read Only Memory
GPS	Global Positioning System
HEX	Hexadecimal
ITS	Intelligent Transportation System
İKA	İnsansız Kara Aracı
KB	Kilobyte
LED	Light Emitting Diode
LIDAR	Laser Imaging Detection and Ranging
PIC	Peripheral Interface Controller
PID	Proportional Integral Derivative
PWM	Pulse Width Modulation
RAM	Random Access Memory
RF	Radio Frequency
RISC	Reduced Instruction Set Computing
ROM	Read-Only Memory
UGV	Unmanned Ground Vehicle

1. GİRİŞ

Robotbilim teknolojisi güvenlik, arama kurtarma, yerküre ve uzay araştırmaları, üretim, sağlık, eğlence gibi pek çok alanda uygulamaları olan ve giderek büyüyen bir alandır. Robotbilimin tarihi 70’li yılların başlarında fabrikalarda robot benzeri araçların üretim ve montaj hatlarında kullanılmasıyla başlar. İlerleyen zamanlarda robotbilim uygulamalarına olan ihtiyaç artmaya başlamıştır. İnsanlar gündelik hayatlarına zor veya zaman alıcı işleri için robot benzeri öğeleri dâhil etmişlerdir. Bunun sonucu olarak da taşınabilir robotlar ortaya çıkmaya başlamıştır. 90’lı yılların başından günümüze gelirken robotbilim uygulamaları önceden belirlenmiş yollarından ve yapılandırılmış ortamlarından çıkarak dinamik ortamlara doğru yol almışlardır. Bu yeni ortamların getirdiği temel farklılık aynı ortamı paylaştıkları ve hareketi tahmin edilemez nesneler olmuştur. Bu durum robotbilimini kontrol mühendisliği, makine mühendisliği, bilgisayar mühendisliği gibi alanların yanı sıra bilişsel bilimler, sosyoloji ve insan psikolojisi gibi alanlarla da ortak çalışır hale getirmiştir.

Bu tezin konusu olan otonom araçlar, şüphesiz robotbilimin insan hayatında yapacağı en köklü değişikliklerden biri olacaktır. 19. yüzyıldan bugüne kadar insanoğlu yaptığı makineleri kendisi kullanagelmıştır. Ancak bilimin bugün geldiği noktada araçları insan yerine bilgisayarların kullanmasının çok daha güvenli olduğu düşünülmektedir. Bu konuda Google CEO’su Eric Schmidt katıldığı bir konferansta, *“Bilgisayarların insanların iyi yapamadıkları işleri yapmaları kaçınılmaz. Kazalara rağmen arabaları hala bilgisayarların değil insanların sürüyor olması gülünç”* şeklinde görüşünü belirtmiştir [1].

Otonom araçlar konusunda son zamanlarda yapılan çalışmaların en başında Google’ın geliştirdiği sürücüsüz araç gelmektedir. Projenin başlatıldığı 2008 yılından bugüne kadar testlerde değişik marka araçlar ile toplam 1 130 000 kilometre yol alınmış durumdadır. Testler sırasında yalnızca iki adet kaza yaşanmış olup bu kazalarda suç otonom arabaya yüklenememiştir. Bu kazalardan ilki bir insan sürücünün otonom arabaya arkadan çarpması ile yaşanmış olup ikinci kaza otonom araba bir insan sürücü tarafından kullanılırken meydana gelmiştir [2]. Google sürücüsüz araçlarının en önemli özelliği Resim 1.1’de örneği görüldüğü gibi var olan arabaların üzerine bu sistemin eklenmesidir.

Bu bize hâlihazırda yolcuları korumak üzere geliştirilmiş bütün sistemlerin kullanılabilmesini sağlamaktadır.



Resim 1.1. Google Sürücüsüz Aracı [3]

Projeyi oldukça önemseyen Google, ABD Savunma Bakanlığı İleri Araştırma Projeleri Ajansı'nda (DARPA) daha önce insansız araçlar üzerinde çalışan mühendisleri bünyesine katmış durumdadır. Google'ın resmi sitesinde sürücüsüz araçlar direktörü Chris Urmson'un yaptığı açıklamada her yıl dünyada 1 200 000 insanın trafikle ilişkili kazalarda hayatını kaybettiği ve bu kazaların %90'ından fazlasının insan hatasından dolayı gerçekleştiği bilgisi verilmektedir [4]. Projenin amacının bu ölümleri azaltmak ve karbon salınımında ciddi bir düşüş sağlamak olduğu duyurulmaktadır.

Büyük boyutlu araçlardan bir örnek olarak Resim 1.2'de görülmekte olan Daimler firmasına ait Freightliner isimli kamyonlar üzerinde yapılan geliştirmeler ile bir otonom prototip üretilmiş ve 16 000 km boyunca test edilmiştir. Alınan yolun %75'ini kamyonun sürücüden bağımsız olarak tamamen kendi kendine aldığını belirten yetkililer geliştirdikleri teknoloji sayesinde kamyonların yaptığı %90 oranındaki sürücü hatası kaynaklı kazanın önlenebileceğini ortaya koymuşlardır [5].



Resim 1.2. Otonom Freightliner kamyon [5]

Bir taraftan sürücüsüz araçların karayollarına çıkması için 2020 gibi muhtemel tarihler verilirken diğer taraftan da konu etik tartışmalara konu olmaktadır. Sürücüsüz araç duramayacağını anladığı zaman ve ancak çarpabileceği iki canlı hedef belirlediğinde hangisini tercih edeceği konusu henüz karar verilmeyen sorular arasındadır.

Türkiye tarafından istatistiklere bakıldığında, Karayolları Genel Müdürlüğü'ne bağlı Trafik Güvenliği Dairesi Başkanlığı tarafından Temmuz 2014'te yayımlanan "Trafik Kazaları Özeti 2013" raporundaki bilgiler yalnızca 2013 yılında 1 207 354 trafik kazası olduğunu göstermektedir [6]. Bu kazalarda toplam 3 685 kişi hayatını kaybederken 274 829 kişi ise kazadan yaralı olarak kurtulmaktadır. Yaşanan bu kazalardaki kusur oranları tablosu incelendiğinde ise %98,3 oranında kusurun insan tarafında olduğu görülürken %0,92 oranında araçta ve %0,77 oranında yolda olduğu görülmektedir.

Bu kadar ölümcül kazalar olmasına rağmen bugüne kadar yeterli sistemin geliştirilememesinin temel sebeplerinden bir tanesi henüz makinelerin doğrusal olmayan sistemlerde insan sürücüler kadar başarılı olamamalarıydı. Ancak son 20 yılda uygulama alanı oldukça genişleyen bulanık mantık, tasarımcılara esnek bir şekilde tanımlanmış

parametrelerden oldukça açık kararlar verme imkânı sağlıyor. Geleneksel mantıksal denetleyicilerin daha önce karşılaşılmamış, hesaba katılmamış bozuklukları düzeltme kabiliyeti bir insan sürücününki kadar iyi değildir. Bu nedenle insan sürücünün çevresel şartlardaki doğrusal olmayan değişimleri hissetmesi ve onlara uyum sağlayabilmesi gibi yetenekleri üstün taraflarındandır. Bulanık mantık geleneksel mantık denetleyicilerine kıyasla insana daha yakındır. Alcı ve Karatepe bu konuyu “Bulanık mantık belirsiz bir dünyanın gri, sağduyulu resimlerini üretmeleri için bilgisayarlara yardımcı olan makine zekâsı biçimidir” şeklinde özetlemişlerdir [7].

Deneyimler bulanık mantık kullanılarak elde edilen sonuçların, klasik yöntemlere oranla daha iyi olduğunu göstermiştir. Karmaşık sistemlerde, bilgilerin belirsiz veya kesin olmadığı durumlarda bulanık mantık uygulamaları başarılı olmaktadır [8].

Her yıl otomobil üreticileri sürücülerini kazalardan korumak amacıyla üretilen teknolojilere milyonlarca lira harcama yapmaktadırlar. Bu gerçek zamanlı çalışan gömülü sistem teknolojileri endüstride “sürüş destek asistanları” şeklinde adlandırılmaktadırlar.

Sürüş destek asistanları bir taraftan gelişirken bu altyapıyı kullanarak bir adım daha öteye geçen otonom araçlar bizlere karayollarında oldukça güvenli bir gelecek sunacak gibi görünmektedirler.

Bu tez çalışmasında bir akülü araba kullanarak insansız kara aracı için otonom kontrol sistemi geliştirilmiştir. Aracın boylamsal ve yanal kontrolüne bulanık mantık ile odaklanılmıştır. Bulanık mantık kuralları bir insan sürücünün sürüş hareketlerinin modellenmesinden türetilmiştir. Deneyler algılama aygıtları ve mikro denetleyici ile donatılmış akülü araba ile yapılmıştır. Kontrol sisteminin giriş bilgileri ultrasonik mesafe sensörlerinden, devir ölçerden ve direksiyona bağlı potansiyometreden gelmektedir. Elektrik motorların hızları PWM sinyalleri ile kontrol edilmektedir. Direksiyon yönlendiricinin istenilen konuma getirilmesi direksiyon miline uygun dişli oranı ile sabitlenmiş servo motor ile yapılmaktadır. Çevre bilgisi ultrasonik sensörlerden, hız bilgisi sağ arka tekere sabitlenmiş kodlayıcıdan türetilmektedir. Boylamsal ve yanal hareketler mikrodnetleyici tarafından kontrol edilen tahrik ediciler tarafından yönetilmektedir. Kontrol sistemi aracın değişik hızları için test edilmiş ve birçok denemede başarılı sonuçlar elde edilmiştir.

Tezin ikinci bölümünde yapılan geniş literatür araştırması ile bu alanda geliştirilen teknolojilerin tarihsel arka planlarından bahsedilmiş, benzer projelerin geliştirilmesi sürecinde izlenen yollar anlatılmış, projelerde karşılaşılan problemlere getirilen çözümler incelenmiştir.

Üçüncü bölümde insansız kara aracı geliştirme süreci; gövde tasarımı, boylamsal ve yanal kontrol donanımları, çevre algılama donanımları, mikrodenetleyici ve güç katmanları, kullanılan yazılımlar ve bulanık mantığa dayalı kontrol sistemlerinin geliştirilmesi ayrıntılı olarak anlatılmıştır.

Dördüncü bölümde geliştirilmiş olan araç ile yapılan deneysel çalışmalara yer verilmiş, alınan sonuçlar çizelgeler ve grafikler ile ortaya konulmuştur.

Beşinci ve son bölümde çalışmanın sonuçları verilmiş ve ileriki çalışmalarda yapılmasının doğru olacağı düşünülen konularda öneriler getirilmiştir.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Bu bölümde insansız kara araçları geliştirilmesi sürecinde daha önce yapılmış araştırma ve uygulamalar sunulmuştur. Tam otonom sistemlerin geliştirilmesine doğru yaklaşırken birçok sürüş destek sistemi hâlihazırda geliştirilmiş ve çoktan pazardaki arabalarda kullanılır olmuştur. Aynı ayrı geliştirilen bu sistemlerin birleştirilmesi ile tam otonom sistemlere oldukça pürüzsüz bir geçiş olacaktır.

Literatürde otonomi düzeyini tanımlayan çeşitli çalışmalar vardır. Ancak bunlar arasından en yaygın olanı Thomas B. Sheridan tarafından ortaya konulandır [9]. Bu ölçeğe göre 1'den 10'a doğru otonomi düzeyinin artması şeklinde giden sıralama aşağıda verilmiştir.

1. Bilgisayar yardımcı olmaz; görevin tamamını insan yapar.
2. Bilgisayar bütün seçenekleri içeren bir hareket seçenekleri seti sunar.
3. Bilgisayar seçenekleri birkaç taneye kadar düşürür.
4. Bilgisayar tek bir hareket önerir.
5. Bilgisayar eğer insan onaylar ise hareketi icra eder.
6. Bilgisayar otomatik icradan önce insana kısıtlı bir zaman için ret hakkı tanır.
7. Bilgisayar otomatik olarak görevi icra eder ve zorunlu olarak insanı bilgilendirir.
8. Bilgisayar insanı otomatik icradan sonra insan isterse bilgilendirir.
9. Bilgisayar insanı otomatik icradan sonra kendi isterse bilgilendirir.
10. Bilgisayar her şeye karar verip icra eder ve insanı önemsemez.

Gelişmiş araç kontrol sistemleri alanında ilk gelişmeler General Motors Araştırma Grubu tarafından 1960'ların başında ortaya çıkarıldı. Bu grup test pistlerinde otomobillerin direksiyon, hız ve frenlerinin otomatik kontrolünü geliştirdi ve örnekledi [10]. Bu araştırma diğer araştırma gruplarını tetikledi. 1960'ların sonlarında, Ohio Devlet Üniversitesi ve Massachusetts Teknoloji Üniversitesi kentsel ulaşım sorunlarına karşı bu tekniklerin uygulanması üzerinde çalışmaya başladı [11].

Akıllı ulaşım sistemlerinin ilk günlerinden bugüne gelecek olursak, laboratuvar ortamında yapılan çalışmaların sonuç bulduğunu satışta olan araçlarda bulunan gelişmiş sürüş destek sistemlerinde görebiliriz. Büyük araç üreticileri sürekli yeni ve gelişmiş sürüş destek

sistemlerini araştırmaktadırlar [12]. Bu sistemlerin amacı sürücülerin yerini almaktan ziyade onlara yardım etmektir. Bu alanda en önemli gelişmeler; seyir kontrolü [13], dinamik denge kontrolü [14], kilitlenme önleyici frenler (ABS) [15], gece görüş sistemleri ile yaya algılama [16], çarpışma kaçınma [17] ve yarı otonom park sistemidir [18]. Bu uygulamalarda çoğunlukla boylamsal kontrol (hızlanma ve frenleme eylemleri) üzerinde durulmuştur.

Direksiyon simidinin hareketi ile ilgili yanal kontrol çalışmalarının öncülerinden biri Ackermann'dır [19]. Ackermann'ın yaklaşımı savrulma ve yanal hareketleri güçlü bir şekilde ayırmak için aktif yönlendirme ile savrulma oranının geri beslemesini birleştirmek olmuştur. Hızlı, sorunsuz ve yüksek kalitede kontrole izin veren teknikler sayesinde direksiyon kontrolü gibi doğrusal olmayan dinamik sistemleri kontrol etmek mümkündür. Aracın referans yörüngeyi takip etmesini sürdürmesi için; bulanık mantık [20], doğrusal matris eşitsizlikleri optimizasyonu [21] ve savrulma oranı kontrolü [22] içeren teknikler kullanılmaktadır.

Direksiyon sisteminde bir diğer önemli değişiklik, yeni nesil araçlarda, geleneksel hidrolik direksiyon sistemlerinin (HPS) yerini elektrikli direksiyon sistemlerine (EPS) bırakması olmuştur. Bu tür bir sistemin gelişmiş kontrol benzetimleri vardır [23].

Sugeno ve Murakami 1985 yılında dönüm noktası niteliğinde bir yayın yapmıştır. Çalışmalarında herhangi bir endüstriyel sürecin insan işlemi veya insan deneyiminin basit bir modeli ile kontrol edilebilir olduğunu göstermişlerdir [20]. Sorun, doğru kontrol kurallarını bulmaya ve bir sürücü deneyimine dayanarak bunların ince ayarını yapmaya kadar indirgenmiştir. Çeşitli çalışmalar otonom araçlarda bulanık kontrol ve klasik kontrol tekniklerini karşılaştırmıştır ve bulanık denetleyiciler iyi sonuçlar göstermiştir [24].

Bulanık mantık konusunda ilk ciddi adım 1965 yılında Azerbaycanlı bilim adamı Lütü Aliasker Zade tarafından kaleme alınan makalede ortaya konmuştur [25]. Zade bu çalışmasında insan düşüncesinin çok büyük bir kısmının kesin değil bulanık olduğunu belirtmiştir. Bu nedenle ikili mantık ile insan düşünce sistemi ifade edilememektedir. İnsan mantığı sıcak ve soğuk gibi iki ifadenin yanında ılık ve serin gibi ifadeleri de kullanır.

Bulanık mantık fikri ortaya atılmasından sonra batı dünyasında uzunca bir süre kabul

görmemiştir. Fikir, üretilmesinden ancak 9 sene sonra Mamdani tarafından bir buhar makinesinin denetiminin gerçekleştirilmesi ile uygulamada kendine yer bulmuştur [26]. 1990'lı yıllara yaklaşırken bulanık mantık Japonya'da ilgi görmüş ve birçok uygulamada kullanılmaya başlanmıştır. 1987 yılında Hitachi'nin tasarladığı Japon Sendai metrosu bulanık mantık kullanarak metroda daha rahat bir seyahat, daha düzgün bir yavaşlama ve hızlanma sağlamakla birlikte enerji tüketimini de %10 oranında azaltmayı başarmıştır [7]. Bulanık mantık uygulamalarının ürünleri 90'lı yılların başlarında Japonya'da tüketicilere sunulmuştur. Bulaşık ve çamaşır makinelerinde kirlilik derecesine göre yıkama teknolojisi verimli sonuçlar çıkarmıştır [8]. Batı dünyası bu gelişmelere daha fazla kayıtsız kalamamış, 1993 yılında IEEE Transaction Fuzzy Systems dergisini çıkarmaya başlamıştır.

Otonom araçlar geliştirmek üzere yapılan çalışmalarda ATV'ler (All Terrain Vehicle) üzerine geliştirilen modeller mevcuttur. Bu modellerde boylamsal ve yanal kontrolü sağlamak için yapılan çalışmalar neredeyse bütün otonom araç çalışmalarında olduğu gibi aracın sahip olduğu hızlanma ve yönlendirme sistemleri üzerine inşa edilen bir yapı söz konusudur. En baştan yeni bir araç geliştirmektense hâlihazırda var olan bir aracın otonom hale getirilmesi makul görünmektedir. Bunun sebeplerinin başında zaten bütün zorlu şartlarda çalışmak üzere testleri yapılmış araçlarla çalışma fırsatı bulunması gelmektedir. Bir diğer sebep ise yapılan çalışmaların neticesinde ortaya çıkacak olan ürün bütünleştirileceği araçtan bağımsız olacak bu da uygulanabilirliği en yüksek düzeye çıkaracaktır. Bu bağlamda 2004 ve 2005 yıllarında DARPA Grand Challenge için üretilmiş Resim 2.1 ve Resim 2.2'de görülen ATV'ler üzerine inşa edilmiş Ensco [27], Spirit of Las Vegas [28], Overbot [29] ve Cajunbot [30] isimli takımların dört farklı çalışması incelenmiştir. Bu dört ekip de gaz pedalı üzerine bir servo motor kullanarak hızlanmayı kontrol etmişlerdir. Direksiyon yönlendirmesi için ise Cajunbot ve Spirit of Las Vegas ekipleri DC Motor tercih ederlerken Ensco ve Overbot ekipleri servo motor tercih etmişlerdir.

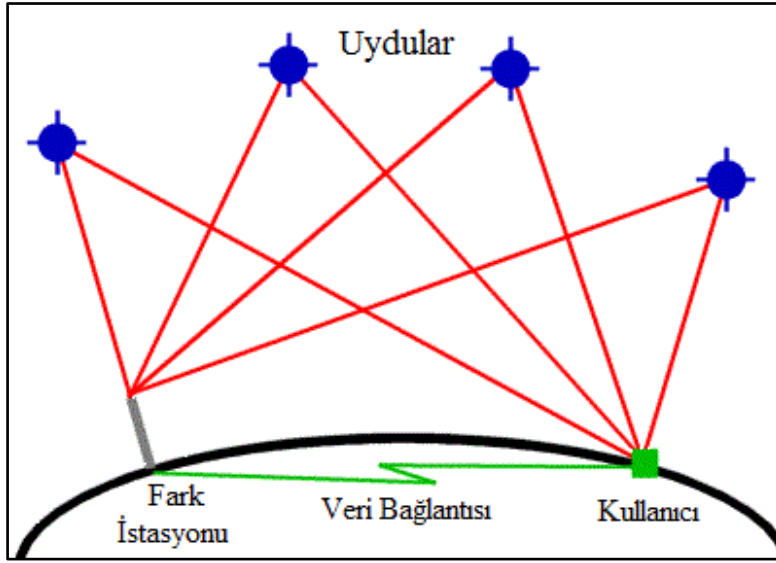


Resim 2.1. Enesco'nun aracı (solda) [27], Spirit of Las Vegas'ın aracı (sağda) [28]



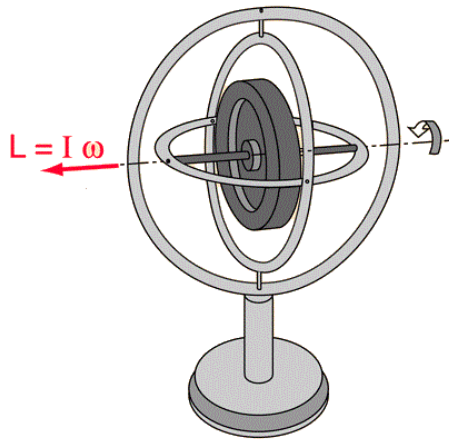
Resim 2.2. Overbot takımının aracı (solda) [29], Cajunbot takımının aracı (sağda) [30]

Araştırmacılar konumlandırma için DGPS (Differential Global Positioning System) kullanılmaktadır. Bu sayede araç normal GPS ile ortalama 15 metre hata ile yer belirleme yerine konumunu ortalama 10 cm hata ile saptayabilmektedirler [31]. DGPS'in çalışma prensibi normal GPS sistemine ek olarak karada konumu belli olan bir antenin referans olarak alınması şeklindedir. Şekil 2.1'de de görüleceği üzere uydular hem yeri belirlenecek kullanıcıyla hem de referans anten ile bağlantı kurduktan sonra referans antene göre fark alınarak kullanıcının yeri çok küçük hatalarla tespit edilmektedir. DGPS açık alan uygulamalarında konumlandırma için henüz bulunabilmiş yegâne çözümdür.



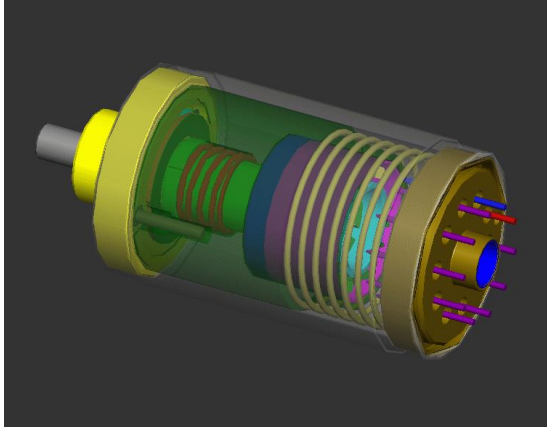
Şekil 2.1. DGPS'nin çalışma prensibi

Aracın hareketini tam olarak belirlemek amacıyla araştırmacılar üç eksenli jiroskop ve ivmeölçer kullanmışlardır. Üç eksenli jiroskop denizcilik ve havacılıkta kilit öneme sahip olan bir aygıt olup artık kara araçlarında da kullanılmaya başlanmıştır. Temel fizik kurallarına göre çalışıp, açısal momentumun korunumu ilkesine dayanır. Bugün artık akıllı telefonlarda da kullanılan jiroskop sayesinde bir nesnenin hangi yönde eğimli olduğu kolaylıkla bulunabilmektedir. Şekil 2.2'de temel jiroskop düzeneği görülmektedir.



Şekil 2.2. Temel jiroskop düzeneği [32]

İvmeölçer, bir kütlenin maruz kaldığı ivmeyi ölçer. Çalışma prensibi içinde bulunan test kütlesine referans eksenindeki kütleden kaynaklı uygulanan kuvvetleri ölçmek şeklindedir. Bu aygıt sayesinde hızlanma, yavaşlama, savrulma gibi kütleye uygulanan kuvvetler ölçülebilmektedir. Şekil 2.3'te bir ivmeölçerin iç yapısı görülmektedir.



Şekil 2.3. İvmeölçerin iç yapısı [33]

Araştırmacılar projelerinde ihtiyaç durumuna göre çok çeşitli güç kaynakları tercih etmişlerdir. Güç, bir insansız araçta bütün dinamikleri belirleyen başlıca bir unsur olduğu için önemli bir konudur. Sisteme güç sağlarken ihtiyaçları karşılaması ilk olarak gözetilse de tercih edilen güç kaynağının araca aşırı bir hacim ve ağırlık bindirmemeleri de gerekir. Bu bağlamda güç sağlayıcı olarak içten yanmalı motorlar, yüksek akımlı piller, jeneratörler, acil durumlar için kesintisiz güç kaynakları kullanılmaktadır. Gerekli durumlarda DC/DC dönüştürücüler ile istenilen gerilimler üretilmektedir.

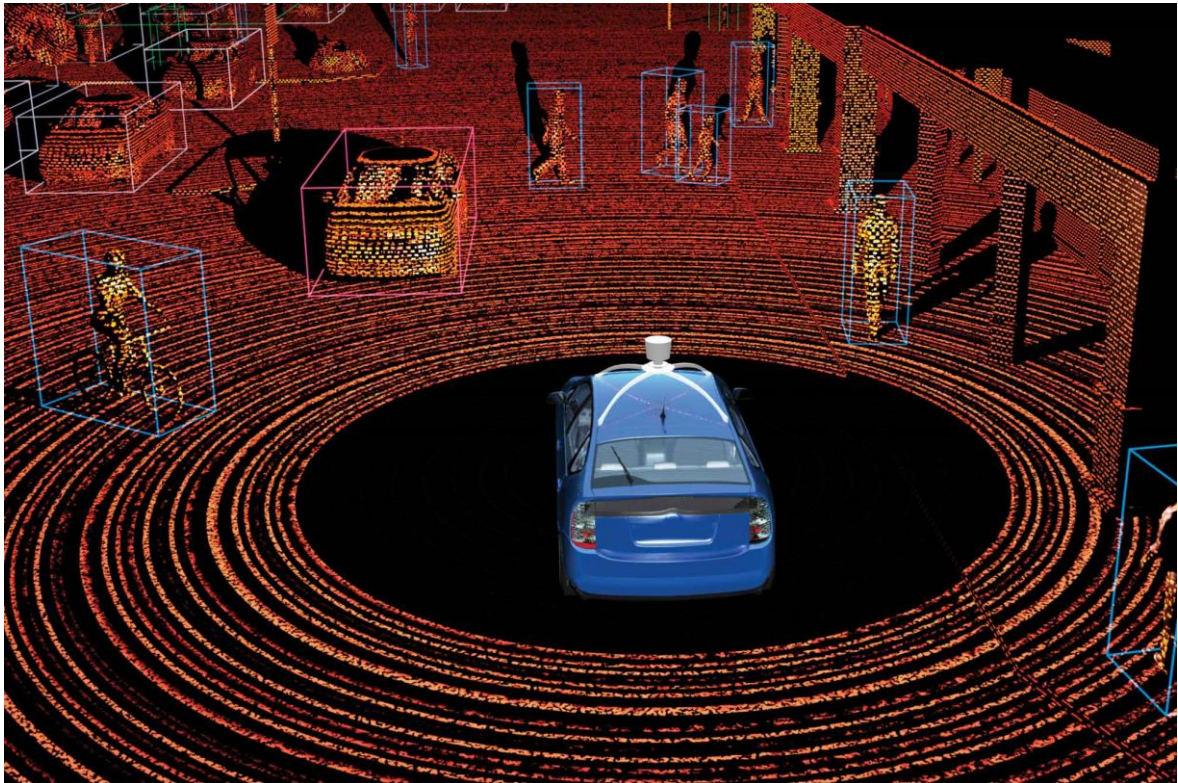
Verilerin işlenmesi ve aygıtların kontrol edilmesi amacıyla kullanılan işlemciler, RAM'lar, sabit diskler projenin ihtiyacına göre çok çeşitli olarak karşılanabilmektedir. Araçlar hareket edeceği için genellikle hareketli parçaların kullanılmamasına dikkat edilmektedir. Bu bağlamda katı durum disklerinin depolama amaçlı kullanıldığı görülmektedir. Verilerin bilgisayara gönderilmesi için projenin ihtiyacına göre kablosuz teknolojiler kullanılmaktadır.

Ortam algılama insansız araçların en önemli ihtiyacıdır. Araçlar algılayıcılardan gelen veriler ışığında bütün hareketlerini gerçekleştirmek durumundadır. İnsansız kara aracı projelerinde en yaygın kullanılan sensörler LIDAR (Laser Illuminated Detection and Ranging), kameralar ve ultrasonik sensörlerdir [34]. Yukarıda bahsedilen çalışmalarda takımların hepsi hem LIDAR hem de kamera kullanmışlardır. LIDAR, genellikle lazerden gönderilen ışınlarla nesneleri yön ve uzaklık olarak saptayıp ölçebilen bir optik uzaklık algılama teknolojisidir. İnsansız kara araçlarında kullanılan LIDAR sistemleri Resim 2.3'te görülen tipte, dönen aynalarla yansıtılan lazer mesafe bulucularına sahiptir.



Resim 2.3. Döner tipte LIDAR [35]

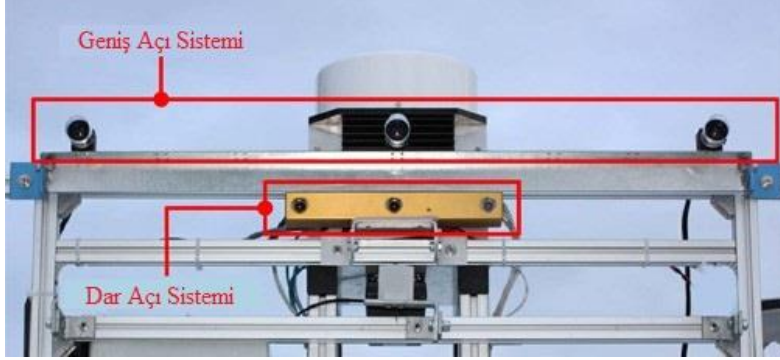
Oldukça yüksek fiyatlı olan bu aygıt araca etrafında bulunan nesneleri tanımlamada oldukça yardımcı olmaktadır. Şekil 2.4'te Google'ın sürücüsüz aracının etraf algılama çıktısı görülmektedir.



Şekil 2.4. Google sürücüsüz aracının LIDAR çıktısı [36]

Çalışmalarda kullanılan kameralar mono ve stereo olmak üzere iki çeşittir. Mono kameralar genellikle aracın etraf bilgisinin gözetlenmesi amacıyla kullanılırken, stereo

kameralar derinlik bilgisinin anlaşılması için kullanılmaktadır. Resim 2.4'te çalışmalarda kullanılan türde üçlü bir stereo kamera görülmektedir.



Resim 2.4. Stereo Kamera [37]

Alınan görüntüler gelişmiş görüntü işleme yöntemleri ile birleştirilmekte, anlamlandırılmakta ve yorumlanmaktadır.

Çalışmalarda büyük bir oranda açık kaynak kodlu yazılımlar kullanılmaktadır. Projeye özgü gerekliliklere göre geliştirilen bu yazılımlar kullanılan donanımların ihtiyaçlarına göre şekillenmektedir.

Literatür bölümünün sonunda 24 Mart 2015 tarihinde İstanbul'da Antony Best Dynamics [38] tarafından düzenlenen bir seminerde tanıtılan, araçlar için geliştirilmiş otonom sürüş sistemlerinin bir başka kullanım alanı hakkında bilgi verilecektir. Şirket, otomobil üreticilerinin araçlarını zorunlu testlerden geçirmek için kullandığı insan sürücülerin dezavantajlarını ortadan kaldırmak üzere otonom sistemler geliştirmiştir. Bu dezavantajların başında sürücünün hayati riski söz konusu olurken diğer açıdan, test yapabilecek kadar uzmanlaşmış insan sürücü sayısının azlığı, insan sürücülerin istenilen giriş değerlerini makineler kadar sağlamakta zorlanması gibi sebepler sürücü olarak makinenin kullanılmasını oldukça avantajlı duruma getirmektedir. Bunların yanında uzun testlerde insan sürücülerin sıkılma eğiliminde olması, zorluk testlerinde insan sürücülerin yeteri kadar aracın mekanik sınırlarını zorlayamaması gibi etkenler de söz konusu olmaktadır. Bu bağlamda direksiyon kontrol sistemi, gaz ve fren pedalları kontrol sistemi, vitesli araçlarda vites değiştiren sistem ve aracın çevre algılaması için kullanılan sistemler geliştirilmiştir. Resim 2.5, 2.6 ve 2.7'de ilgili sistemlerin görüntüleri bulunmaktadır.



Resim 2.5. Antony Best Dynamics'in geliştirdiği direksiyon kontrol sistemi [38]



Resim 2.6. Antony Best Dynamics'in geliştirdiği gaz ve fren pedalları kontrol sistemi [38]



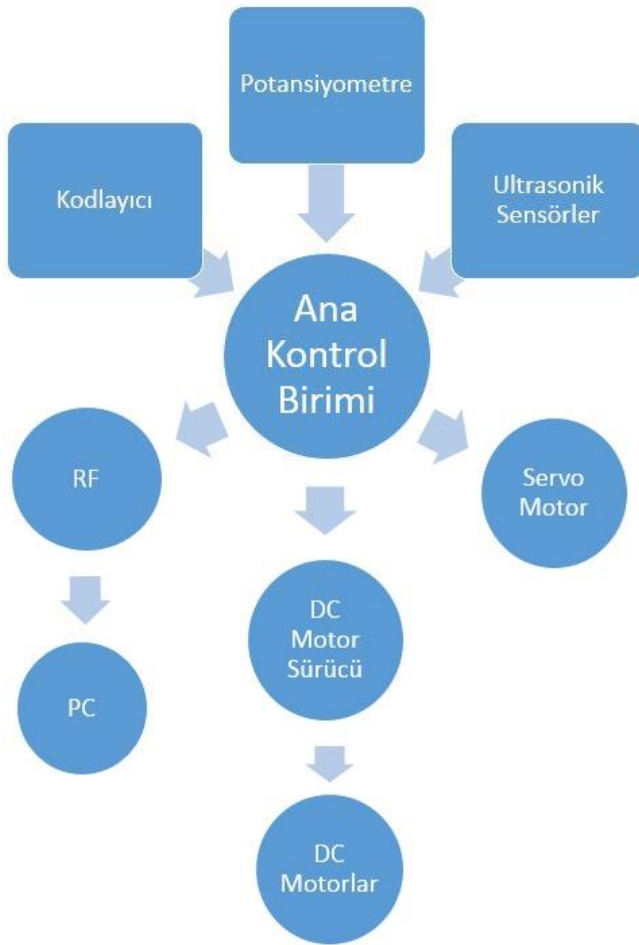
Resim 2.7. AB Dynamics direksiyon, gaz, fren ve vites değiştirme sistemleri [38]

Sunum sonrasında sistemin farklı araçların dinamiklerini nasıl öğrendiği sorusuna karşılık şirketin Yönlendirme ve Süspansiyon Sistemleri Müdürü Dr. Steve Neads farklı araçlara sistemin montesinin ardından öncelikle araca rastgele girişler verildiğini, ardından alınan çıkış değerleri karşısında aracın dinamiklerinin netleştirilerek daha sonraki testlerin bu değerlere göre yapıldığını belirtmiştir.

3. BİR İNSANSIZ KARA ARACI GELİŞTİRME

İnsansız kara araçları insanlar açısından tehlikeli olan yerlerde ve pek çok uygulama alanında, giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Bunlar askeri alanlar ve arama kurtarma araçlarından başlayıp karayollarında kullanılmak üzere tasarlanan otonom araçlara kadar genişletilebilir. Pek çok araştırma şirketinde, araç üreticilerinde ve dünyanın çeşitli üniversitelerinde bu konuda hâlihazırda süren araştırma projeleri mevcuttur. Araştırmaların gidişatı açısından benzetim ortamlarının yanında gerçek deney platformları da vazgeçilmez öneme sahiptir.

Bu bölümün konusu bir insansız kara aracının geliştirilmesidir. Geliştirme kısımlar halinde gerçekleştirilmiş olup bunlar ayrı ayrı başlıklarda incelenecektir. Şekil 3.1’de geliştirilen aracın donanımına ait basitleştirilmiş blok diyagramı görülmektedir.



Şekil 3.1. Geliştirilen otonom aracın basitleştirilmiş blok diyagramı

3.1. Gövde Tasarımı

Literatürde araştırma projeleri için çeşitli araçların kullanıldığı görülmektedir. Bunlar oyuncak araba, ATV ve gerçek bir otomobil olabilmektedir. Kullanılan aracın direksiyon, fren, gaz, vites değiştirme mekanizmalarının uyarlanması ile otonom araştırma ve geliştirme platformlarına dönüştürüldüğü görülmektedir. Bunlara ek olarak bilgisayar, güç kaynakları, iletişim ve algı sistemleri araca eklenmektedir.

Bu tezde üzerinde çalışılmak üzere seçilen araç bir akülü arabadır. Bu aracın seçilmesinin temel sebepleri direksiyon kontrolünün gerçek bir aratakine benzer olması, hızlanma ve yavaşlama kontrollerinin doğrudan motorlar üzerinden gerçekleştirilebilecek olması ve gerçek bir otomobile yakın sistemler arasında en uygun fiyatlı olan olmasıdır. Resim 3.1’de görülen akülü araç insansız kara aracı geliştirmek üzere seçilmiştir. Aracın standart özellikleri aşağıdaki gibidir.



Resim 3.1. İnsansız kara aracı geliştirilmek üzere seçilen akülü araba [39]

Pilsan Snappy akülü arabanın özellikleri:

Yük Kapasitesi: 50 Kg

En Fazla Hız: 7 Km/h

Akü: 12 V – 12 Ah

Motor: 2 x 12 V Arka Motor

Ürün Ölçüleri: 71 x 107 x 73,5 cm [40]

Bu aracın seçilmiş olması, insansız kara aracı geliştirme yöntemlerinde literatürdeki diğer projelerden temel farkı oluşturur. Akülü aracın kontrol mekanizmaları olduğu gibi kullanılmamıştır. Bunun yerine geliştirilen mekanizmalar eklenerek araç otonom hale getirilmiştir. Resim 3.2’de geliştirilen insansız kara aracının yeni gövde tasarımı görülmektedir.



Resim 3.2. Geliştirilmiş insansız kara aracının gövde görünümü

Yeniden tasarlanarak otonom hale getirilmiş araca ön tekerleri yönlendiren direksiyon sistemi, hızlandırıcı ve yavaşlatıcı sistem ve algılayıcı sistemler eklenmiştir. Mekanik,

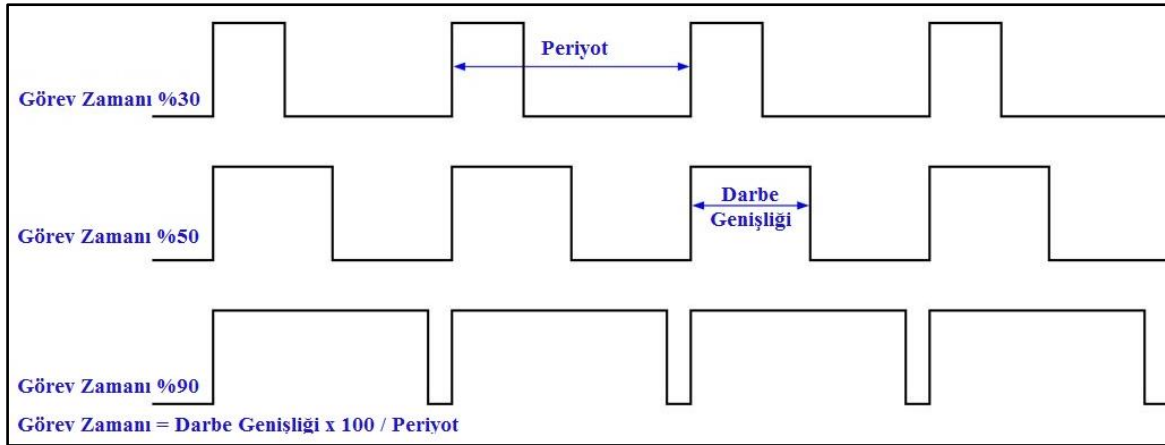
elektrik veya bir yazılım hatasında İKA'nın en kısa süre içinde durdurulabilmesi gerekmektedir. Bu amaçla aracın üzerine bir enerji düğmesi yerleştirilmiştir. Herhangi bir acil durumda bu düğmeye basılacak, aracın çevreye, insanlara veya kendisine zarar vermesi önlenecektir.

3.2. Boylamsal Kontrol Donanımı

Boylamsal kontrol, aracın önündeki mesafenin ölçümü neticesinde hızını ayarlamasını ve uygun hızda yoluna devam etmesini sağlamak için yapılmaktadır.

3.2.1. Hızlandırıcı ve frenleme

Bu çalışmada kullanılan araç, üzerinde bulunan iki adet DA motor tarafından tahrik edilmektedir. (Resim 3.4) Mikrodenetleyici tarafından üretilen PWM sinyalleri ile istenilen hız bilgisi motor sürücüyü ve oradan da motorlara iletilmektedir. İki motor da aynı PWM sinyali ile sürülmektedir. Bu sinyallerin görev zamanı (duty cycle) 1,25 MHz frekansında olup periyodun %30'u ile %90'ı arasında değişmektedir. Görev zamanının yükselmesi hızı arttırmakta, düşmesi ise hızı azaltmaktadır. Şekil 3.2'de değişen görev zamanlarında PWM sinyalinin durumu görülmektedir.



Şekil 3.2. Değişen görev zamanlarında PWM sinyallerinin durumu

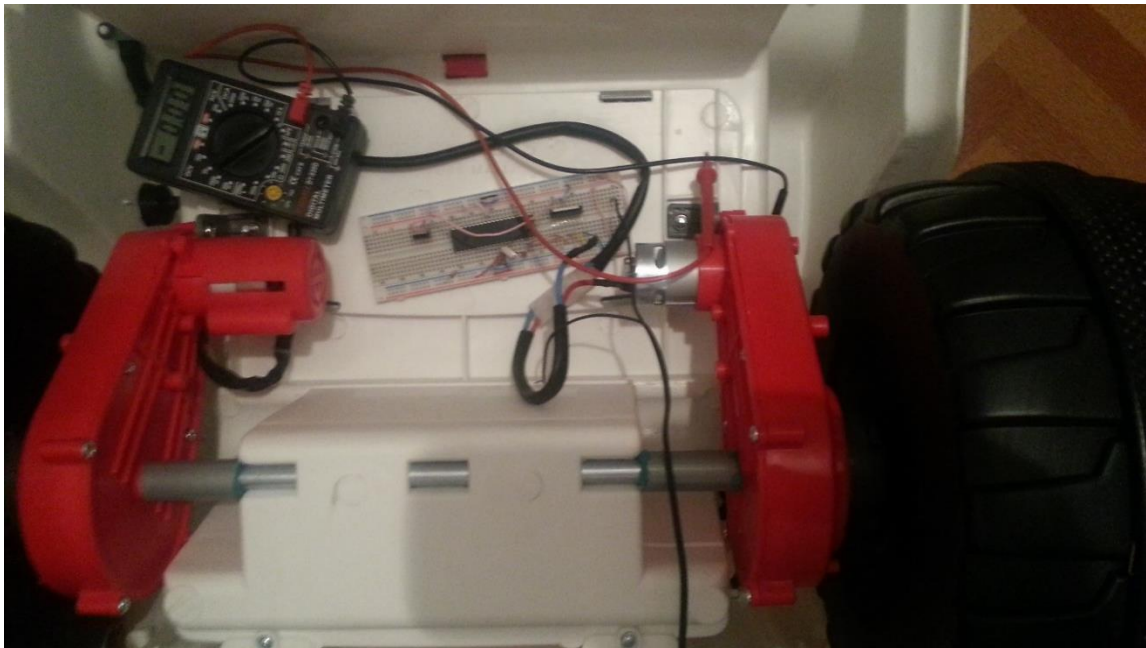
Tahrik motorları aracın arka tekerleklerinde bulunan aracın özgün motorları olup 12V gerilim ve en fazla 10 A akım ile çalışmaktadır. Akımın büyüklüğü sebebi ile L293 veya L298 gibi genellikle kullanılan motor sürücüleri yerine Resim 3.3'te görülen 20 A'ya

kadar akım verebilen, 28 V'ye kadar gerilim altında çalışabilen, dâhili pasif soğutuculu BTS7960B motor sürücüsü kullanılmıştır. Yine büyük akım sebebiyle motor bağlantı kabloları 3 mm çapında kullanılmıştır.



Resim 3.3. BTS7960B motor sürücüsü [41]

Araç üzerinde dâhili olarak bulunan frenleme sistemi klasik sürtünmeye dayalı bir sistem olmadığı için kullanılamamıştır. Bunun yerine doğru akım motorlarını tahrik eden PWM sinyallerinin anlık ters akım olarak verilmesi ile frenleme yapılmaktadır. Resim 3.4'te aracın motorları görülmektedir.



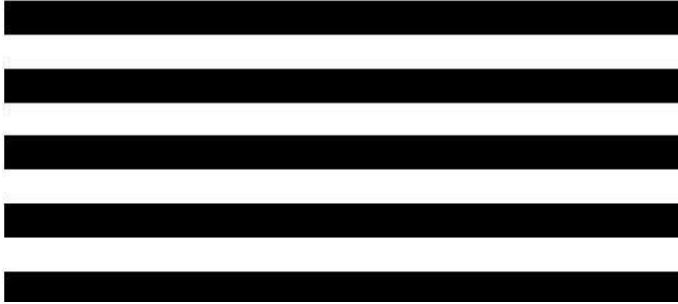
Resim 3.4. Aracın altından motorlarının görünümü

3.2.2. Hız ölçümü

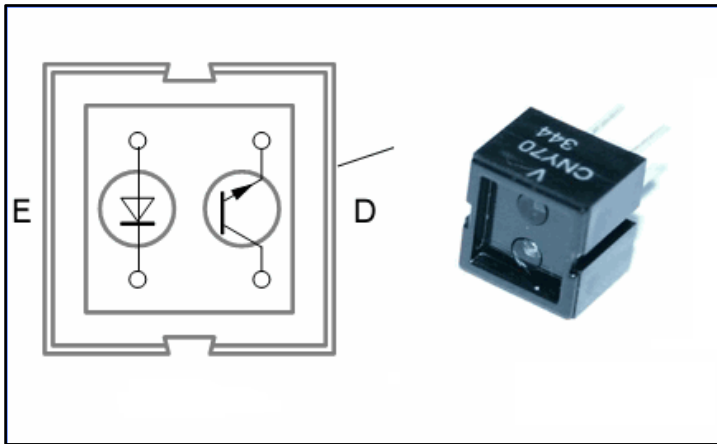
Aracın hızı sağ arka tekerlek için hazırlanan kodlayıcı düzeneği ile tespit edilmektedir. Kodlayıcı, tekerin belirli süre içerisinde aldığı tur bilgisi ve geçen zaman bilgisini kullanarak aracın hız bilgisini üretmektedir. Tur bilgisi üretimi için iki farklı metot kullanılmıştır. Bunlardan birincisi her bir tur bilgisini mikrodenetleyiciye gönderen reed röleli bütünleşik devre, diğeri ise yarımşar santimetre aralıklarla siyah ve beyaz çizgileri olan kâğıt üzerinden tur bilgisini hesaplayan kodlayıcıdır.

Kodlayıcı

Özgün ismi encoder olan ve kodlayıcı ismi ile dilimize çevirdiğimiz yapı, Şekil 3.3'teki gibi çizgileri CNY70 (Şekil 3.4) gibi renk algılama parçaları ile ayırt edebilmesi yardımıyla belirli bir süre içinde kaç adet çizgi geçildiğinin hesaplanması yöntemi sayesinde hızı tespit edebilmektedir.

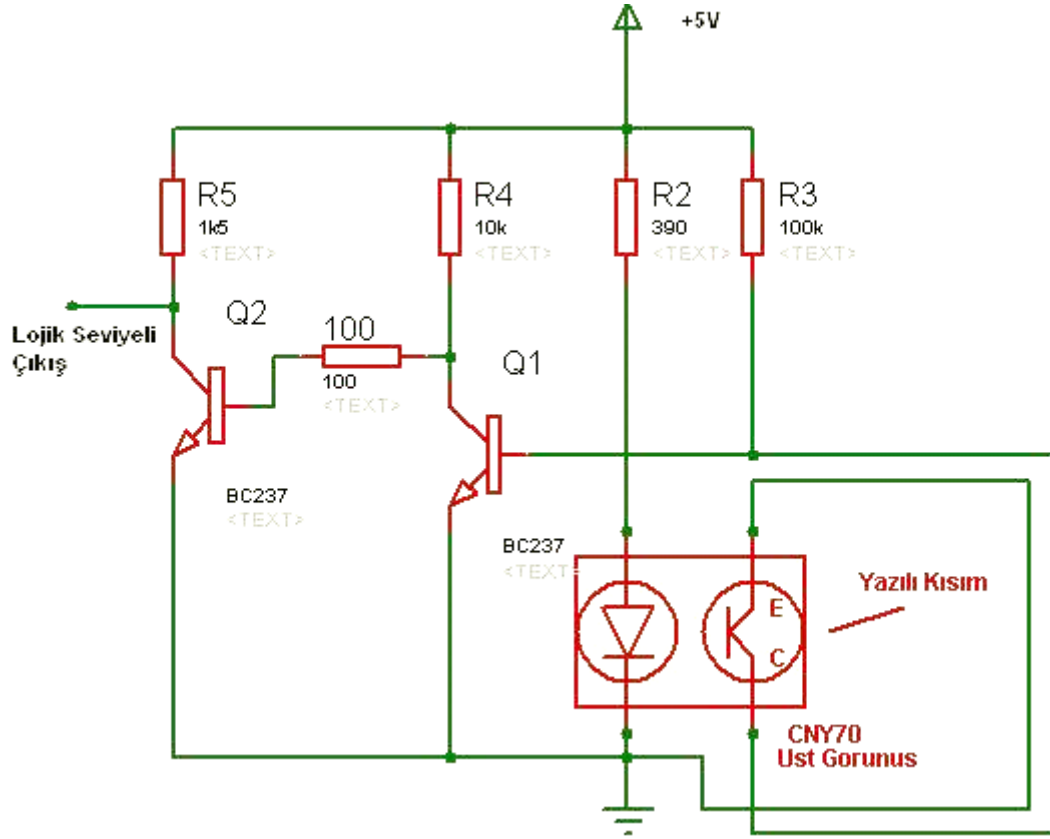


Şekil 3.3. Kodlayıcı için hazırlanmış çizgi tasarımı



Şekil 3.4. CNY70 renk algılayıcı [42]

Şekil 3.5'te bulunan devre hazırlanarak CNY70'in renk değişimi ile çıkıştan mantıksal 1 ve mantıksal 0 alınması suretiyle tekerin dönme miktarı anlaşılabilmektedir.



Şekil 3.5. CNY70 elektronik devre şeması

Reed röle entegre devre

Reed Röle isimli Resim 3.5'te görülen bileşen literatürde birkaç şekilde adlandırılmaktadır.

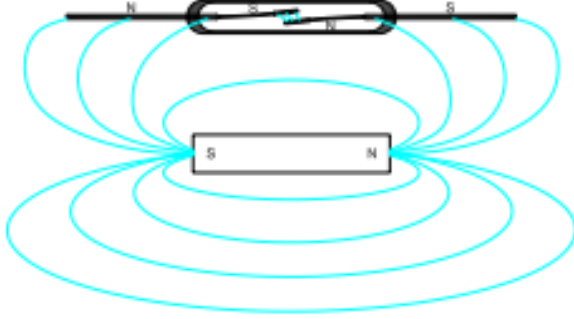
Bunlar; reed anahtar, reed kontak ve dil kontak gibidir.



Resim 3.5. Reed anahtar [43]

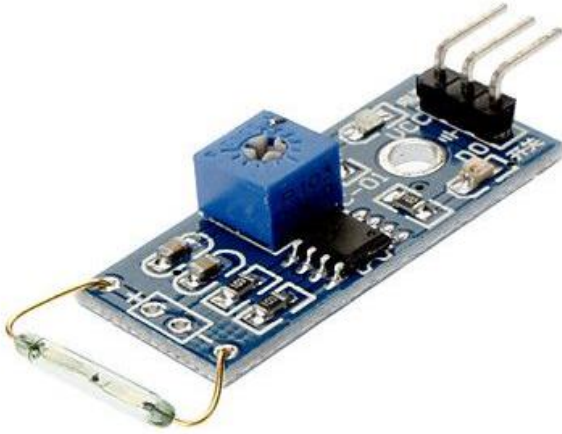
Reed Röle, havası boşaltılmış bir cam tüp içine yerleştirilmiş ferromanyetik özelliğe sahip kontaklardan oluşur. Kontakların açılıp kapanması dışarıdan uygulanan manyetik alan ile sağlanır. (Şekil 3.6) Kontaklar manyetik akı ile aynı eksene konulduğunda kapanır.

Böylece manyetik alana duyarlı bir anahtar elde edilmiş olur.



Şekil 3.6. Reed Anahtarın çalışma prensibi [44]

Reed röle kullanılarak hazırlanmış Resim 3.6’teki bütünleşik devre bize tekerin her turunda karşılaştığı mıknatıstan etkilenerek nabız atışı şeklinde bir sinyal verir. Bu sinyal aracılığı ile tekerin bir tur kat ettiği bilgisini, tekerin çevre uzunluğu bilgisini (92 cm) ve mikrodenetleyicinin ürettiği geçen süre bilgisini kullanarak tekerin dönüş hızını hesaplarız.



Resim 3.6. Reed anahtarlı bütünleşik devre [45]

Saniye bilgisinin üretilmesi

Mikrodenetleyiciye saniye bazlı süre hesaplatılması için özel bir kristal osilatör kullanılmıştır. 32768 Hz frekansta çalışan bu osilatör bütün zaman hesaplama devrelerinde kullanılan standart parçadır. Resim 3.7’de kullanılan harici osilatörün resmi görülmektedir.



Resim 3.7. 32768 Hz’lik harici osilatör [46]

Bu osilatör mikrodnetleyiciye ikincil osilatör olarak bağlanmış ve mikrodnetleyicinin Timer 1 kesmesi programlanarak her saniye bir kesme üretecek şekilde kodlanmıştır. Oluşturulan sistemin araç üzerinde uygulaması Resim 3.8’de görülmektedir.



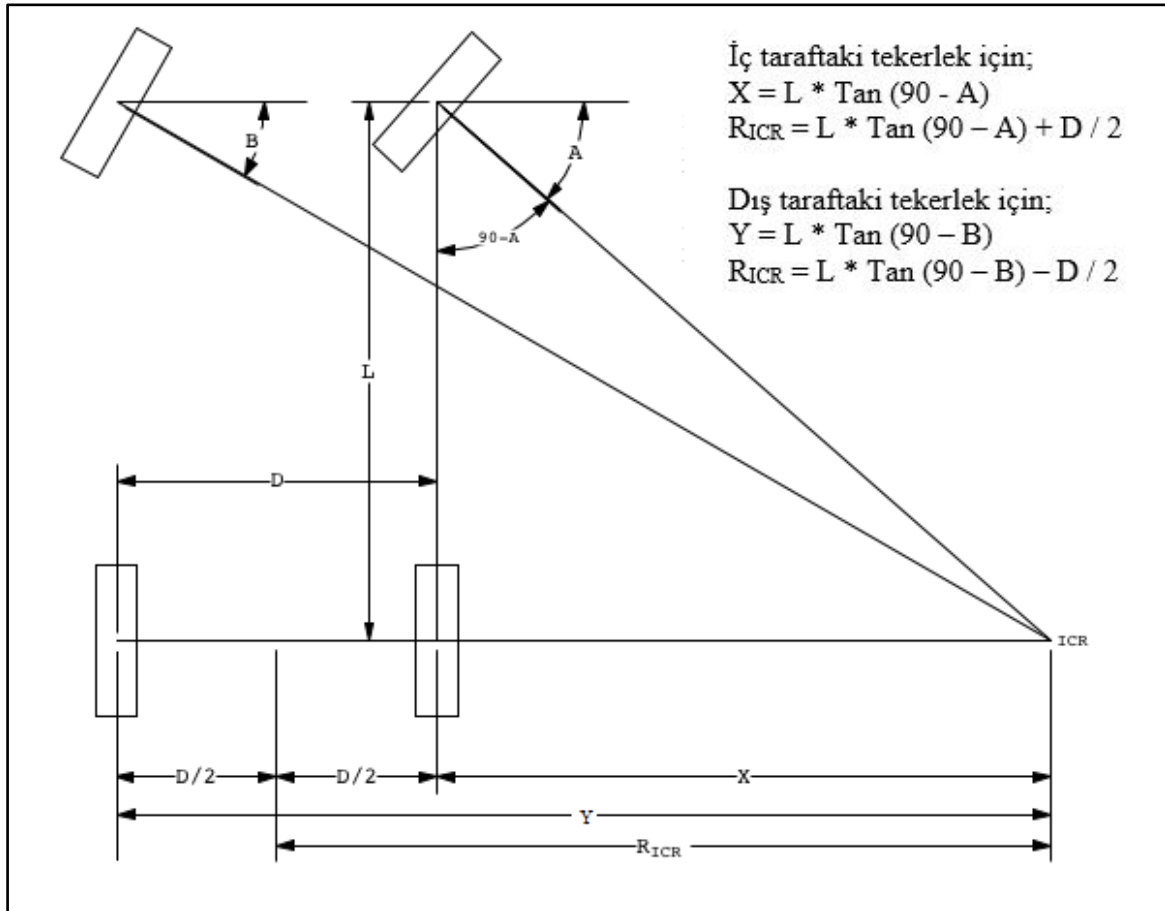
Resim 3.8. Aracın sağ tekeri üzerine inşa edilmiş hız ölçümünü sağlayan kodlayıcı

3.3. Yanal Kontrol Donanımı

Yanal kontrol aracın sağa veya sola istenilen düzeyde dönebilmesini sağlamak amacıyla gerçekleştirilmektedir.

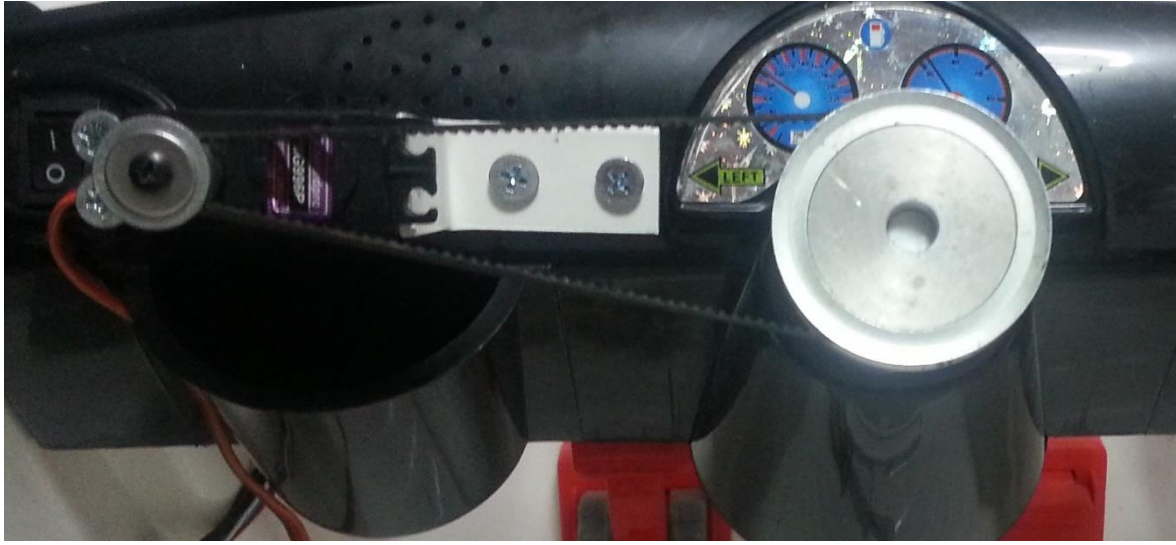
3.3.1. Direksiyon yönlendirme

Standart akülü arabanın direksiyon yönlendirme sistemi Ackermann yönlendirme sistemi üzerine kuruludur. Ackermann yönlendirme sistemi Şekil 3.7’de modellendiği gibi dönmekte olan bir taşıtın tekerleklerinin yana kaymasını önleyebilmek için, ön tekerlek eksenlerinin, arka tekerleklerin ekseni üzerinde bir noktada kesişmeleri ilkesine dayanarak ön tekerleklere yön verilmesi olarak tanımlanmaktadır [47]. Burada araç sağa dönerken sol tekerlekler sağ tekerleklerden daha hızlı dönerler. Ayrıca aynı yönün ön tekerlekleri de arka tekerleklerden daha hızlı dönerler. Bu bilgilere göre sağa dönen araçta tekerleklerin hız sıralaması hızlıdan yavaşa doğru; sol ön, sol arka, sağ ön ve sağ arka şeklinde olur.



Şekil 3.7. Ackermann yönlendirme sistemi ile donanmış bir aracın dönüş açısı [48]

Aracın özgün yönlendirme sistemi korunmuştur. Tasarımda direksiyon kaldırılmış, yerine bir DC Servo motor monte edilmiştir. Servo motor direksiyon miline Resim 3.9’da görüldüğü gibi 4’e 1 dişli oranına sahip kayış kasknak sistemi ile bütünleştirilmiştir. Bu oran servo motorun dönme açısının %80’i kullanılarak hesaplanmış olup direksiyon dönme kapasitesini tamamen karşılamaktadır. Dişli oranı yoldan kayıp yaptırırken gereken gücü de 4’te bire düşürmektedir.



Resim 3.9. Servo motor ve kayış kasknak ile kurulmuş direksiyon yönlendirme sistemi

Kullanılan motor Resim 3.10’da görülen MG996R kod numaralı yüksek dönme momentli metal dişlileri olan bir dijital servo motordur. Motor en fazla 10 kg’lık yük taşıyabilmektedir. MG996R, MG995’in yenilenmiş bir üst sürümüdür. MG995’ten üstün özellikleri iyileştirilmiş şoka dayanıklılık ve çok daha kararlı çıktılar veren yeniden tasarlanmış bütünleşik devre kontrol sistemidir. Ayrıca motor ölü bant genişliğinin azaltılması konusunda da geliştirilmiştir. MG996R standart servo motor kontrol kodları ile kolaylıkla kullanılabilir.



Resim 3.10. MG996R servo motor [49]

MG996R'nin özellikleri:

Ağırlık: 55 g

Ölçüleri: 40,3 x 20 x 47,6 mm (Şekil 3.8)

Maksimum Tork: 9,4 kgf.cm (4,8 V), 11 kgf.cm (6V)

Çalışma Hızı: 0,17 s/60° (4,8 V), 0,14 s/60° (6V)

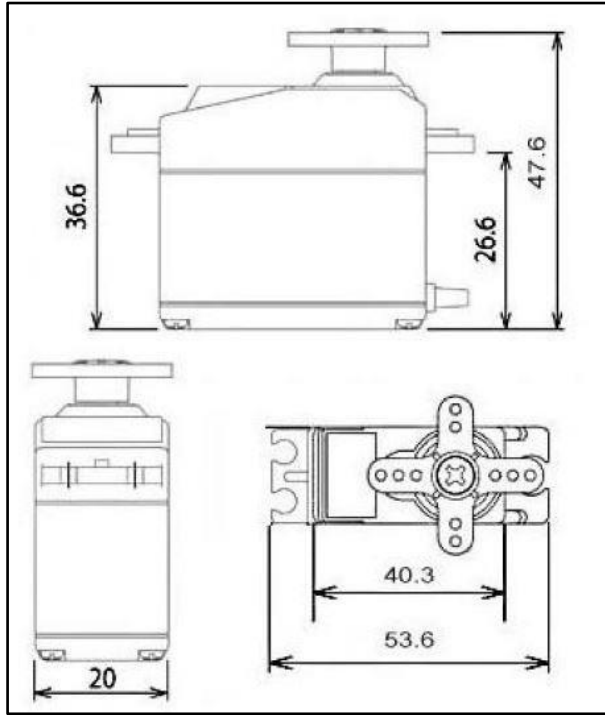
Çalışma Voltajı: 4,8 V – 6 V

Çalıştırma Akımı: 500 mA – 900 mA

Zorlama Akımı: 2,5 A (6 V)

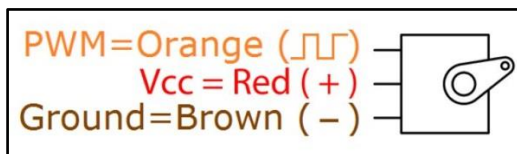
Çalışma Sıcaklık Aralığı: 0 °C – 55 °C

Kablo Bağlantıları: Besleme – Toprak – Veri (Şekil 3.9) [50]



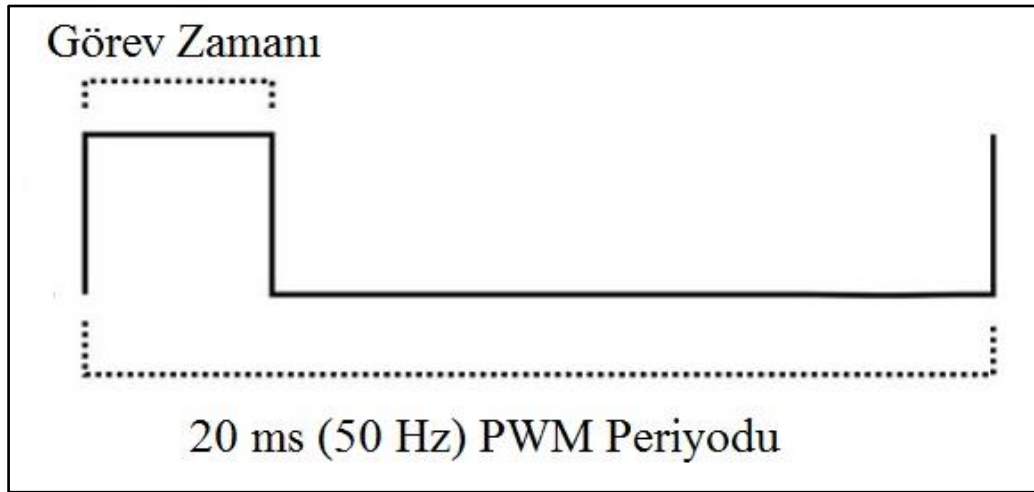
Şekil 3.8. MG996R servo motorun ölçüleri [50]

Kablo bağlantıları:



Şekil 3.9. MG996R servo motorun kablo bağlantıları [50]

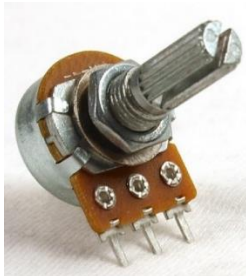
Direksiyon yönlendirici DC Servo motorun sürülmesi Şekil 3.10'da görüldüğü gibi 20 ms'lik PWM sinyalleri gönderilmesi ile mümkün olmaktadır. Bu 20 ms'lik periyot içerisinde verilen görev zamanı (duty cycle) 0,5 ile 1,7 ms arasında değişmektedir. Görev zamanı 1,1 ms olduğunda tekerler tam düzgün konuma gelmekte, bu değer 1,7 ms'ye doğru arttıkça tekerler sola dönmekte, 0,5 ms'ye doğru azaldıkça da tekerler sağa dönmektedir.



Şekil 3.10. MG996R servo motorun PWM sinyal özellikleri

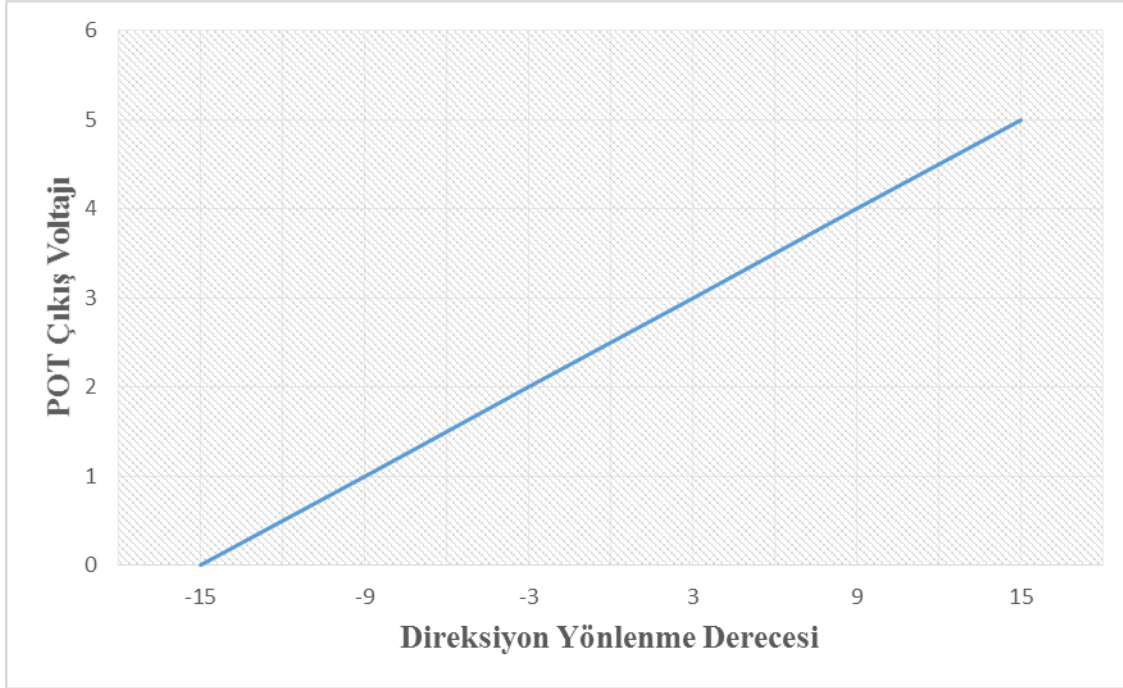
3.3.2. Direksiyon konum bilgisi ölçümü

Aracın yönlendirici ön tekerlerinin mevcut konum bilgisini öğrenmek ve geribildirim amacıyla kullanmak için direksiyon miline bağlanmış olan servo motor kayış kasnak sistemine Resim 3.11'de görülen tipte 5 kΩ değerinde bir potansiyometre eklenmiştir.



Resim 3.11. Potansiyometre [51]

Potansiyometrenin ölçüm değeri Şekil 3.11'deki grafikte görüldüğü gibi tekerin dönüş açısına göre doğru orantılı olarak değişmektedir.



Şekil 3.11. POT çıkış voltajı – direksiyon yönlendirme derecesi grafiği

Potansiyometrenin çıkışı mikrodnetleyicinin ADC (Analogue to Digital Converter) girişine bağlanır. Mikrodnetleyici analog sinyali dijitalle çevirerek gerekli yerlerde kullanmak üzere hazırlar. Resim 3.12’de yerleştirilen potansiyometre görülmektedir.

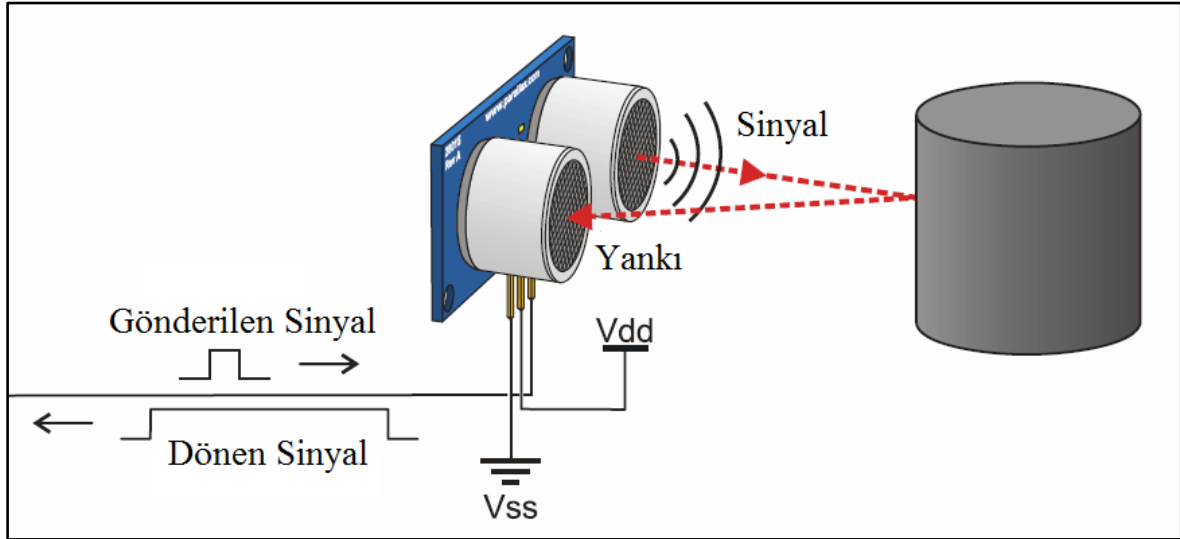


Resim 3.12. Direksiyon yönlendirici sisteme yerleştirilmiş potansiyometre

3.4. Çevre Algılama Donanımı

Çevrenin doğru bir şekilde algılanması insansız kara araçları için hayati bir öneme sahiptir. Aracın bütün hareketleri çevredeki nesnelere olan mesafelere göre gerçekleşecektir. Ölçüm verilerinin tutarlı, hızlı ve yeteri mesafeye kadar ölçülebiliyor olması gerekmektedir. Bu özellikleri karşılayan literatür araştırması bölümünde anlatıldığı gibi günümüzde büyük boyutlu araçlarda kullanılan birçok gelişmiş sensörler bulunmaktadır.

Ultrasonik sensörler radarlar veya sonarlar ile benzer bir çalışma prensibine sahiptir. Şekil 3.12’de modellendiği gibi yüksek frekansta ses dalgaları üretip gönderirler ve alıcı bölümünden geri dönen dalgaları toplarlar.



Şekil 3.12. Ultrasonik sensörün çalışma prensibi [52]

Ultrasonik sensörler 2 cm’den 4 metreye kadar olan mesafeleri ölçebilmektedir.

Bu çalışmada LIDAR’ların yüksek fiyatlı olması ve tasarlanan sistemimiz için yeterli olması sebepleri ile ultrasonik sensörler kullanılmıştır. Kullanılan sensör Resim 3.13’te bulunan HC-SR04 numaralı piyasada sıkça bulunan uygun fiyatlı ve güzel sonuçlar veren bir ultrasonik sensör olmuştur. Sensör Şekil 3.13’te görüldüğü gibi en iyi sonucu yakın mesafede 30 derecelik açılarda sağlamakta olup uzak mesafelere gidildikçe bu değer 15 derecelik açılara doğru düşmektedir.



Resim 3.13. HC-SR04 ultrasonik sensör [52]

HC-SR04 ultrasonik sensörün özellikleri:

Mesafe Ölçüm Kapasitesi: 2 cm – 400 cm

Ölçüm Açısı: 30 derece (Şekil 3.13)

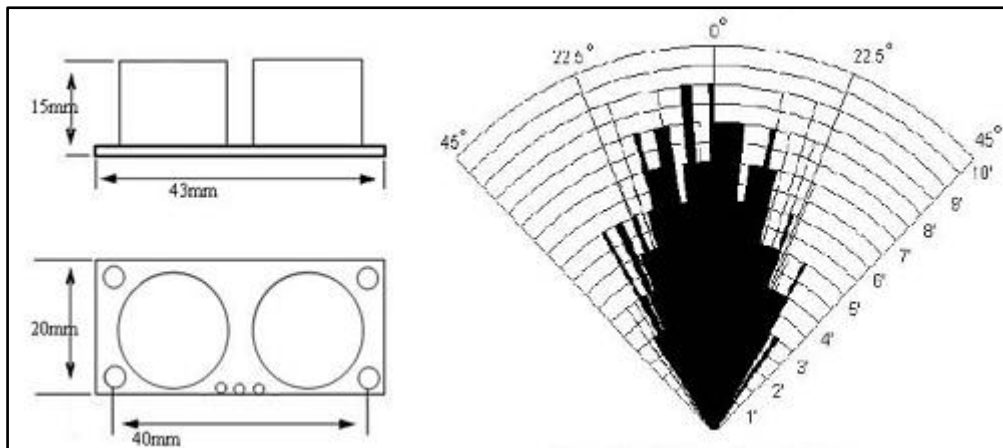
Hassasiyet: 3 mm

Frekans: 40 kHz

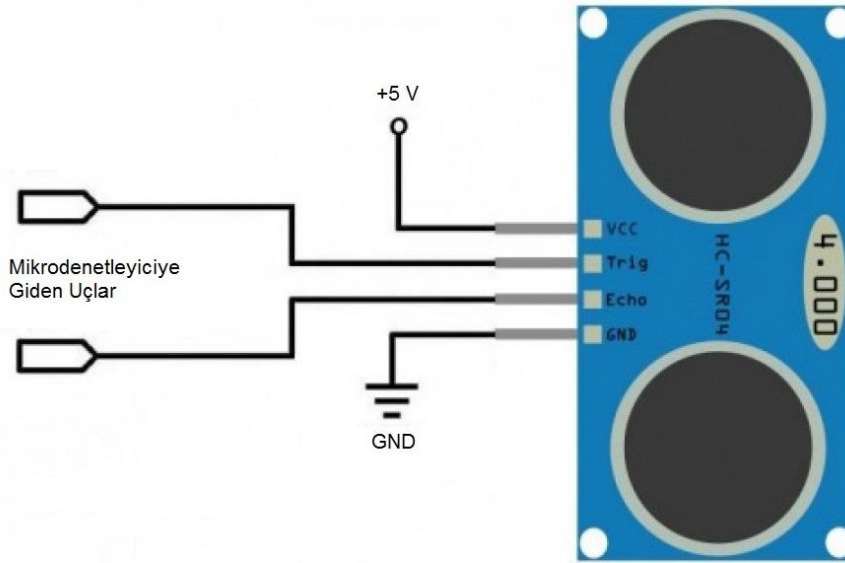
Çalışma Voltajı: 5 V

Çalışma Akımı: 15 mA

Ölçüler: 43 x 20 x 15 mm (Şekil 3.13) [53]

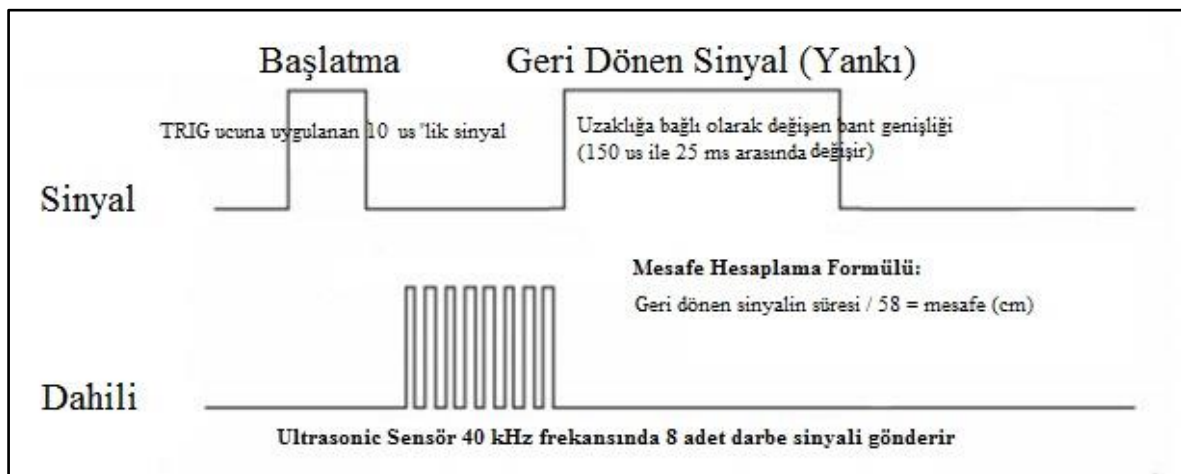


Şekil 3.13. HC-SR04 ultrasonik sensörün ölçüleri (solda) ve ölçüm açısı (sağda) [54]



Şekil 3.14. HC-SR04 ultrasonik sensörün bağlantı şeması [55]

Şekil 3.14'te görüldüğü gibi bağlantıları yapılmış olan sensörün TRIG ucundan 10 μ s'lik bir sinyal gönderilmesi ile çalışmaya başlar. Uyarıyı almış olan sensör 40 kHz frekansında 8 adet darbe sinyalini hedefe doğru gönderir. Üretilen bu ses dalgası yaklaşık 340 m/s hız ile yol alır, bir cisme çarparak geri sensöre yansır. Cismin uzaklığı ile doğru orantılı olarak ECHO ucu bir süre mantıksal 1 seviyesinde kalır ve tekrar mantıksal 0 olur. Geri dönen ses dalgasının mantıksal 1 seviyesinde kaldığı süre temel alınarak nesne ile sensör arasındaki mesafe hesaplanır. Şekil 3.15 anlatılan sistemi gösterir.



Şekil 3.15. HC-SR04 ultrasonik sensörün gönderdiği ve topladığı sinyaller

Geri dönen sinyalin uzunluğu mikrodenetleyicinin zamanlayıcısı ile ölçüldükten sonra Eş. 3.3 kullanılarak mesafe hesaplanmış olur.

$$Yol = Hız \times Zaman \quad (3.1)$$

$$Hız = \frac{34000 \text{ cm}}{1000000 \text{ } \mu s} \sim 1/29 \quad (3.2)$$

Geri dönen sinyal bilgisi içerisinde hem gidilen hem de dönülen yol olduğundan zaman bilgisi de ikiye bölünerek işleme sokulur.

$$Mesafe = \frac{Süre}{58} \quad (3.3)$$

Resim 3.14'te aracın önüne, sağına ve soluna monte edilmiş 3 adet sensör görülmektedir.



Resim 3.14. Ön sensör (üstte), sağ sensör (solda), sol sensör (sağda)

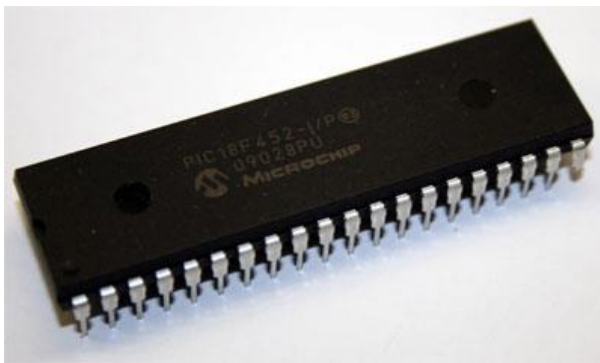
3.5. Mikrodenetleyici

Aracın algılayıcılardan gelen bilgileri almasını, yorumlamasını, bu bilgileri belirlenen algoritmaya göre çeşitli işlemlere tabi tuttuktan sonra motorları tahrik edecek devrelere bilgi göndermesini ve aynı zamanda bu bilgileri bilgisayara aktarmasını sağlayan bileşen mikrodenetleyicidir.

Mikrodenetleyiciler genellikle şu özelliklere sahip olurlar;

- Programlanabilir dijital giriş / çıkış
- Programlanabilir analog giriş
- Seri giriş / çıkış
- PWM çıkışı
- Harici hafıza bağlanabilirliği
- Dâhili hafızalar (ROM, EPROM, Flash gibi)
- Kesmeler
- Zamanlayıcı ve sayıcılar

Bu çalışmada mikrodenetleyici olarak Microchip Technology firmasının ürünlerinden olan PIC serisinden resim 3.15'te görülen 18F452 kod numaralı ürünün kullanılması uygun görülmüştür. 18F452 piyasada en sık kullanılan 16F877A'nın üst modelidir.

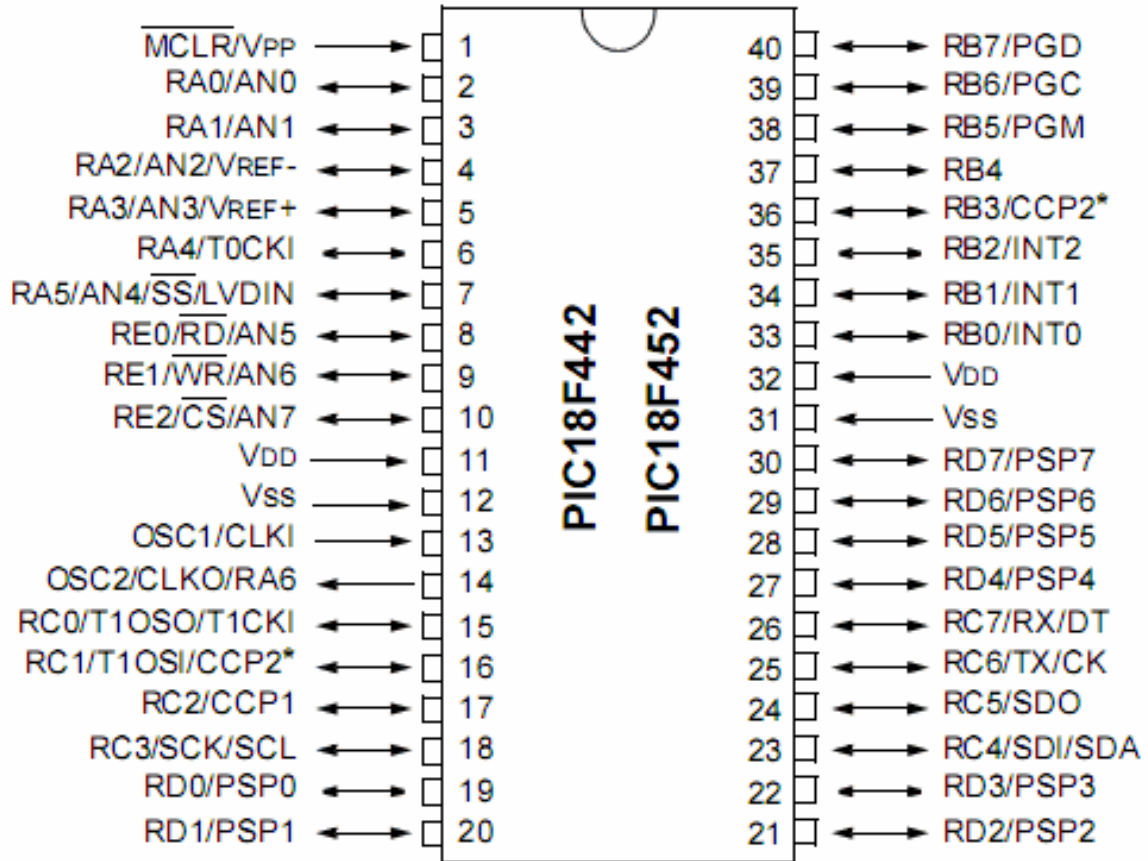


Resim 3.15. PIC 18F452 [56]

PIC18F mikrodenetleyici ailesi çok geniş bir kullanım alanına sahiptir. Endüstriyel uygulamalar, medikal uygulamalar, otomotiv uygulamaları ve tüketici elektroniği bu alanlar arasındadır.

PIC Mikrodenetleyicilerinin avantajları şu şekildedir;

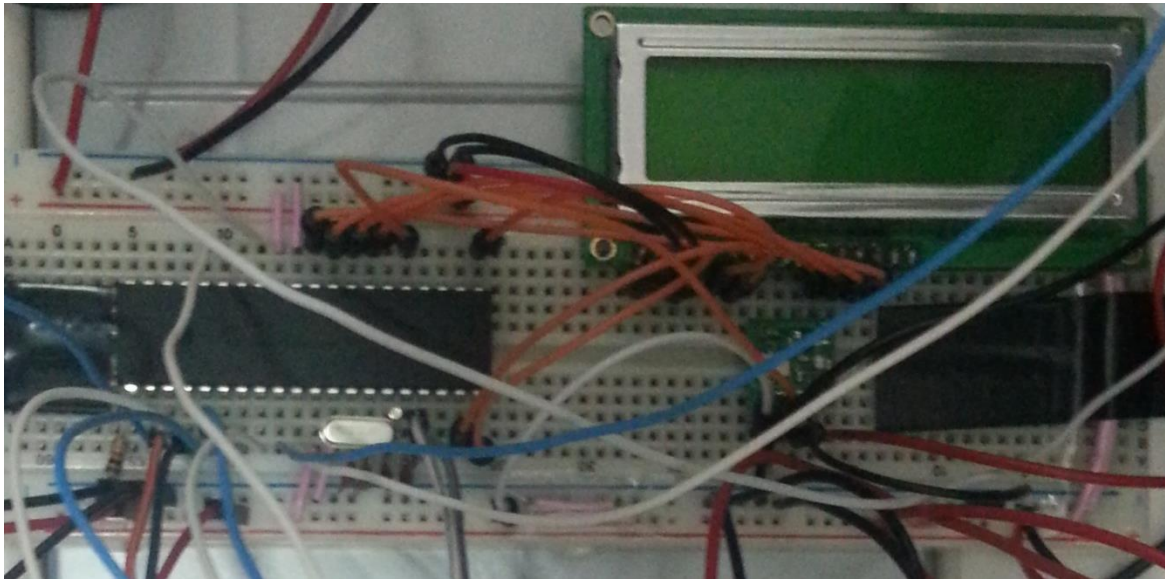
- Kullanmak için gerekli olan yazılımlar ücretsiz olarak internette bulunmaktadır.
- Çok yaygındır ve fiyatı uygundur.
- Bu mikrodenetleyicilerin konu alındığı birçok kitap ve internette örnekler bulunmaktadır.
- Çok az ve basit elemanlarla devreleri kurulabilir.
- RISC mimarisine sahip olduğu için komut sayısı az ve kolay kullanımlıdır.
- Üst seviye diller için (PIC C, Basic) derleyicilere sahiptir.
- PIC komutları bellekte oldukça az yer kaplarlar.
- Oldukça yüksek hıza sahiptirler. Her komutun işlenmesi sadece 1 μ s sürer. 5 000 000 komutluk bir programın 20 MHz bir osilatör ile iletimi yalnızca 1 saniye sürer.



Şekil 3.16. PIC18F452 bacak bağlantıları [57]

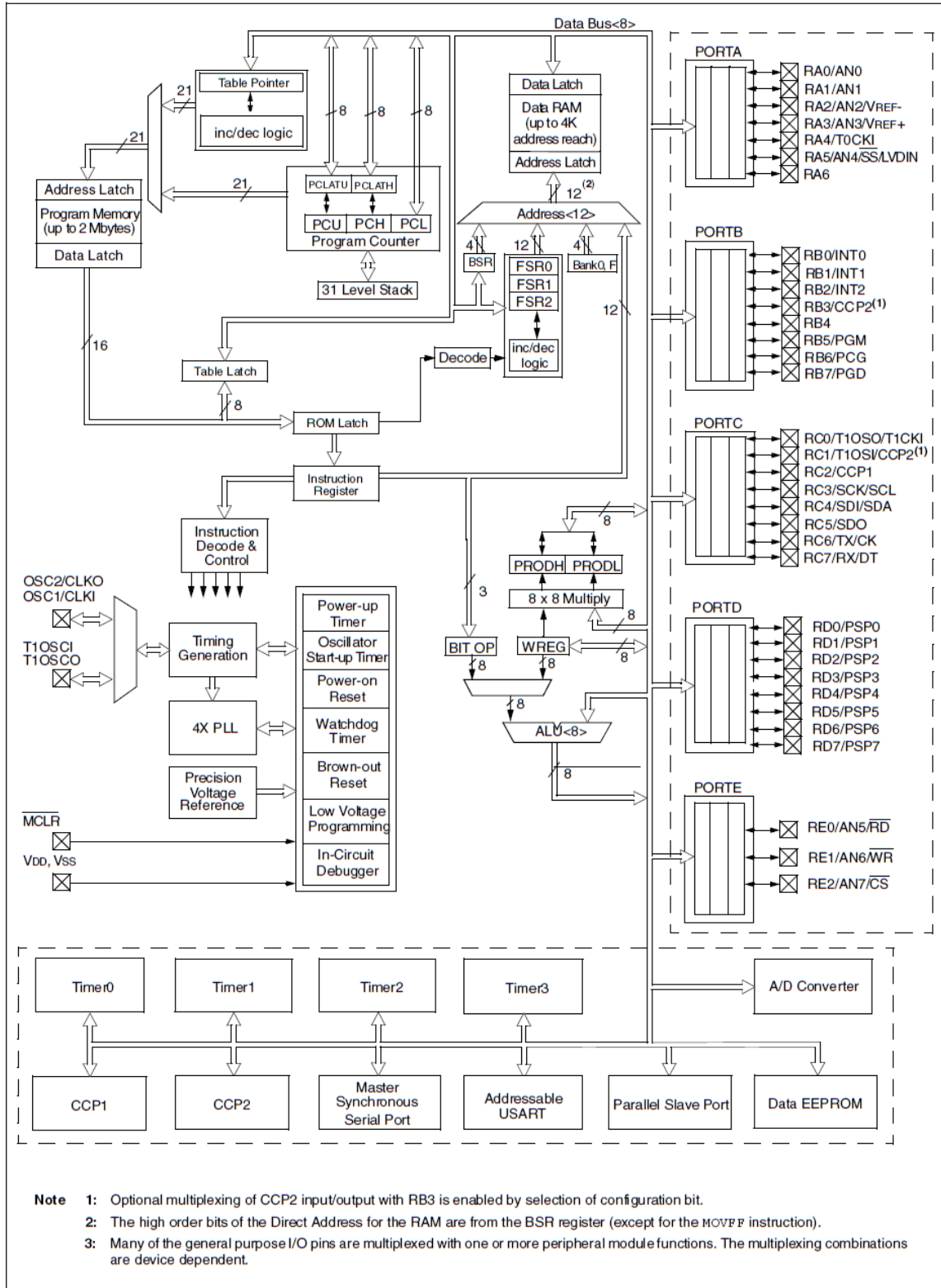
Şekil 3.16’da bacak bağlantıları görülen 18F452’nin genel özellikleri şu şekildedir [58];

- 32 KB Flash program hafızası
- 1 536 byte RAM
- 256 byte EEPROM
- 2 adet CCP Modülü
- 1 adet 8 bit, 3 adet 16 bit sayıcı
- 10 bitlik 8 kanal ADC
- (-40) – 125 °C arasında çalışabilme
- En fazla 40 MHz osilatör bağlanabilme
- 2 adet PWM
- Flash program hafızasına 100 000 silme / yazma yapabilme
- EEPROM hafızasına 1 000 000 silme / yazma yapabilme
- Düşük enerji tüketimi



Resim 3.16. 18F452’nin devrede kullanımı

Şekil 3.17’de 18F452’nin içyapısını gösteren blok diyagram görülmektedir [59].



Şekil 3.17. PIC 18F452'nin blok diyagramı

3.6. Güç Kaynağı

Geliştirilen insansız kara aracının güç ihtiyacı Resim 3.17’de görülen özgün akülü arabanın kullandığı akü ile karşılanmıştır. Aracın aküsü 12 V gerilime ve 12 Ah akıma sahiptir.



Resim 3.17. 12 V – 12 Ah Pilsan akü

Aküden 3 milimetrelik kablo ile alınan elektrik motor sürücü devresinde motorun besleme uçlarında doğrudan kullanılmaktadır. Bu sayede aracın boylamsal hareketini sağlayan motorların ihtiyaç duyduğu yüksek akım ve 12 V gerilim sağlanmış olmaktadır.

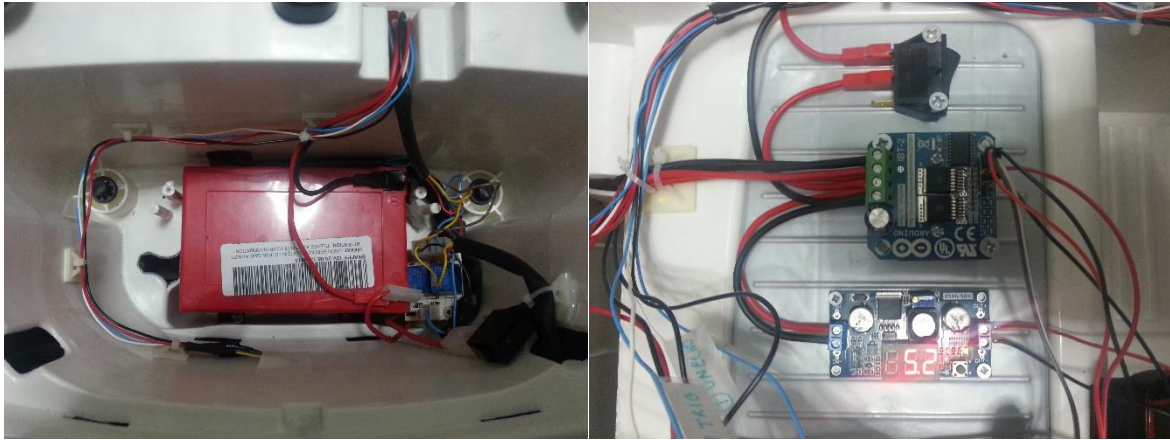
Aküden gelen güç kablosu aynı zamanda gerilimi 12 V’den diğer bütün devre elemanlarının beslemeleri için gerekli olan 5 V’ye dönüştürecek olan regülatör devresine giriş olarak verilmektedir.

Resim 3.18’de görülen regülatör devresi LM2596 entegresi üzerine geliştirilmiş olup 3 A’ya kadar akım verebilir ve 4 – 35 V giriş gerilimine sahiptir. Üzerindeki trimpottan yararlanılarak çıkış gerilimi 1,25 – 30 V arasında bir değere sabitlenebilir. DC – DC düşürücü (step-down) özelliklidir. Devre üzerindeki gösterge yardımı ile çıkış voltajı 0,1 V hassasiyet ile anlık olarak izlenebilmektedir.



Resim 3.18. LM2596 regülatör devresi

Böylece elimizde iki adet güç kaynağımız olmuş oldu. Birincisi 12 V – 10 A, ikincisi ise 5 V – 3 A. Motor sürücüsü devresinde motorun beslenmesi için 12 V – 10 A kaynağı kullanılırken diğer bütün devre elemanlarının beslemelerinde 5 V – 3 A güç kaynağı kullanılmaktadır. Resim 3.19’da aracın aküsünden çıkan bağlantı kabloları ve güç dağıtım devresi görülmektedir.



Resim 3.19. Akü (solda) ve güç dağıtım devresi (sağda)

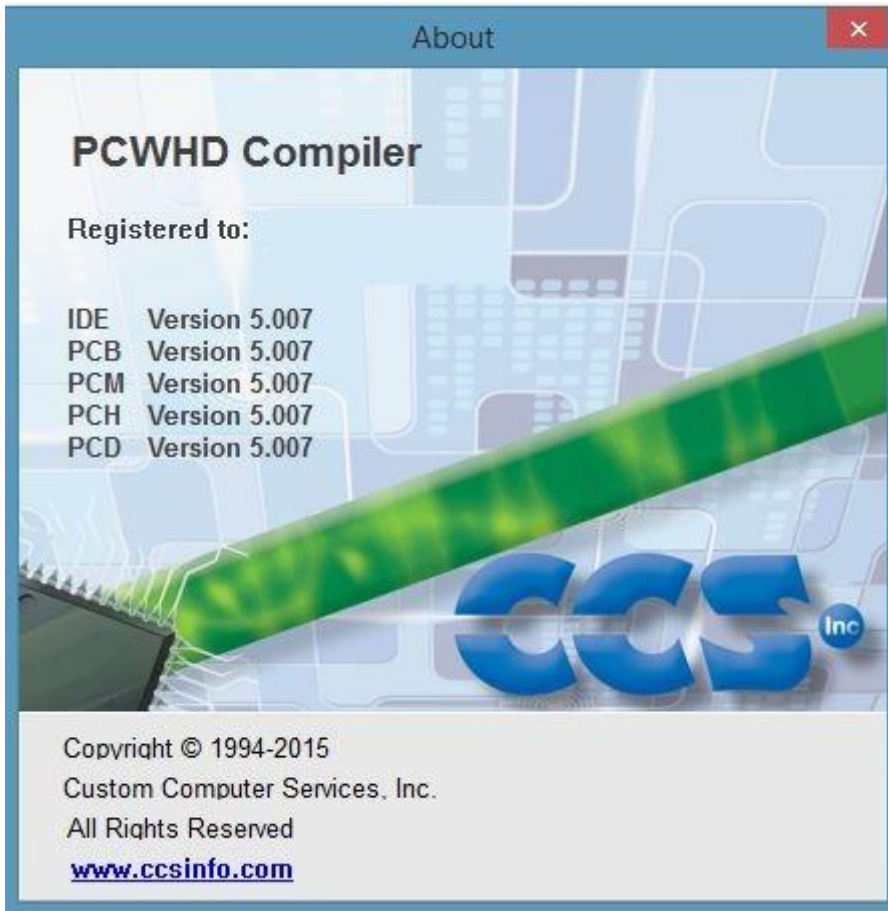
3.7. Yazılım

Çalışmanın temelinde CCS C Compiler ve Proteus isimli programlar bulunmaktadır. Bu programların yanında Usburn, Microsoft Excel, Eclipse Java, LabVIEW ve MATLAB isimli programlardan da faydalanılmıştır. İzleyen alt başlıklarda hangi programdan ne kadar faydalandığı anlatılacaktır.

3.7.1. CCS C Compiler

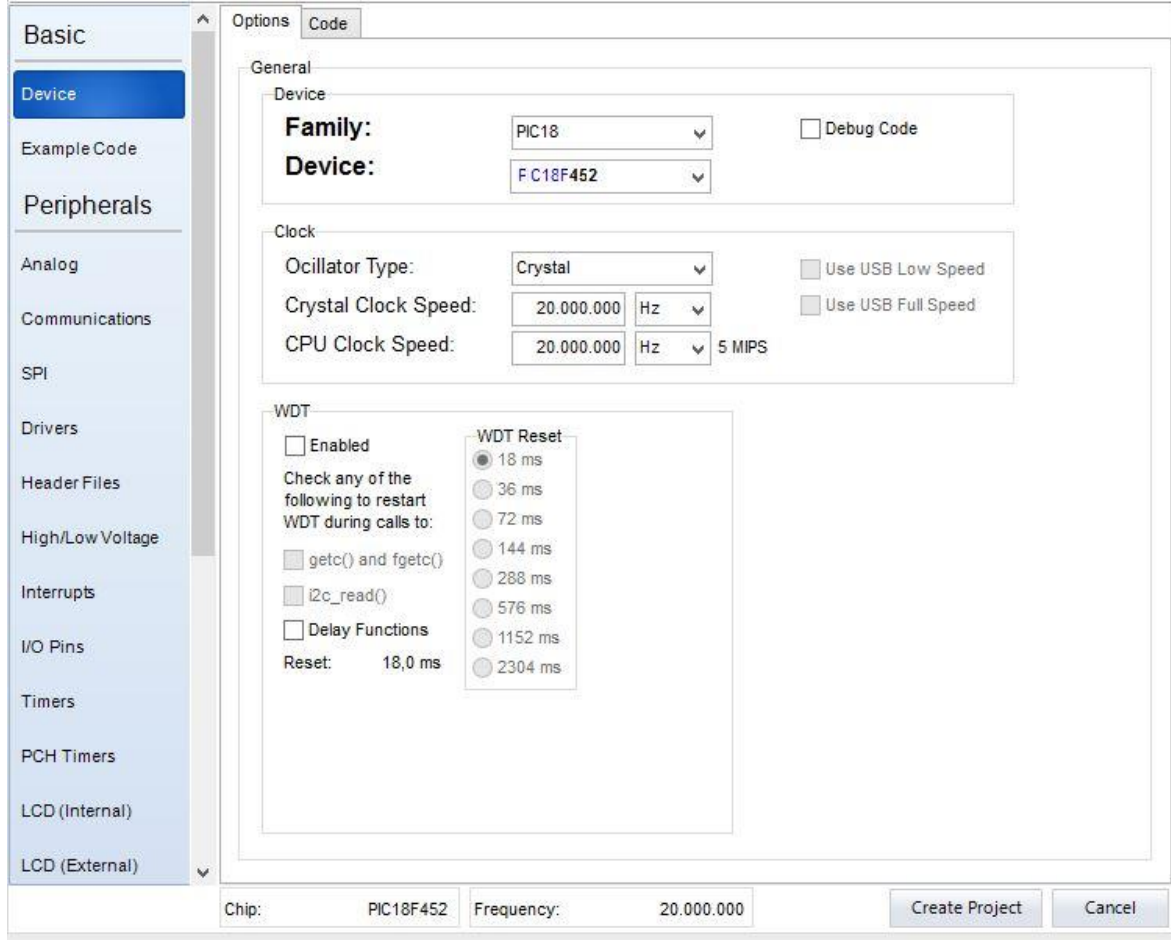
Üreticisi Custom Computer Services firmasının isminin baş harflerinin kısaltması şeklinde isimlendirilen CCS C Compiler programı PIC mikrodeneleyicileri ile çalışırken C dilinde program yazmak amacıyla en çok kullanılan derleyicidir. Yazılımın Türkiye’de de oldukça yoğun olarak kullanılmasının temel sebebini Serdar Çiçek’in yazdığı “CCS C ile PIC Programlama” isimli kitabına bağlayabiliriz. Zira bu kitapta 16F877A numaralı mikrodeneleyici kullanılarak neredeyse bir mikrodeneleyici ile yapılabilecek bütün örnekler yapılmıştır. Konu ile ilgilenen öğrencilerin yoğun ilgisi ile kitap ünlenmiş dolayısı ile kitapta kullanılan programlar da ülkemizde yaygınlaşmıştır.

Bu çalışmada Resim 3.20’de görüldüğü gibi programın 5.007 numaralı sürümü kullanılmıştır. Bu sürümde geçmiş sürümlere nazaran program hataları oldukça azaltılmış, ayrıca kullanım kolaylıkları sağlayan yeni komutlar türetilmiştir.



Resim 3.20. CCS yazılımı

Yazılımın en ilgi çekici yönlerinden bir tanesi de proje sihirbazı ekranının gözle görülür biçimde yenilenmesi olmuş. Artık Resim 3.21’de görüldüğü gibi kullanılacak mikrodnetleyici seçildikten sonra denetleyicinin bütün özellikleri sihirbaz üzerinden ayarlanabilir hale gelmiştir.



Resim 3.21. CCS C yazılımında mikrodnetleyici ayarlamalarının yapılması

Bunun yanında Resim 3.22’de görüldüğü gibi örnek kodlar sekmesinde temel bir takım işlevlerin hazır kodlarını oluşturacak ara yüz geliştirilmiş olup bu özellikleri istenilen şekle getirdikten sonra hangi kodlar ile bunların yapılacağı da kod sekmesinden görülebilir hale gelmiştir.

Options **Code**

Examples

Check any function on this page to generate a fully functional sample program.

LED

☐ Blink LED Select LED PIN: None Enter delay in ms: 1000

Sets the LED on the selected pin to alternate on and off at the rate set in the delay field.

LCD

☐ Display on LCD

Displays messages sent over UART on the LCD screen.
Requires both an external LCD and an RS-232 or RS-485 port.

Tick Timer

☐ Call Function Function Name: Call Function every (ms): 1000

Calls specified function at rate set in Call Function Field. Use Timer:

PWM

☐ Generate PWM PWM Frequency: Hz PWM Duty Cycle: %

Use CCP: Use Timer:

Create PWM using specified CCP and Timer at specified Frequency and Duty Cycle.

Chip: PIC18F452 Frequency: 20.000.000 Create Project Cancel

Resim 3.22. CCS C yazılımının örnek kodlar ekranı

Örnek olarak Resim 3.23'teki gibi bir LED yakıp söndürme uygulamasının seçeneklerini ayarlayabilir ve Resim 3.24'te görüldüğü gibi kod sekmesinden hangi kodlar ile bu işlemin gerçekleşeceğini görebilir, bu kodları projemize dâhil edebiliriz.

LED

☒ Blink LED Select LED PIN: A0 Enter delay in ms: 1000

Sets the LED on the selected pin to alternate on and off at the rate set in the delay field.

Resim 3.23. CCS C yazılımında örnek LED uygulaması seçimi



```

Options Code
|
Inserted into .h file:

#define LED PIN_A0
#define DELAY 1000

Inserted into .c file in main():

//Example blinking LED program
while(true)
{
    output_low(LED);
    delay_ms(DELAY);
    output_high(LED);
    delay_ms(DELAY);
}

```

Resim 3.24. CCS C yazılımında örnek LED uygulaması kodları

Tez çalışmasında mikrodenetleyiciye uygun bütün C kodlarının geliştirilmesi ve derlenmesi yukarıda anlatılan CCS C PIC Compiler ile gerçekleştirilmiştir.

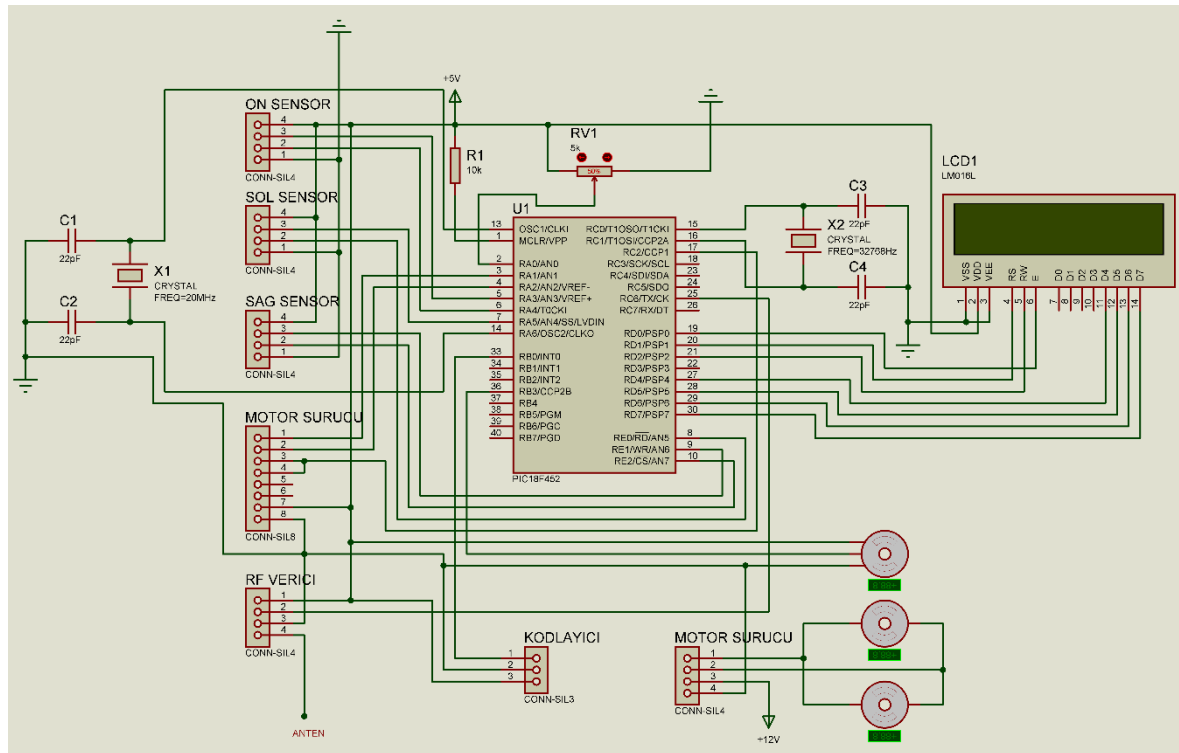
3.7.2. Proteus devre benzetim programı

Labcenter Electronics tarafından üretilen bir devre benzetim programı olan Proteus PIC mikrodenetleyicileri ile çalışanların en çok tercih ettikleri benzetim programıdır. Bir önceki bölümde CCS C derleyicisinin ülkemizde yaygınlaşmasına neden olarak gösterilen unsurlar Proteus için de geçerlidir.

Bu çalışmada ihtiyaç duyulan benzetimleri gerçekleştirmek için programın 8. sürümü kullanılmıştır. Program temel olarak iki bölüme ayrılmaktadır. İlk devrelerin sanal modellerinin kullanılarak elektronik devre çiziminin, benzetimi ve analizinin yapıldığı kısım olan ISIS'tır. Oldukça geniş bir kütüphaneye sahip olan bu programda neredeyse gerekli bütün devre elemanlarının sanal modellerini bulmak mümkündür. Bulunamayan yeni üretilmiş parçalar olursa bunların verilerini internette forum sitelerinden bulmak ve sisteme entegre etmek mümkündür.

Proteus programının ikinci kısmı ise hazırlanmış olan elektronik devrelerin baskılı devrelerini elde etmek amacıyla kullanılan baskı devre çizim programı olan ARES'tir. ISIS'ta hazırlanmış olan elektronik devrelerin bilgileri kolaylıkla ARES programına aktarılır ve program sizi özgün baskı devrenizi hazırlamanız için yönlendirir.

Şekil 3.18'de proje için hazırlanan elektronik devre çizimi görülmektedir.



Şekil 3.18. Projenin Proteus'ta hazırlanmış elektronik devre çizimi

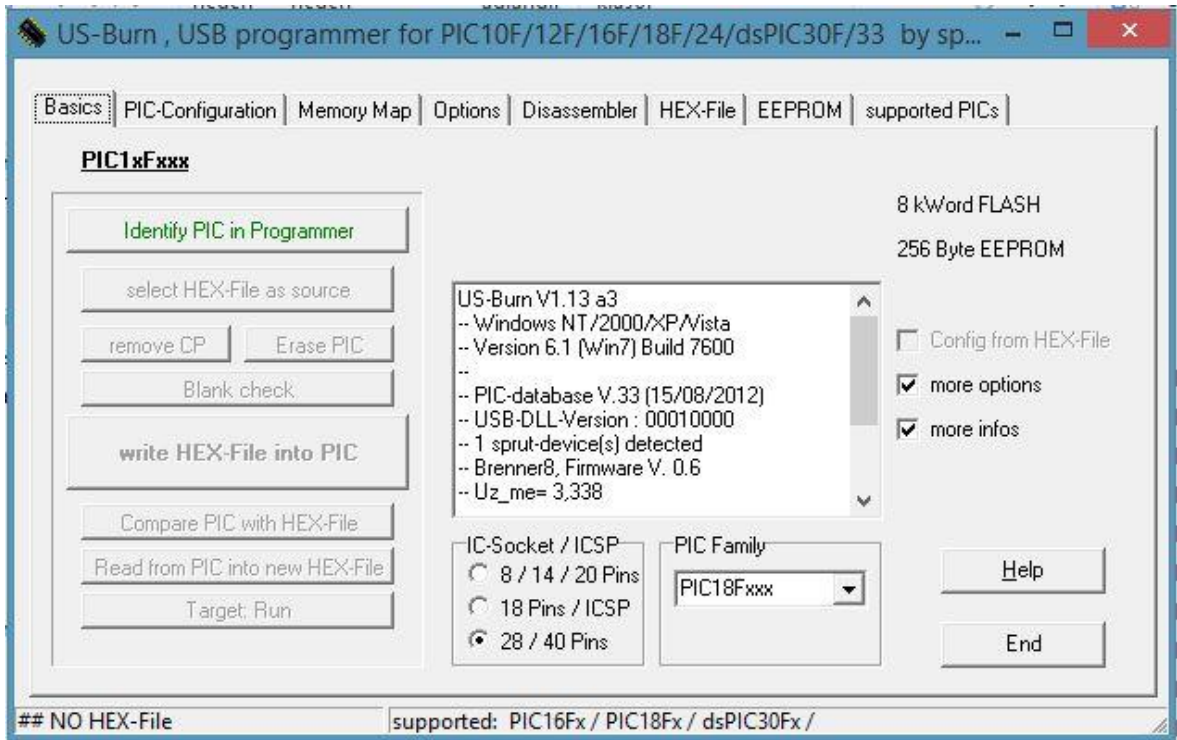
3.7.3. Programlayıcı ve Usburn

CCS C derleyicisinde derlenen C programları HEX uzantılı bir çıktı üretirler. Bu HEX çıktıları C dili ile yazılmış programların mikrodenetleyicinin anlayacağı biçime dönüştürülmüş halidir. HEX dosyalarını mikrodenetleyiciye aktarmak amacıyla Resim 3.25'te görülen gibi bir programlayıcıya ihtiyaç vardır.



Resim 3.25. Programlayıcı donanımı

Programlayıcının ilgili HEX dosyasını aktarabilmesi için Usburn isimli ara yüzü Resim 3.26’da görülen yazılım kullanılmaktadır.



Resim 3.26. Usburn programlayıcı yazılımı

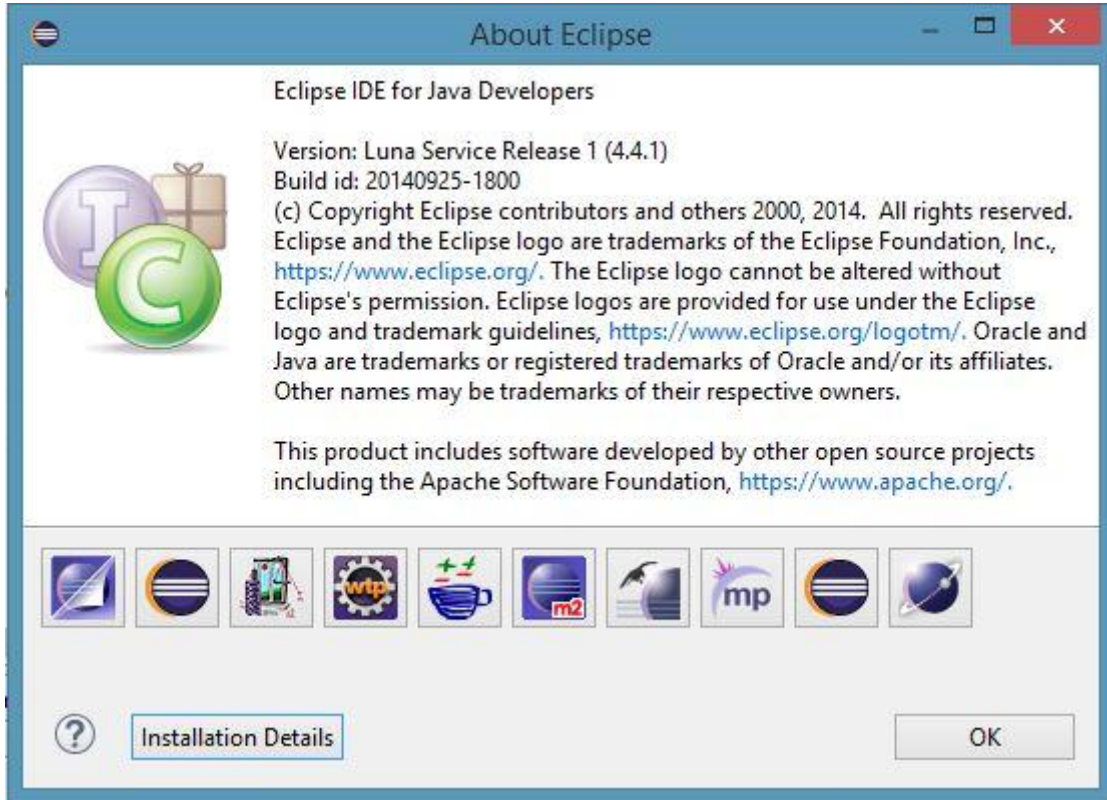
Usgurn yazılımı HEX dosyalarını çeşidine göre uygun bir şekilde mikrodnetleyiciye aktarır. Aynı zamanda aktarılmış dosyanın doğru bir şekilde aktarıldığını da denetler. Bu işlemlerin yanı sıra mikrodnetleyicinin içindeki kodları ve hafızasındaki bilgileri de okumak için Usburn programı kullanılabilmektedir.

3.7.4. Microsoft Excel ile grafiklerin oluşturulması

Aracın sensörlerinden, kodlayıcıdan ve potansiyometreden gelen bilgileri ve mikrodenetleyicinin üretilen motorlara ilettiği PWM sinyalleri bilgileri RF modülü ile her saniyede bir kere bilgisayara iletilmektedir. Bu bilgiler RS232 ara yüzünden bir dönüştürücü ile bilgisayarın COM portuna yönlendirilmekte ve bilgisayar tarafından dinlenmektedir. Daha sonra bu bilgiler Microsoft Excel'e aktarılarak istenilen tablolar ve grafikler çıkarılmaktadır.

3.7.5. Eclipse Java ile kod optimizasyonu

Ana program kodu üretilirken çeşitli modüllerin geliştirilmesi aşamalarında denemeler yapmak için Eclipse derleyicisi kullanılmıştır. Bu programın kullanılmasının ana sebebi CCS C derleyicisinden çok daha gelişmiş hata bulma ve giderme imkânı vermesi ve Java dilinde yazılmış kodların C diline dönüştürülmesinin oldukça kolay olmasıdır. Resim 3.27'de görüleceği üzere Eclipse'nin Java geliştiricileri için hazırlanan Luna sürümü kullanılmıştır.



Resim 3.27. Eclipse Java

3.7.6. MATLAB ile kontrol yönteminin geliştirilmesi

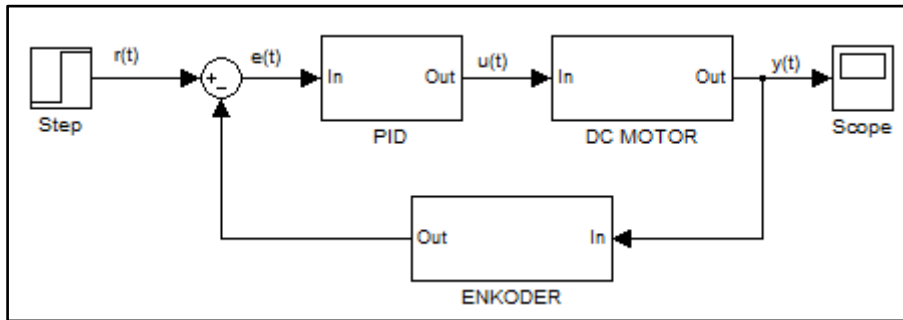
Bütün mühendislik bölümlerinin araştırma uygulamalarının bir noktasında mutlaka bulunan MATLAB oldukça fazla sayıda araç kutusuna sahiptir. Bu çalışmada MATLAB'ın “Kontrol Sistem Araç Kutusu” ve “Bulanık Mantık Araç Kutusu”ndan faydalanılmıştır.

Simulink MATLAB'ın benzetim ortamıdır. Sistemleri görsel olarak kutularla tasarlamaya ve benzetimlerini yapmaya yarar. Sürükle bırak yöntemi ile sistemler kurulur ve değişik giriş değerlerine göre çıkışları gözlenir. Geniş bir kütüphanesi bulunmaktadır. Bu projede MATLAB, PID katsayılarının üretilmesi çalışmalarında kullanılmıştır.

3.8. PID Denetleyici

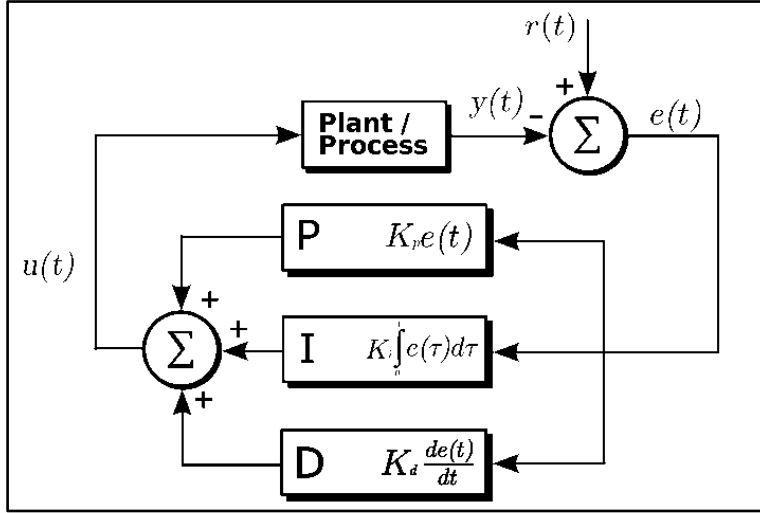
PID (Proportional, Integral, Derivative) oransal, integral ve türev kelimelerinin baş harflerinden meydana gelen kontrol döngüsü yöntemidir. Endüstriyel sistemlerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Temel işlevi pürüzsüz, salınımsız, hızlı çıktılar üretmektir.

Bir PID denetleyici olması gereken değeri referans olarak kabul eder, gerçekte olan durumu bu referans değerinden çıkararak hata sinyalini bulur. Şekil 3.19'da PID kontrol yöntemi ile DC motorun hız kontrolüne ilişkin blok diyagramı görülmektedir.



Şekil 3.19. PID kontrol ile DC motorun hız kontrolü blok diyagramı

Blok diyagramdaki PID kutusunun daha açık gösterimi Şekil 3.20'de görülmektedir.



Şekil 3.20. PID'nin yapısı

Burada $u(t)$ PID çıkışındaki sinyali, $y(t)$ motor çıkışındaki sinyali, $r(t)$ referans sinyalini ve $e(t)$ ise referans sinyali ile gerçek durum arasındaki farkı yani hata sinyalini ifade eder. Bu ifadeler denklemler ile şöyle ifade edilir;

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int e(t) dt + K_d \frac{d}{dt} e(t) \quad (3.4)$$

$$e(t) = r(t) - y(t) \quad (3.5)$$

Eş. 3.4'teki türev ve integral terimlerini hesaplayabilmek için gerekli zaman farkı mikrodenetleyicinin sayıcısı aracılığı ile hesaplanmaktadır. Geri besleme elemanlarından sabit zaman aralıkları ile motor hızı ölçülüp referans sinyalinden çıkarılır ve hata sinyali elde edilir. Elde edilen iki hata sinyali arasındaki fark türevi, bu hata sinyallerinin toplamı da integrali verir. Denklemin bu tezde kullanılan pratik dijital formu ise şu şekildedir;

$$u[k] = U_0 + K_p e[k] + K_i \sum_0^k e[k-2] + K_d (e[k] - e[k-1]) \quad (3.6)$$

Eş. 3.4 ve şekil 3.21'de görüldüğü gibi PID çıkışındaki $u(t)$ sinyalini hesaplamak için sisteme uygun olarak seçilmiş K_p , K_i ve K_d değerleri gerekmektedir. Bu katsayıların kapalı döngülü bir sisteme etkileri Çizelge 3.1'de özetlenmiştir [60].

Çizelge 3.1. K_p , K_i ve K_d katsayılarının çıkış sinyaline etkileri [60]

Katsayı	Yükselme Zamanı	Aşma	Yatışma Zamanı	Kalıcı Durum Hatası
K_p	Azalır	Artar	Az Değişir	Azalır
K_i	Azalır	Artar	Artar	Yok Eder
K_d	Az Değişir	Azalır	Azalır	Az Değişir

Oransal terim hesabı: Oransal terim, hata sinyali $e(t)$ 'nin bir katsayı ile (K_p) çarpılması sonucu elde edilir. Hata büyüdükçe oransal olarak daha yüksek değerler üretir ve hatayı azaltır. Sinyalin yükselme zamanını azaltmaya yardımcı olur. Eğer K_p gereğinden yüksek seçilirse salınma yaratır.

$$\text{Oransal Terim} = K_p e(t) \quad (3.7)$$

İntegral terim hesabı: İntegral terim, hata sinyali $e(t)$ 'nin integralinin bir katsayı (K_i) ile çarpılması sonucu elde edilir. Hatanın alanını bulmaya yarar. Çıkış sinyalinin frekansını hatanın integralini alarak düzeltir. Kalıcı durum hatasını tamamen ortadan kaldırabilir. Eğer K_i gereğinden yüksek seçilirse büyük aşmaya sebep olur.

$$\text{İntegral Terim} = K_i \int e(t) dt \quad (3.8)$$

Türev terim hesabı: Türev terim, hata sinyali $e(t)$ 'nin türevinin bir katsayı (K_d) ile çarpılması sonucu elde edilir. Hatadaki değişimin zamandaki değişime oranını ifade eder. Hatada bir değişim yoksa türev sıfır olur. Sistemlerde gecikmeleri azaltmak için kullanılır. Doğru değerler seçildiğinde sistemi kararlı hale getirir. Oransal ve integral terimlerinin ürettikleri salınımı azaltır. Eğer K_d gereğinden yüksek seçilirse geçici tepkiyi yavaşlatır.

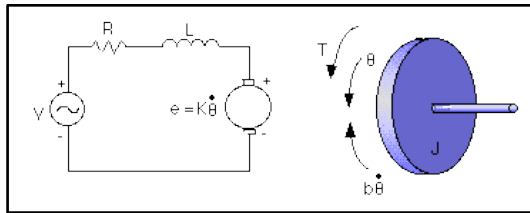
$$\text{Türev Terim} = K_d \frac{d}{dt} e(t) \quad (3.9)$$

3.8.1. MATLAB ile Katsayıların Hesaplanması

Oransal, integral ve türev katsayıları olan K_p , K_i ve K_d değerlerinin hesaplanması PID konusunda kilit meseledir. Her sistemin kendine uygun değerleri bulunmaktadır. Bu değerlerin en iyi hale getirilmesi için çeşitli teknikler geliştirilmiştir. Ziegler-Nichols [61], Tyreus-Luyben [62], Cohen-Coon [63], Astrom-Hagglund [64] metotları başlıca katsayıları ayarlama yöntemlerindendir. Bu metotların yanında deneme yanılma ile de etkin bir sonuca ulaşılabilmektedir. PID katsayılarının elle ayarlanması şu adımlar izlenerek yapılmaktadır;

- 1- K_i ve K_d değerleri sıfır olarak verilir
- 2- K_p değeri döngünün çıkışı osilasyon yapana kadar yükseltilir, ardından K_p değeri bu değerin aşağı yukarı yarısına eşitlenir.
- 3- Ardından K_i değeri döngü çıkışı istenilen zamanda istenilen değere gelene kadar yükseltilir. Ancak K_i değerinin çok fazla yükseltilmesi kararsızlığa neden olabilir.
- 4- Son olarak K_d değeri döngü çıkışı istenilen kadar hızlı bir şekilde denge değerine gelene kadar yükseltilir.

Bu anlatılan yöntem MATLAB ortamında denenmiş ve K_p , K_i ve K_d değerleri hesaplanmıştır. Ancak fiziksel bir sistem olan DC motorun MATLAB ortamında çalıştırılabilmesi için parametrelerinin programa tanımlanması gerekecektir [65]. Şekil 3.21’de bir DC motorun yapısı görünmektedir.



Şekil 3.21. Standart bir DC motorun içyapısı

Bu örnekte motorun fiziksel parametreleri şunlardır;

J: Rotorun eylemsizlik momenti – kg.m^2

b: Mekanik sistemin sönümlleme oranı – N.m.s

K_e : Elektromotor güç sabiti – V/rad/sec

K_t : Motor tork sabiti – N.m/Amp

R : Elektrik Direnç - Ohm

L : Elektrik Endüktans – H

Genellikle DC motor tarafından üretilen tork uygulanan akıma ve manyetik alanın gücüne göre değişir. Bu hesaplamada manyetik alan sabit alınmış olup bu nedenle motor torku yalnızca uygulanan akıma K_t sabiti ile bağlı olmuştur.

$$T = K_t i \quad (3.10)$$

Elektromotor kuvveti e ; K_e sabiti ile şaftın açısal hızına bağlıdır.

$$e = K_e \dot{\theta} \quad (3.11)$$

SI birim sisteminde motor torku ve elektromotor kuvveti sabitleri eşittir. Yani $K_e = K_t$ 'dir. Bu nedenle her iki sabit için de K kullanılacaktır. Şekil 3.21'deki yapıdan Newton'un 2. kanunu ve Kirchhoff'un voltaj kanununa göre şu eşitlikler çıkarılır;

$$J\ddot{\theta} + b\dot{\theta} = Ki \quad (3.12)$$

$$L \frac{di}{dt} + Ri = V - K\dot{\theta} \quad (3.13)$$

Bu eşitliklere Laplace dönüşümü uygulanırsa;

$$s(Js + b)\theta(s) = KI(s) \quad (3.14)$$

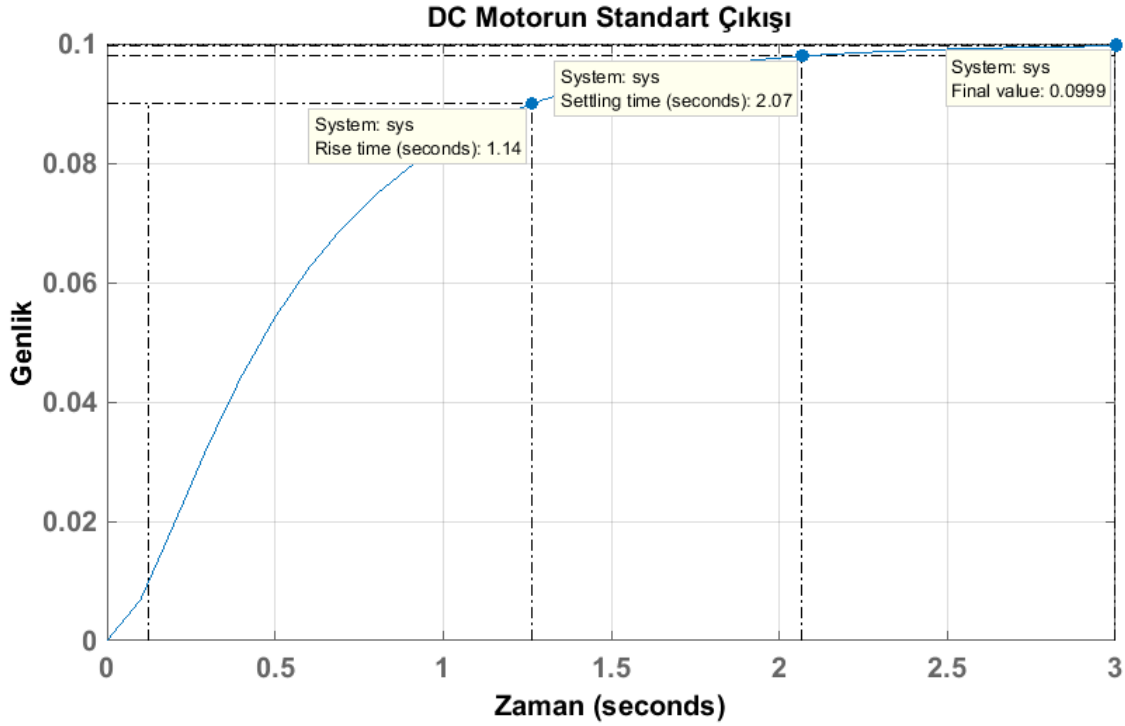
$$(Ls + R)I(s) = V(s) - Ks\theta(s) \quad (3.15)$$

çıkarılır. Bu iki denklem $I(s)$ yok edilerek birleştirilirse;

$$P(s) = \frac{\dot{\theta}(s)}{V(s)} = \frac{K}{(Js + b)(Ls + R) + K^2} \quad (3.16)$$

olarak çıkarılır.

Bu eşitlik kullanılarak MATLAB’da yazılan kodun sonucu olarak Şekil 3.22 ve Şekil 3.23’teki grafikler türetilmiştir.

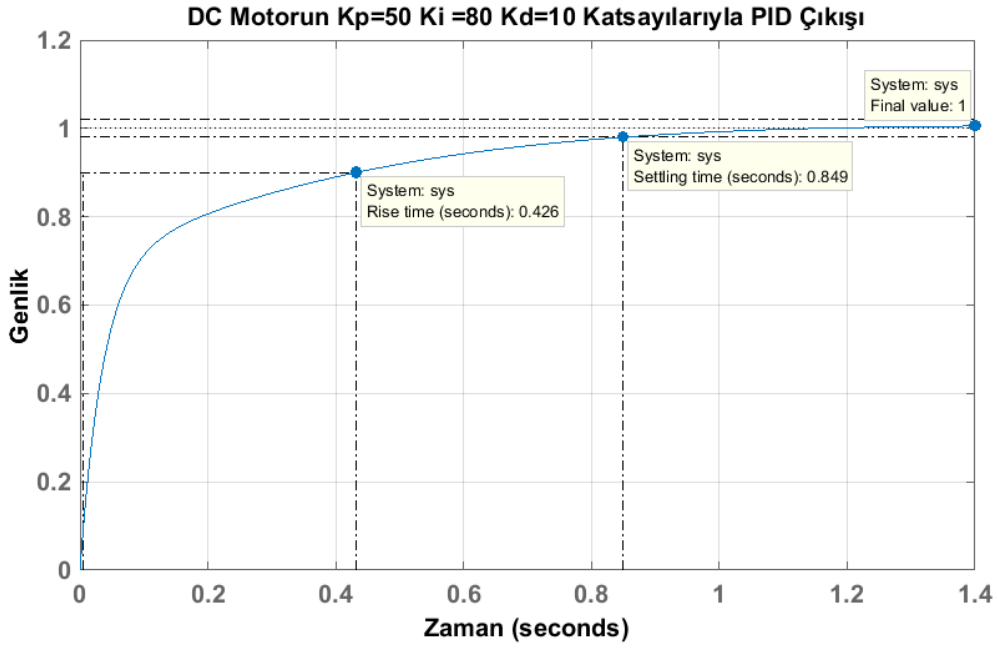


Şekil 3.22. MATLAB ortamında DC motorun standart çıkış grafiği

Öyle bir PID katsayıları tanımlayalım ki aşağıda sıralanan 3 durumu da karşılasın;

- Yatışma süresi 1 saniyeden kısa,
- Aşma oranı %2’den az,
- Kalıcı durum hatası %1’den az.

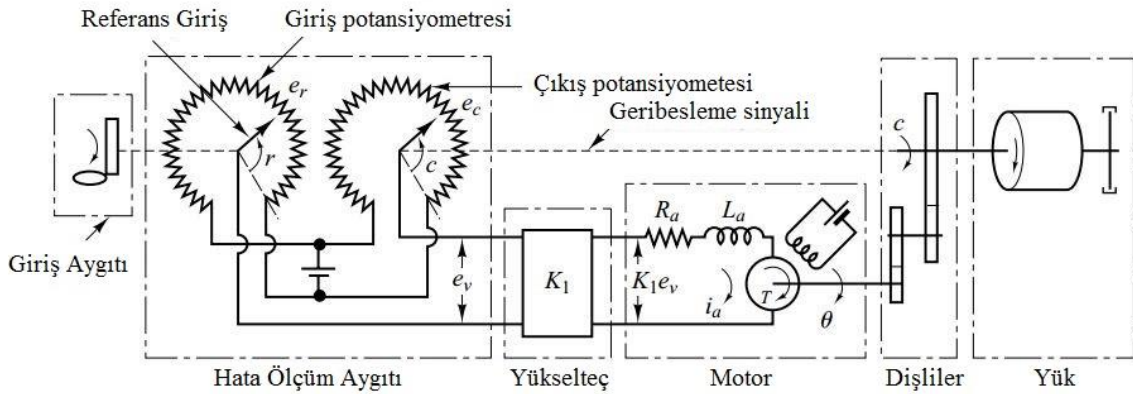
Yukarıda anlatılan PID katsayılarının ayarlanması adımları uygulanarak K_p , K_i ve K_d değerleri sırasıyla 50, 80 ve 10 olarak belirlenmiştir. Sonuç olarak şekil 3.23’te görülen nitelikte bir çıkış elde edilmiştir.



Şekil 3.23. MATLAB ortamında DC motorun $K_p=50$, $K_i=80$ ve $K_d=10$ olduğunda çıkışı

Servo motor için katsayıların belirlenmesi

Yukarıda anlatılan işlemlerin benzerleri servo motor için de yapılabilir. Şekil 3.24'te bir servo motorun tasarımı görülmektedir [66].



Şekil 3.24. Bir servo motorun içyapısı

Bir önceki DC motor örneğinde olduğu gibi motorun matematik modellemesinin çıkarılması gerekmektedir. K_2 motor tork sabiti, i_a uygulanan akım, e_b elektromotor kuvvet, K_3 motorun elektromotor sabiti ve θ motor şaftının açısal yer değiştirmesi olmak üzere;

$$T = K_2 i_a \quad (3.17)$$

$$e_b = K_3 \frac{d\theta}{dt} \quad (3.18)$$

olur. DC servo motorun hızı uygulanan gerilime göre değişir. (e_a) Uygulanan gerilim $e_a = K_1 e_v$ 'dir. Bu devre için eşitlik aşağıdaki gibidir.

$$L_a \frac{di_a}{dt} + R_a i_a + e_b = e_a \quad (3.19)$$

veya

$$L_a \frac{di_a}{dt} + R_a i_a + K_3 \frac{d\theta}{dt} = K_1 e_v \quad (3.20)$$

Tork eşitliği J_0 motorun, yükün ve dişlilerin eylemsizlik kuvveti kombinasyonu ve b_0 motorun, yükün ve dişlilerin mekanik sistem sönümlleme oranı olmak üzere;

$$J_0 \frac{d^2\theta}{dt^2} + b_0 \frac{d\theta}{dt} = T = K_2 i_a \quad (3.21)$$

olur. Eş. 3.20 ve Eş. 3.21 denklemlerinden i_a yok edilirse;

$$\frac{\dot{\theta}(s)}{E_v(s)} = \frac{K_1 K_2}{s(L_a s + R_a)(J_0 s + b_0) + K_2 K_3 s} \quad (3.22)$$

olur. Motor dişli çark takımının dişli oranını motor şaftının her dönüşünde n kere dönüyor olarak kabul edersek;

$$C(s) = n\dot{\theta}(s) \quad (3.23)$$

ve

$$E_v(s) = K_0 [R(s) - C(s)] = K_0 E(s) \quad (3.24)$$

olur. Transfer fonksiyonu Eş. 3.22, Eş. 3.23 ve Eş. 3.24 denklemlerinden şu şekilde çıkarılır;

$$G(s) = \frac{C(s)}{\dot{\theta}(s)} \frac{\dot{\theta}(s)}{E_v(s)} \frac{E_v(s)}{E(s)} = \frac{K_0 K_1 K_2 n}{s[(L_a s + R_a)(J_0 s + b_0) + K_2 K_3]} \quad (3.25)$$

Burada L_a küçük olduğu için ihmal edilebilir ve $G(s)$ şu şekle dönüşür;

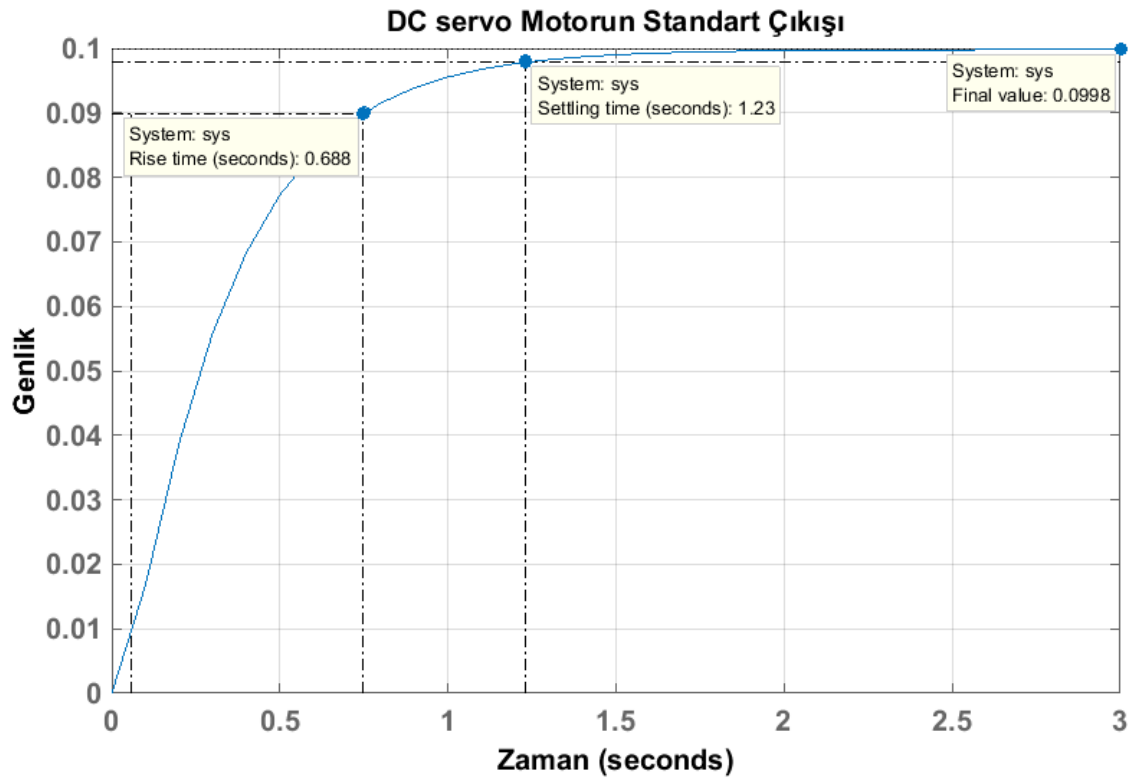
$$G(s) = \frac{K_0 K_1 K_2 n}{s[(R_a)(J_0 s + b_0) + K_2 K_3]} \quad (3.26)$$

$$= \frac{K_0 K_1 K_2 n / R_a}{J_0 s^2 + \left(b_0 + \frac{K_2 K_3}{R_a}\right) s} \quad (3.27)$$

olur. $J = J_0 n^2$ çıkış şaftının eylemsizlik momenti, $B = [b_0 + (K_2 K_3 / R_a)] / n^2$ çıkış şaftının sönümlleme oranı, $K = K_0 K_1 K_2 / n R_a$ olmak üzere transfer fonksiyonu şu hale dönüşür;

$$G(s) = \frac{K}{J s^2 + B s} \quad (3.28)$$

Bu eşitlik kullanılarak MATLAB’da yazılan kodun sonucu olarak Şekil 3.25 ve Şekil 3.26’daki grafikler türetilmiştir.

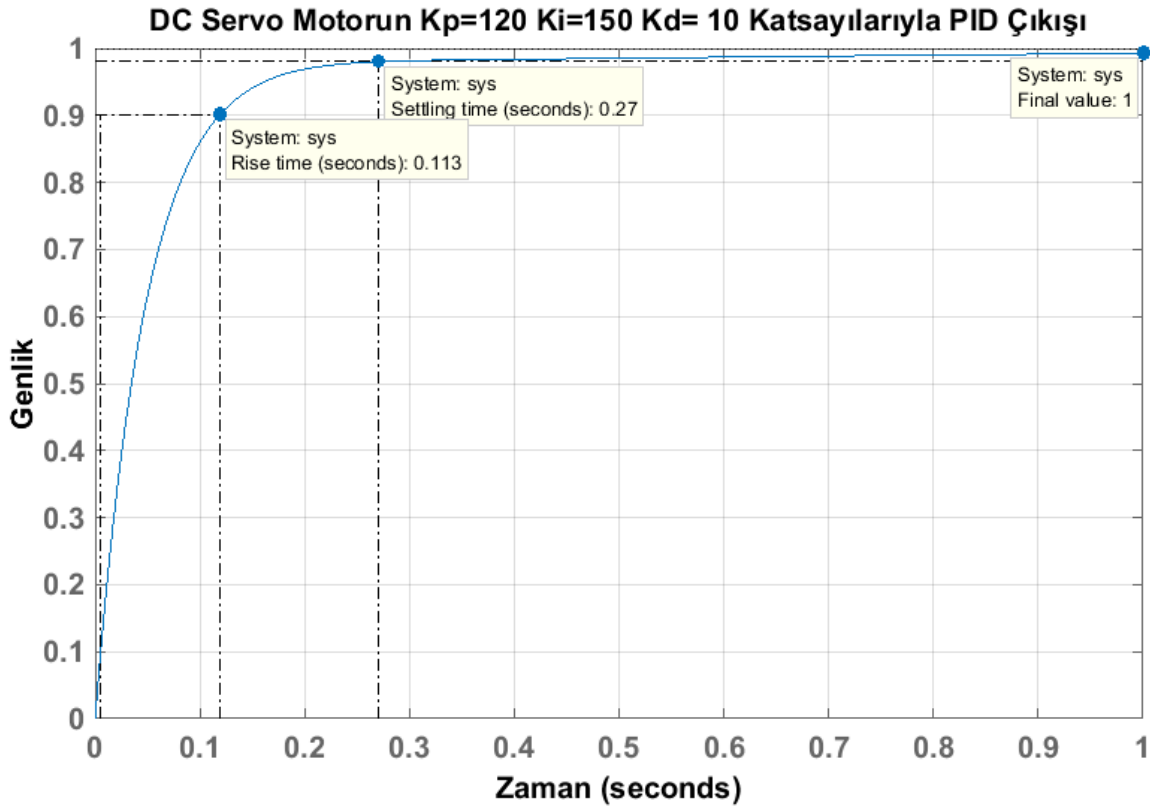


Şekil 3.25. MATLAB ortamında DC servo motorun standart çıkışı

Öyle bir PID katsayıları tanımlayalım ki aşağıda sıralanan 3 durumu da karşılasın;

- Yatışma süresi 0,4 saniyeden kısa,
- Aşma oranı %1'den az,
- Kalıcı durum hatası %1'den az.

Yukarıda anlatılan PID katsayılarının ayarlanması adımları uygulanarak K_p , K_i ve K_d değerleri sırasıyla 120, 150 ve 10 olarak belirlenmiştir. Sonuç olarak şekil 3.26'de görülen nitelikte bir çıkış elde edilmiştir.



Şekil 3.26. MATLAB’da DC servo motorun $K_p=120$, $K_i=150$ ve $K_d=10$ olduğunda çıkışı

3.9. Bulanık Mantık

Bulanık mantık bu çalışmadaki kontrol sisteminin temelini oluşturmaktadır. PID kontrol mekanizması daha çok geçişlerin düzgün ve pürüzsüz olması için yapılmış olup, ana karar verici kontrol sistemi bulanık mantık ile gerçekleştirilmiştir. Bu bölümde öncelikle bulanık mantık konusu işlenecek daha sonra bu çalışma için hazırlanan üyelik fonksiyonları ve bulanık mantık kurallarına yer verilecektir.

3.9.1. Bulanık mantık nedir?

İnsanlar günlük hayatlarında kararlar alırken sürekli olarak bulanık mantık kullanırlar. Bilgisayarlardan farklı olarak, belirsizlik içeren durumlarda yaklaşık düşünme yeteneği ile doğru davranışlarda bulunabilmektedirler.

Bulanık mantık konusunda ilk çalışmalar 1965 yılında Kaliforniya Berkeley Üniversitesinde çalışan bir Azerbaycanlı bilim adamı Lütü Aliasker Zade tarafından ortaya

konulmuştur. Fikir, uzun yıllar batı dünyasında şüphe ile karşılanmış oldukça yoğun eleştiri almıştır. Fikri eleştiren araştırmacılar bulanık mantığın bilimsel ilkelere uymadığını hatta bilime karşı geldiğini ileri sürmüştür. Bunun ana sebebi batıda “Aristo Mantığı” olarak adlandırılan düşünce sisteminin yerleşmiş olmasıdır. Aristo mantığında iki değer arasında başka seçeneklere yer verilmez. Şekil 3.27’de görüldüğü gibi Aristo mantığında doğru ve yanlış keskin bir şekilde ayrılır. Ancak bulanık mantık düşüncesinde doğru ile yanlış arasında sonsuz gri ton bulunmakta olduğu göz ardı edilmez.



Şekil 3.27. Aristo mantığı ve bulanık mantığın farkı

70’li yıllarda Japonya, Malezya, Kore, Hindistan gibi doğu ülkelerinde bulanık mantık benimsenmiş ve üzerinde ciddi çalışmalar yapılmaya başlanmıştır. Ancak ilk sıçrama 1975 yılında Mamdani ve Assilian tarafından buhar makinesi kontrolünün bulanık bir sistem ile tasarlanması ile olmuştur. Bu çalışma ile bulanık mantık ile çalışmanın kolay ve sonuçlarının da oldukça etkili olduğu ortaya konmuştur. İzleyen yıllarda birçok fabrika ve tesis hem kendi işletmelerinde hem de ürettikleri cihazlarda bulanık mantığı kullanmaya başlamıştır. Bunların arasında en ilgi çekici olanı 1987’ye gelindiğinde Japon metrolarında bulanık mantığın kullanılması olmuştur. Bunun sonucu olarak metroda çok rahat bir seyahat, çok daha düzgün bir yavaşlama ve hızlanma sağlanmıştır. Klasik denetleyicilerde programlama çok kesin yapıldığı için oluşan sarsıntılar bulanık mantıkla giderilmiştir.

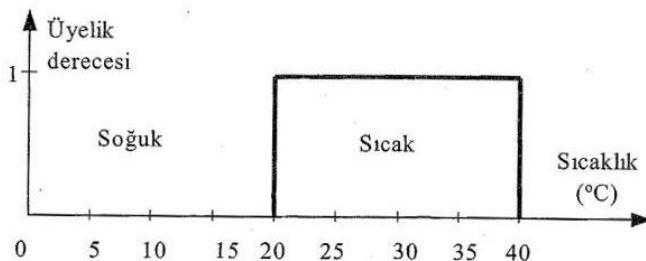
90’lı yılların başlarından itibaren bulanık mantık ürünleri artık bütün evlerde yaygınlaşmaya başlamış, klasik mantık ile tasarlanmış sistemlere göre verim ve tasarruf konularında ciddi gelişimler sağlamıştır. Kameralardan, bulaşık ve çamaşır makinelerine, mikrodalga fırınlardan bilgisayarlara tüketici elektroniği alanında oldukça geniş bir yere sahip olmuştur.

3.9.2. Bulanık mantık neden kullanılmalıdır?

Bulanık mantık bir istatistik yöntemi değildir. İstatistikte tamamen şansa dayalı bir rastgelelik söz konusu olmaktadır. Ancak bulanık mantıkta bir rastgelelik yoktur. Bulanık mantık, incelenen olayın karmaşıklığı karşısında yeterli bilginin olmaması durumunda kişilerin uzman görüşleri ile hareket edilmesini esas alır.

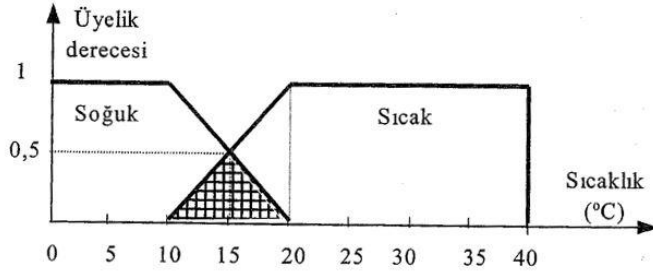
İnsanoğlu dillerin var oluşundan beri sözlü iletişim kurmaktadır. Bu sözlü iletişim ile belirsizlikler olsa bile anlaşabilmekte ve bir takım ürünler ortaya koyabilmektedir. Bulanık mantık konusu anlatılırken genellikle bütün kaynaklar hava sıcaklığı örneğini verir. Bu örnekte bir kişi “hava sıcak” dediğinde herkes hava kelimesi ile ne demek istendiğini kesin olarak anlamakta ancak sıcak kelimesinin herkese göre izafi olacağı açıktır. Ülkemizde yaşayan 10 kişiye sorulduğunda derecelerin 34°C 'yi gösterdiği durumda bir kısmı “sıcak” şeklinde cevap verecek, bir kısmı ise “çok sıcak” şeklinde cevap verecektir. Ancak kutuplarda yaşayan kişilere dereceler 14°C 'yi gösterdiğinde alınacak olan cevap da “sıcak” veya “çok sıcak” olacaktır. Burada ortaya çıkan durum bir çelişki değildir.

Hava sıcaklığı örneğini biraz daha geliştirmek istersek, ülkemizde yaşayan kişilere dereceler 25°C 'yi gösterdiğinde havanın nasıl olduğu sorulursa, sorulan kişilerden bir kısmı “gayet güzel” cevabını verecek, bir kısmı “sıcak” olduğunu söyleyecek bir kısmı ise “serin” şeklinde cevap verecektir. Burada da bir çelişki bulunmamaktadır. Zira insan oldukça karmaşık bir sistem olduğundan ve her bir insan yegâne olduğundan her birinden farklı bir cevap gelmesi olması gereken sonuçtur. Eğer bulanık mantık ile değil Aristo mantığı ile hareket edilse idi örneğin 24°C serin şeklinde ifade edilirken, 25°C sıcak olarak ifade edilecekti. İşte bulanık mantık, insanlardaki bu özelliği makinelerin de kullanabilmesi için imkân vermektedir. Şekil 3.28’de klasik mantık kullanıldığında oluşacak keskin küme örneği bulunmaktadır.



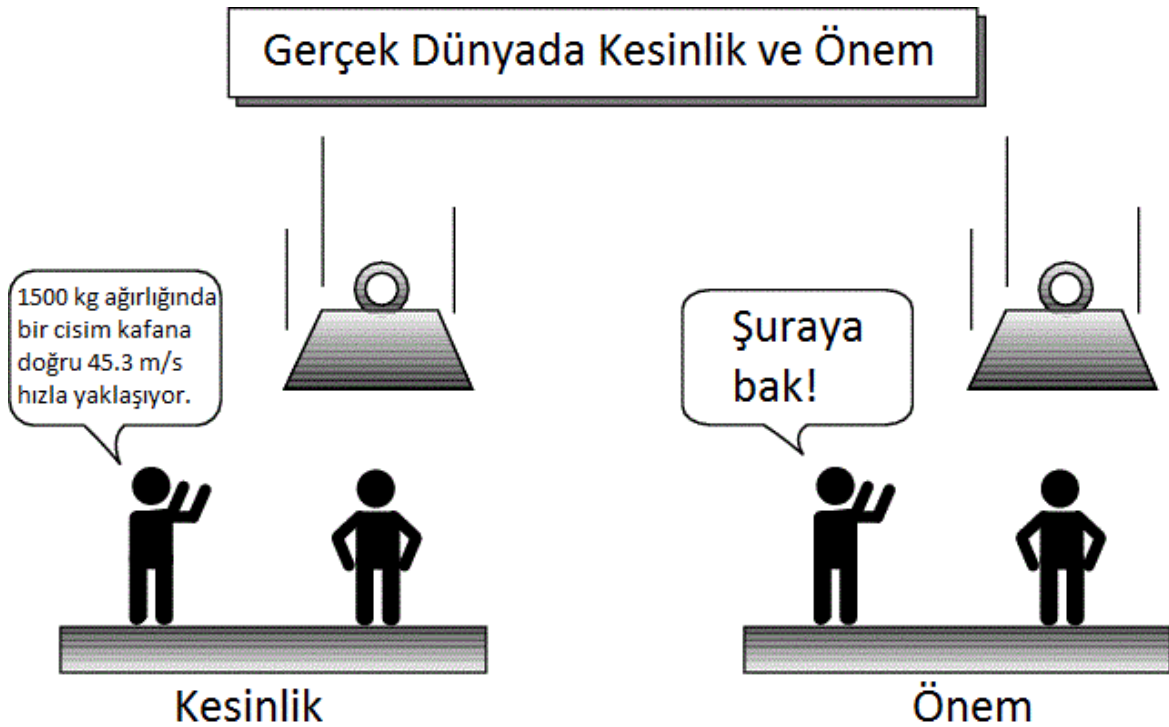
Şekil 3.28. Klasik mantık uygulandığında sıcak – soğuk grafiği

Şekil 3.29’da ise aynı durumun bulanık mantık ile ifade edilmesi şekli olan üyelik fonksiyonları görülmektedir.



Şekil 3.29. Bulanık mantık uygulandığında sıcak – soğuk grafiği

Mühendislik uygulamalarında kesinlik istenen durumlar için uğraşılması durumunda muhtemel maliyetin ve harcanması gereken zamanın artması söz konusudur. Kesinlik ile maliyet arasında doğru orantı bulunur. Bununla birlikte çözümler zorlaşmakta ve karmaşıklığı artmaktadır. Bunun sonucu olarak da hata riski büyümektedir. Şekil 3.30’da görülen durum gerçek dünyada kesin bilgidен daha çok o durumda önemli olanın daha geçerli olduğunu anlatıyor.

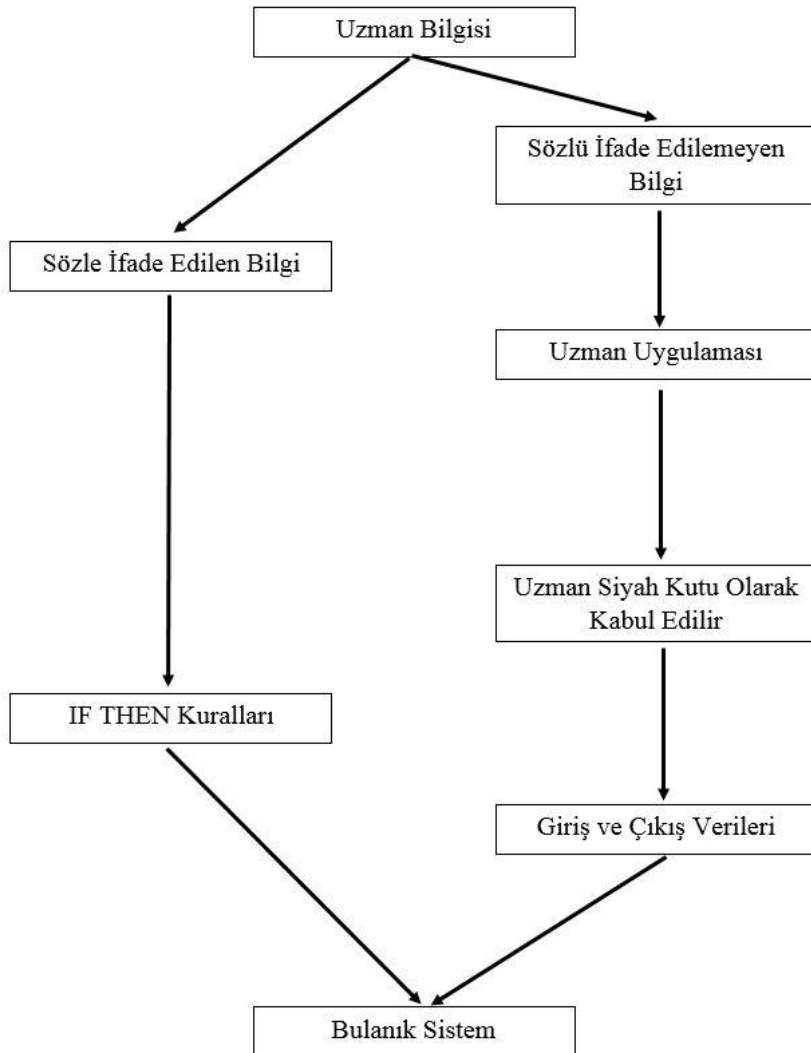


Şekil 3.30. Gerçek dünyada “kesinlik” ve “önem” farkı

Bulanık mantık arkasındaki matematiği anlaması ve uygulaması kolaydır. Bulanık mantık karmaşıklık içeren sistemlerde ve doğrusal olmayan fonksiyonlarda kullanılabilir. Bulanık mantık klasik mantığın kullanıldığı her alanda kullanılabilir. Ayrıca klasik mantık sistemleri ile harmanlanarak da kullanılabilir. Bulanık mantık doğal dil üzerine temellendirildiği için bir sistemi ilk defa görmüş birinin bile kısa sürede sistemi anlamasına yardımcı olur.

3.9.3. Bulanık mantık nasıl kullanılır?

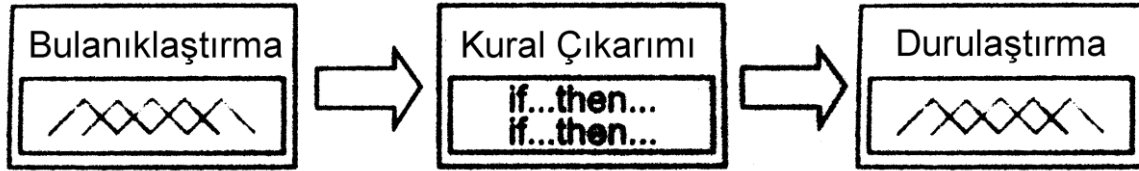
Bir sistem ele alınırken yapılacak ilk şey sistemin giriş parametrelerinin ve istenilen çıkışlarının belirlenmesidir. Bu parametreler temel alınarak bir sonraki adıma geçilecektir. Şekil 3.31’de giriş ve çıkış bilgisinden bir bulanık sistemin tasarımı gösterilmiştir.



Şekil 3.31. Giriş ve çıkış bilgilerinden bir bulanık sistemin tasarımı

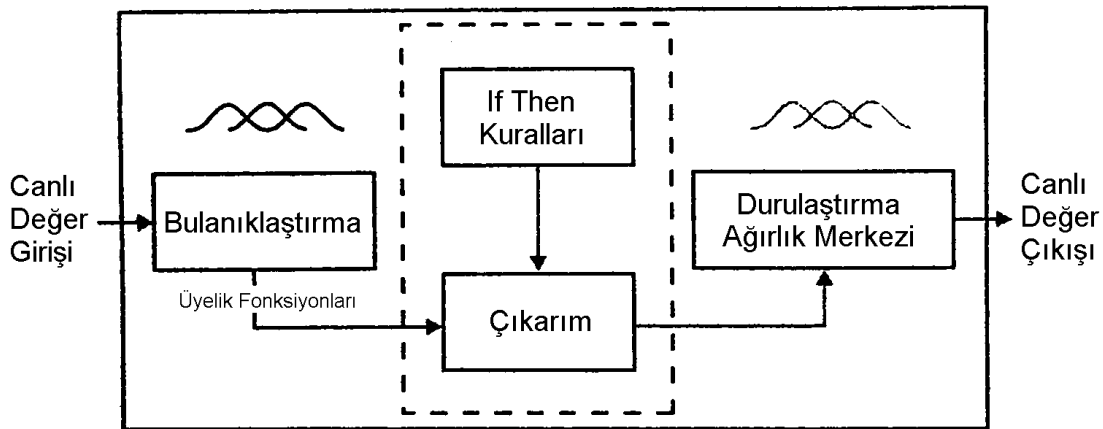
Klasik küme teorisinde her bir eleman bir kümeye tam üyedir ya da değildir. Ancak bulanık mantıkta elemanların kümelere kısmî olarak üyelikleri mümkündür. Elemanların kümelere üyelik derecelerinin belirlendiği üyelik fonksiyonları çizilir. Giriş değerlerinin üyelik fonksiyonları çizilerek bulanık mantığın ilk aşaması olan bulanıklaştırma için hazırlanır.

Bulanık mantık sistemi temel olarak üç aşamadan oluşur. Bunlar Şekil 3.32’de görüldüğü gibi ilk olarak giriş değerlerinin bulanıklaştırılması, ikinci adım olarak kural çıkarımı yardımı ile belirli kararlar alınması ve son olarak bulanık verinin sistem tarafından kullanılabilir olması için durulaştırılması, netleştirilmesidir.



Şekil 3.32. Bulanık mantık uygulama adımları

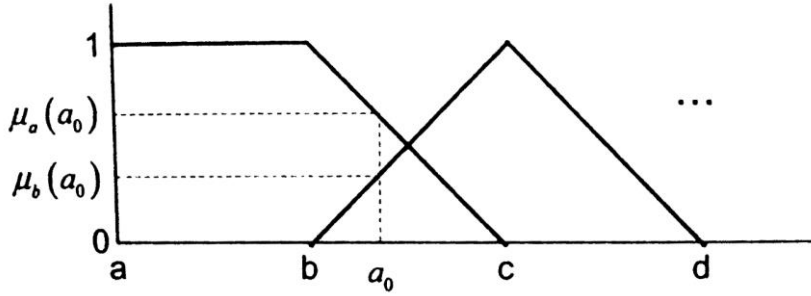
Sistemin daha açık görünümü Şekil 3.33’te görülmektedir. Burada net, canlı değerlerin (crisp values) üyelik fonksiyonlarının oluşturulması ve kural tabanına girerek sonuçlar çıkarılması ve ardından çıkan bulanık sonuçların durulaştırma (netleştirme) işlemine tabi tutularak tekrar makinelerin kullanabileceği net değerlere dönüştürülmesi işlemleri ifade edilmiştir.



Şekil 3.33. Bulanık mantık uygulama blok diyagramı

Bulanıklaştırma

Net değerlerin bulanık değerlere dönüştürülmesi amacıyla bu değerlerin üyelik fonksiyonlarındaki üyelik dereceleri belirlenir. Şekil 3.34'te a_0 net değerine karşılık gelen $\mu_a(a)$ ve $\mu_b(a)$ üyelik derecelerini göstermektedir.



Şekil 3.34. Bir giriş değerinin üyelik derecelerinin gösterimi

Kural çıkarımı

Üyelik değerleri girişlerden elde edildikten sonra, IF THEN kuralları çıkarılır. Örnek olarak, a, b ve c net giriş değerleri, x, y ve z girişlerin ilişkili olduğu bulanık kümeler ve w netleştirme işlemi için kullanılacak olan bulanık çıkış kümesi olmak üzere;

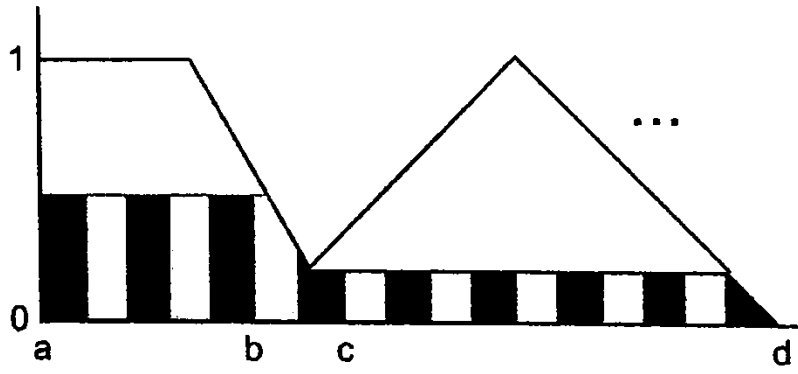
IF a, x ise, b, y ise ve c, z ise THEN w

şeklindedir. Kaç tane kural gerektiğine sistem tasarımcısı karar verir.

Netleştirme (Durulaştırma)

Çıkış değerini netleştirmek için ağırlık merkezi metodu kullanılabilir. Bu metotta katkıda bulunan her kuralın çıkışı alınır ve birbirine eklenir. Ağırlık merkezi metodu netleştirme için kullanılan popüler metotlardan biridir.

Şekil 3.35'te görülen grafik netleştirme için kullanılacak alanı göstermektedir.



Şekil 3.35. Netleştirme için kullanılacak alan grafiği

Burada taralı alanın eşitliği;

$$u^* = \frac{\sum_{i=1}^N u_i \sum_{k=1}^n \mu_{A_k}(u_i)}{\sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^n \mu_{A_k}(u_i)} \quad (3.29)$$

şeklindedir.

Bulanık mantık ile sistem tasarım aşamaları Şekil 3.36'da akış diyagramı olarak görülmektedir.



Şekil 3.36. Bulanık mantık uygulama adımlarını anlatan akış diyagramı

3.9.4. Bu çalışmada bulanık mantık

Bu çalışmada boylamsal ve yanal kontrol denetim sistemlerini kurmada bulanık mantık kullanılmıştır. Bulanık mantık ile kontrol sayesinde sistemi sanki bilinçli bir insan kullanıyormuş gibi kontrol edebiliyoruz. Bir önceki bölümde anlatıldığı üzere bulanık mantık sisteminin kurulması için geçilen aşamalar bu bölümde kısımlar halinde anlatılacaktır.

Sistemin giriş ve çıkış parametreleri

Sistemin giriş parametreleri;

- Hız bilgisi (kodlayıcı alt sisteminden elde edilmektedir)
- Aracın önündeki araca/engele olan uzaklığı (ön sensörden elde edilmektedir)
- Aracın sağ taraftaki engele olan uzaklığı (sağ sensörden elde edilmektedir)

şeklinde belirlenmiştir.

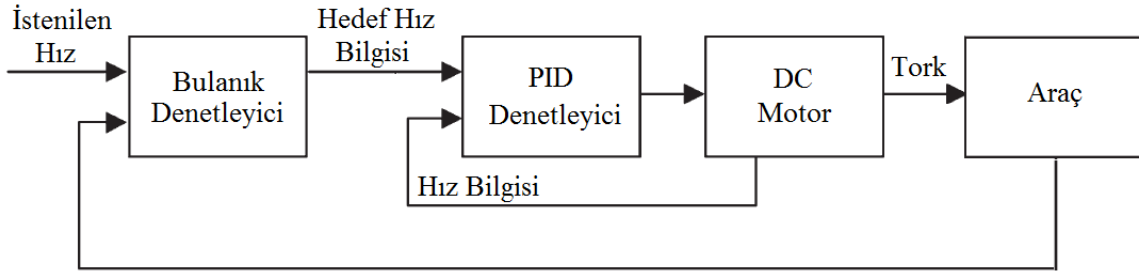
Sistemin çıkış parametreleri;

- Yeni hız değeri
- Yeni direksiyon yönlendirici servo motor açısı

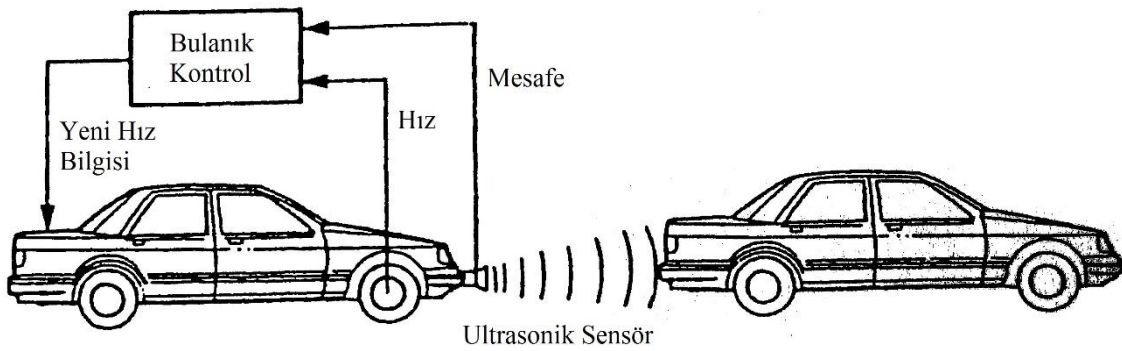
şeklinde belirlenmiştir.

Boylamsal denetleyici sistem

Sensörlerden gelen bilgiler ile bulanık mantık denetleyici hedef hız bilgisini hesaplar ve bu değer PID denetleyiciye gönderilir. PID denetleyicide geçişler pürüzsüz hale getirildikten sonra DC motora sürücü aracılığı ile iletilen bilgi motor tarafından dönme momentine (tork) çevrilerek aracın tekerlerine iletilir, bu sayede araç boylamsal hareketini gerçekleştirecektir. Kurulan boylamsal denetleyici sistemin blok diyagramı Şekil 3.37’de, temsili uygulama görünümü ise Şekil 3.38’de görülmektedir.



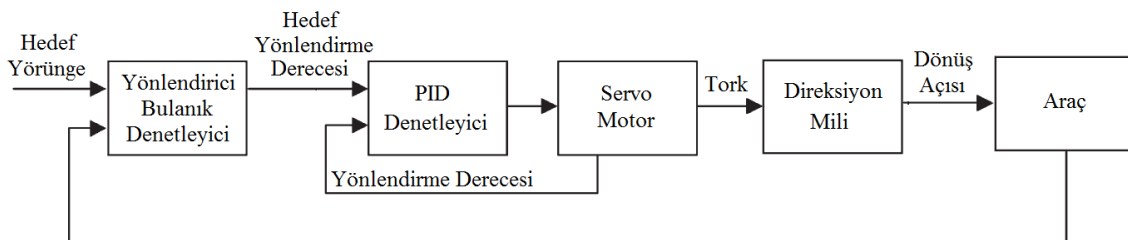
Şekil 3.37. Boylamsal denetleyici blok diyagramı



Şekil 3.38. Boylamsal denetim temsili uygulama görünümü

Yanal denetleyici sistem

Sensörlerden gelen bilgiler ile bulanık mantık denetleyici hedef yönlendirme derecesini hesaplar ve bu değer PID denetleyiciye gönderilir. PID denetleyicide geçişler pürüzsüz hale getirildikten sonra servo motora iletilen bilgi motor tarafından dönme momentine (tork) çevrilerek direksiyon miline iletilecek, bu sayede araç dönüş işlemini gerçekleştirecektir. Kurulan yanal denetleyici sistemin blok diyagramı Şekil 3.39'da görülmektedir.



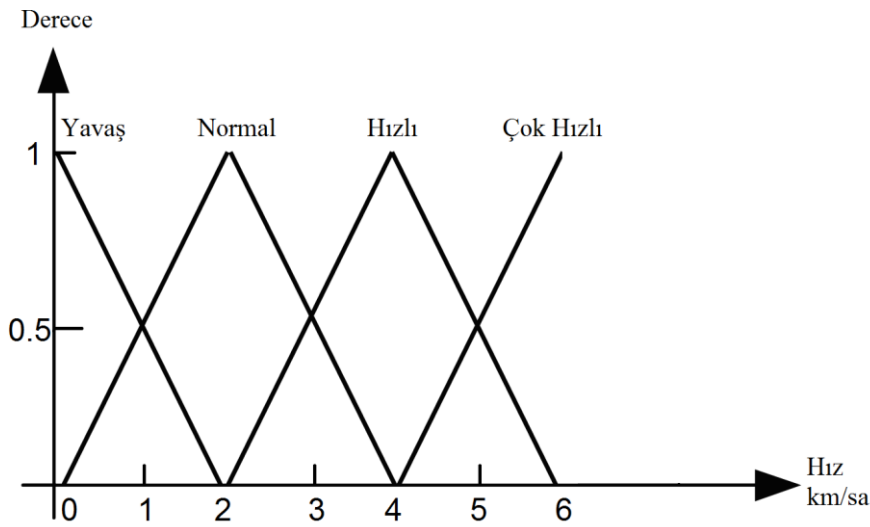
Şekil 3.39. Yanal denetleyici blok diyagramı

Bulanık alt kümelerin belirlenmesi ve üyelik fonksiyonlarının üretilmesi

Hız için belirlenen aralıklar Çizelge 3.2’deki gibi, üyelik fonksiyonu Şekil 3.40’daki gibidir.

Çizelge 3.2. Hız için belirlenmiş etiket – karşılık gelen hız aralığı çizelgesi

Etiket	Karşılık Gelen Hız Aralığı (km/s)
Yavaş	0 – 2
Normal	0 – 4
Hızlı	2 – 6
Çok Hızlı	4 – daha fazla

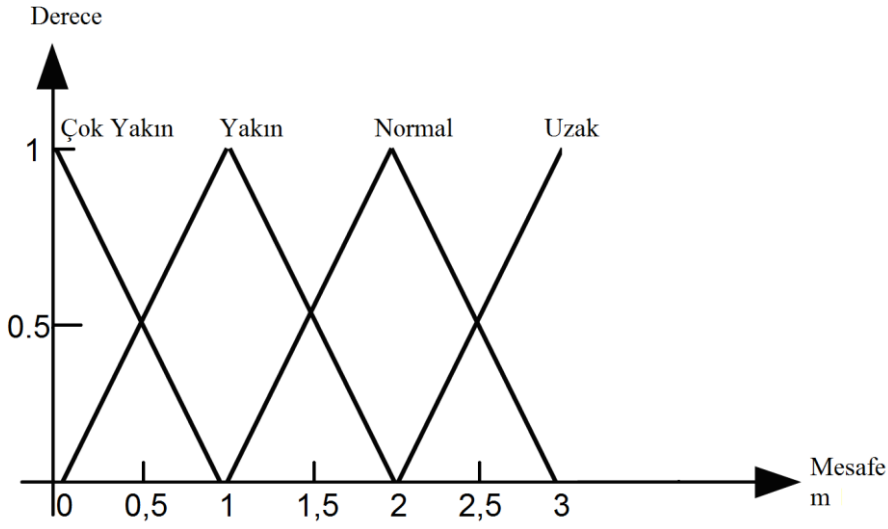


Şekil 3.40. Hız için belirlenmiş üyelik fonksiyonu

Ön sensörden gelen mesafe bilgisi için belirlenen aralıklar Çizelge 3.3’teki gibi, üyelik fonksiyonu Şekil 3.41’deki gibidir.

Çizelge 3.3. Ön sensör için belirlenmiş etiket – karşılık gelen mesafe aralığı çizelgesi

Etiket	Karşılık Gelen Mesafe (m)
Çok Yakın	0 – 1
Yakın	0 – 2
Normal	1 – 3
Uzak	2 – daha fazla

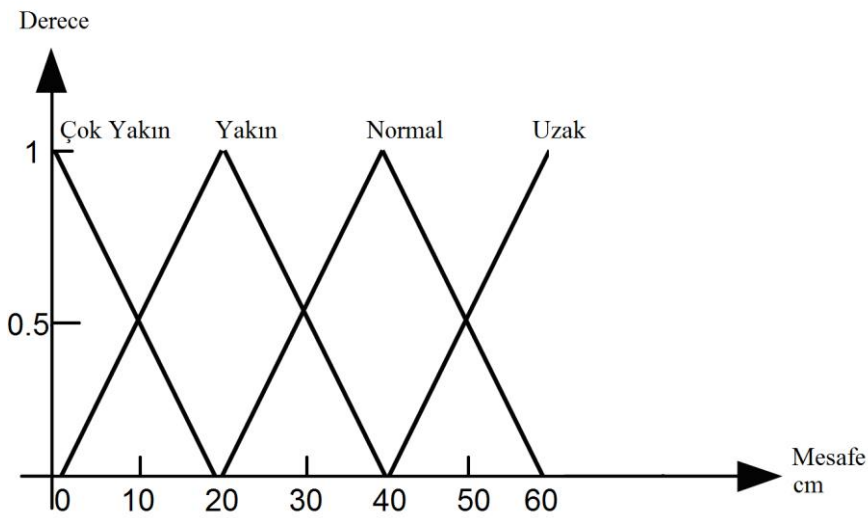


Şekil 3.41. Ön sensör için belirlenmiş üyelik fonksiyonu

Sağ sensörden gelen mesafe bilgisi için belirlenen aralıklar Çizelge 3.4'teki gibi, üyelik fonksiyonu Şekil 3.42'deki gibidir.

Çizelge 3.4. Sağ sensör için belirlenmiş etiket – karşılık gelen mesafe aralığı çizelgesi

Etiket	Karşılık Gelen Mesafe (cm)
Çok Yakın	0 – 20
Yakın	0 – 40
Normal	20 – 60
Uzak	40 – daha fazla

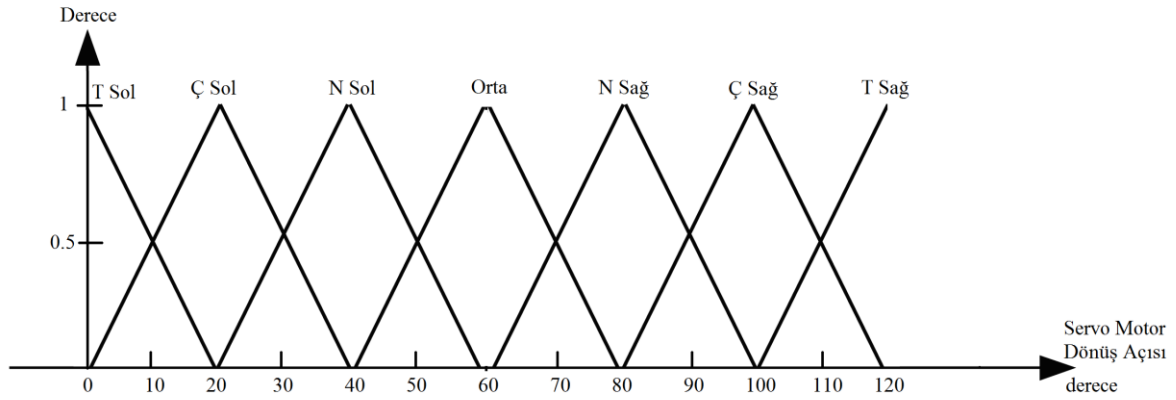


Şekil 3.42. Sağ sensör için belirlenmiş üyelik fonksiyonu

Direksiyon yönlendirici servo motorun açısı için belirlenen aralıklar Çizelge 3.5'teki gibi, üyelik fonksiyonu Şekil 3.43'teki gibidir.

Çizelge 3.5. Servo motor açısı için belirlenmiş etiket – karşılık gelen açı çizelgesi

Etiket	Karşılık Gelen Servo Motor Açısı (derece)
Tam Sol	0 – 20
Çok Sol	0 – 40
Normal Sol	20 – 60
Orta	40 – 80
Normal Sağ	60 – 100
Çok Sağ	80 – 120
Tam Sağ	100 – 120



Şekil 3.43. Servo motor için belirlenmiş üyelik fonksiyonu

Kural tabanı oluşturulması

Kural 1: Eğer aracın önüne gelen engele olan mesafe çok yakın ise hız yavaş olacak.

Kural 2: Eğer aracın önüne gelen engele olan mesafe yakın ise hız normal olacak.

Kural 3: Eğer aracın önüne gelen engele olan mesafe normal ise hız hızlı olacak.

Kural 4: Eğer aracın önüne gelen engele olan mesafe uzak ise hız çok hızlı olacak.

Kural 5: Eğer aracın sağ engele olan mesafesi çok yakın ise servo dönüş açısı tam sol olacak.

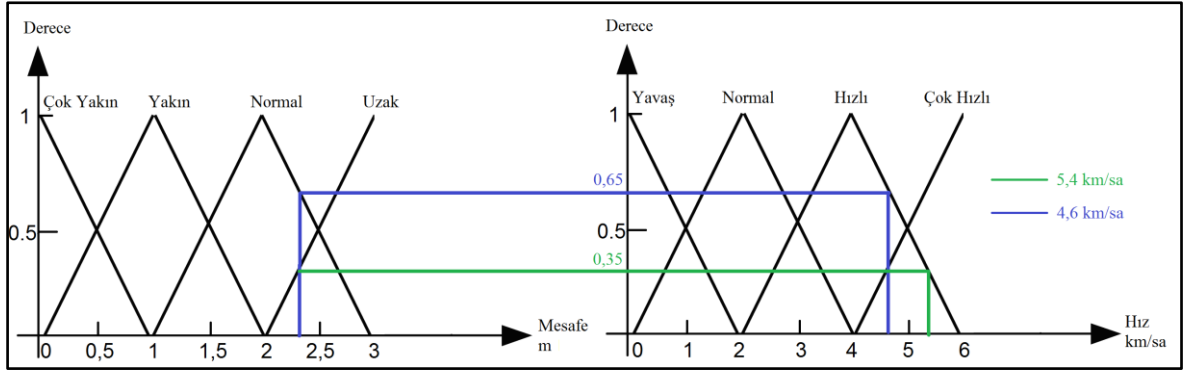
Kural 6: Eğer aracın sağ engele olan mesafesi yakın ise servo dönüş açısı çok sol olacak.

Kural 7: Eğer aracın sağ engele olan mesafesi uzak ise servo dönüş açısı normal sağ olacak.

Kural 8: Eğer aracın sağ engele olan mesafesi normal ise servo dönüş açısı orta olacak.

Örnek bir bulanıklaştırma, kural uygulama ve netleştirme işlemi

Örnek olarak aracın önüne gelen engele olan mesafe 2,3 m olduğunda kural 3 ve kural 4 uygulanacaktır. Şekil 3.44'te üyelik fonksiyonları üzerinde kuralların uygulanması görülmektedir.



Şekil 3.44. Üyelik fonksiyonları ile kuralların uygulanması gösterimi

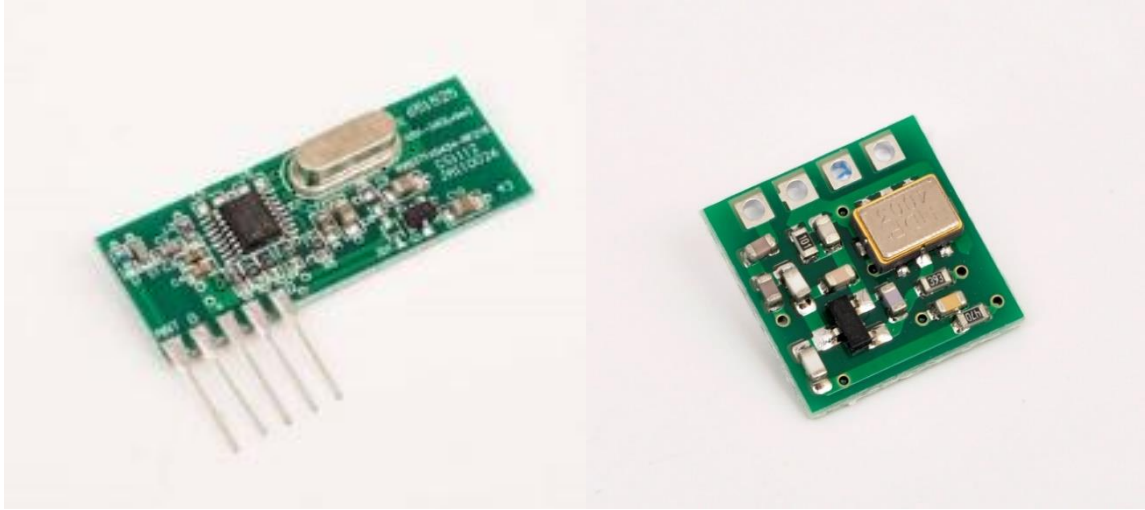
Bu durumda netleştirme işleminin uygulanması ve çıktı üretilmesi için ortalamanın merkezi netleştirme yöntemi (center of average) uygulanmıştır. Eşitlikte y_l üyelik değerlerini, w_l üyelik derecelerini göstermek üzere, netleştirilmiş değer y^* şu şekilde hesaplanır;

$$y^* = \frac{\sum_{l=1}^M y_l w_l}{\sum_{l=1}^M w_l} \quad (3.30)$$

Yukarıdaki örneğimizde netleştirilmiş değer;

$$y^* = \frac{5,4 * 0,35 + 4,6 * 0,65}{0,35 + 0,65} = 4,88 \quad (3.31)$$

olarak hesaplanır.



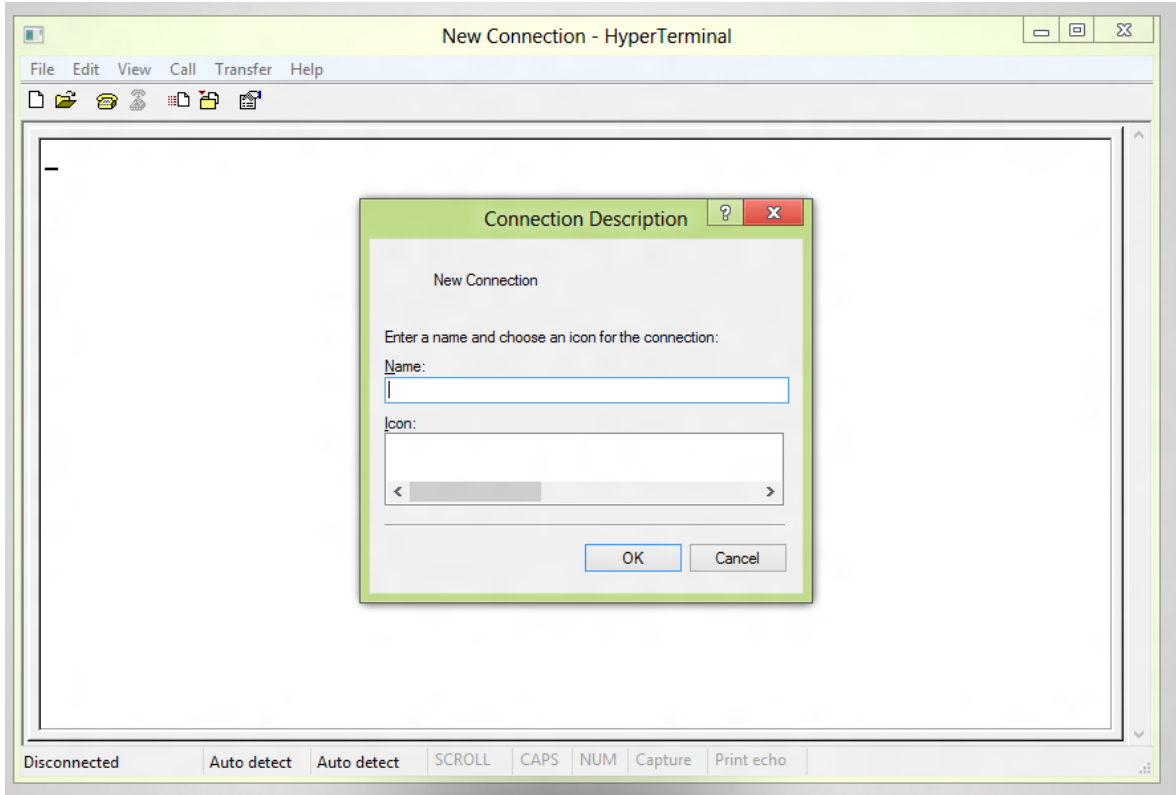
Resim 3.28. ARX-34 alıcı (solda) ve ATX-34 verici entegre devresi (sağda) [67]

Alıcı ve verici devrelerde yaklaşık 17 cm uzunluğunda 50 Ω empedanslı 433 MHz frekans (UHF) için üretilmiş antenler kullanılmıştır. Alıcı devrenin bilgisayara bağlanması için RS232 seri port için üretilmiş MAX232 entegre devresi kullanılmıştır.

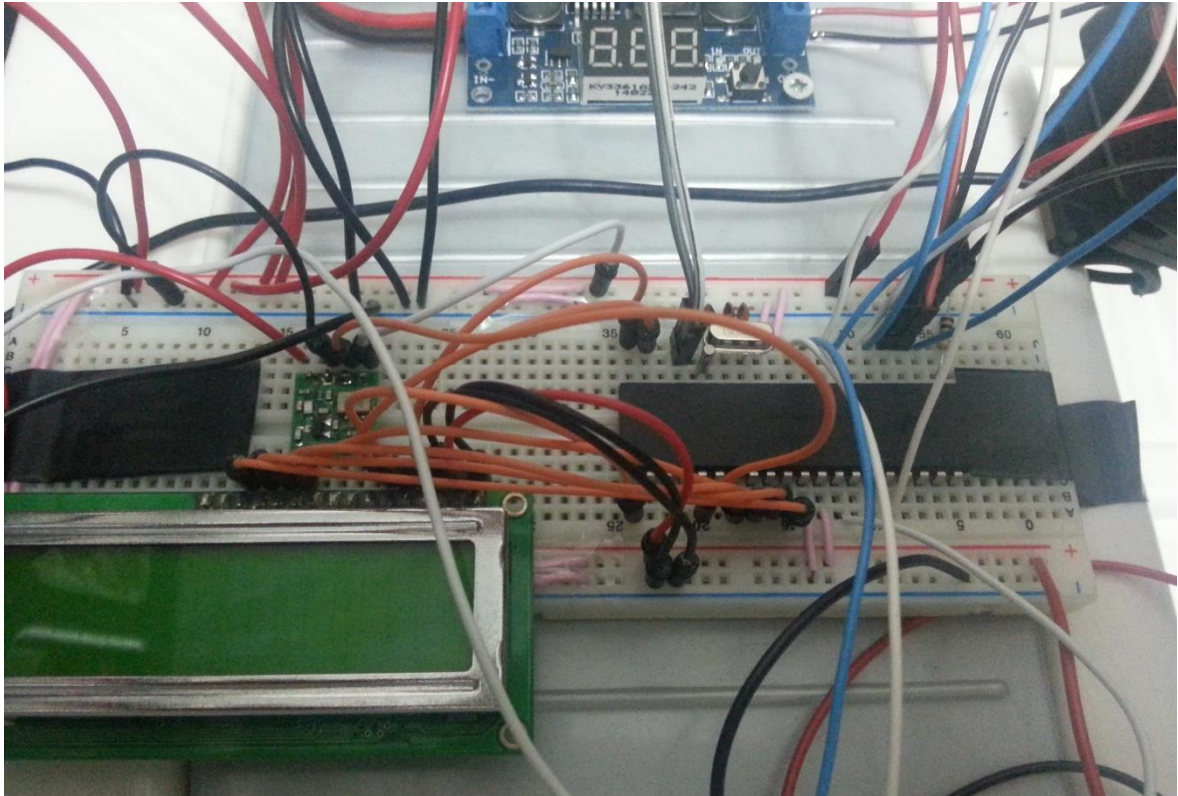
Bilgisayardan seri portu okumak için HyperTerminal isimli yazılım kullanılmıştır. Programın giriş ekranı görüntüsü Resim 3.29’da görülmektedir. CCS C yazılımı ile RF haberleşme oldukça kolay sağlanmaktadır. Bilgiler gönderilmeden önce bir öncü veri (preamble) gönderilmektedir. Öncü veri ile alıcı verinin hangi vericiden geldiğini doğrulamış olmaktadır. Bu sayede aynı ortamda birden fazla modül haberleşme yapıyorsa sinyallerin karıştırılması engellenmektedir. Gönderilen veri seti şu şekildedir;

Sensor1 | Sensor2 | Sensor3| POT | Encoder | ServoPWM | DCMotorPWM

Resim 3.30 ve Resim 3.31’de devrelerin uygulanmış halleri görülmektedir.



Resim 3.29. HyperTerminal programının ekran görüntüsü

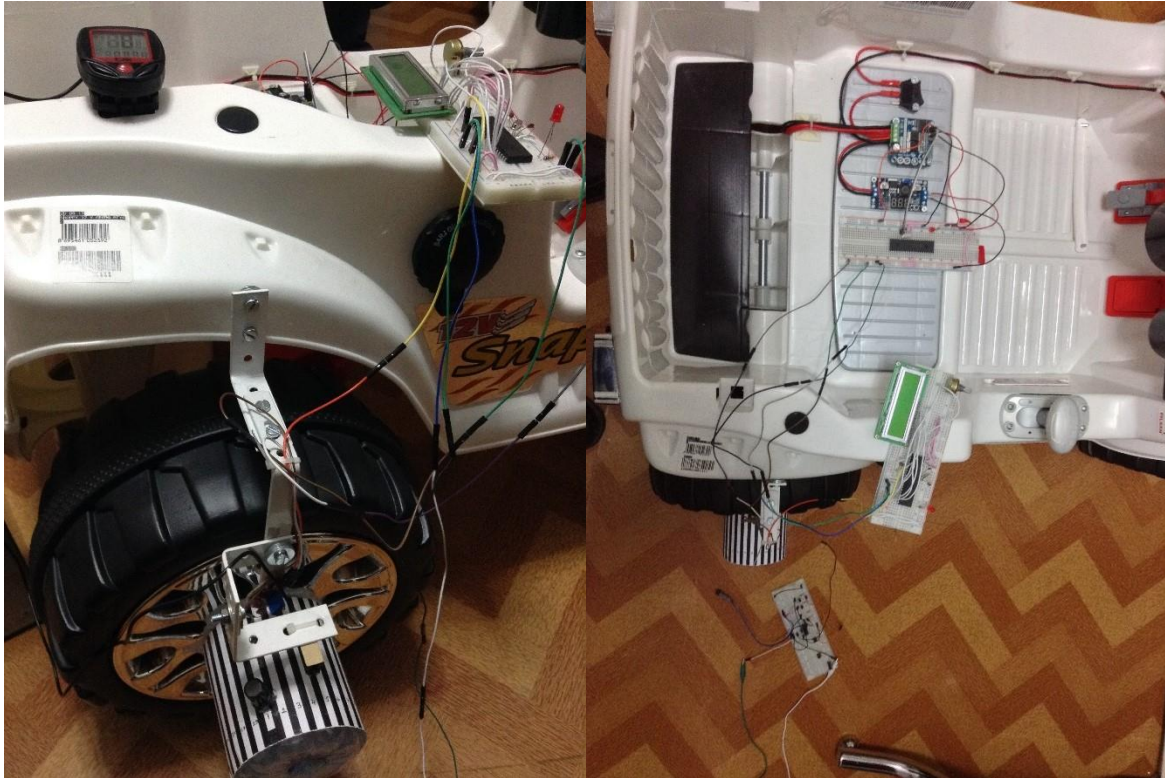


Resim 3.30. Verici devresinin uygulamadaki görünümü

4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

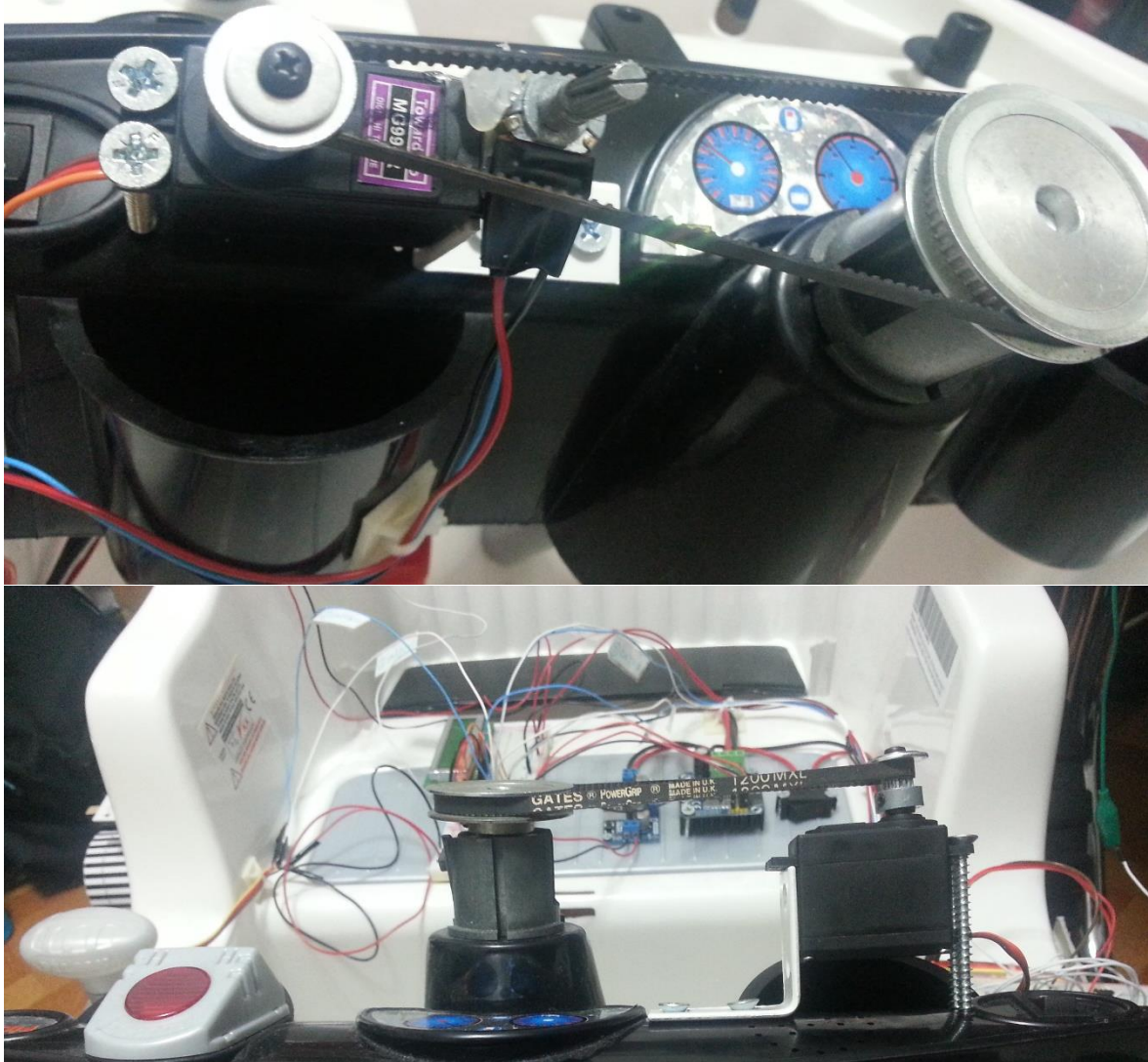
İlk üç bölümde üzerinde araştırma yapılan, anlatılan donanım ve yazılımlarla geliştirilen insansız kara aracımızın alt sistemlerinin birim testleri kapalı ortamda gerçekleştirilmiş ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Resim 4.1’de görülen resimler kapalı ortamda yapılan testlerden görüntülerdir. Bölüm 3.2.2’de geliştirilme süreci anlatılan hız bilgisinin ölçümü hem CNY70 düzeneği ile hem de Reed Röle Entegre devre düzeneği ile ayrı ayrı gerçekleştirilmiş, birbirini doğrulayan sonuçlar alındıktan sonra CNY70 düzeneği devre dışı bırakılmıştır.

Hızlanma ve frenleme mikrodenetleyiciden üretilen PWM değerleri ile sağlanmıştır. Hız bilgisi ölçümü sırasında verilen değişik PWM değerleri ile çıkış hızı ölçülmüş buna göre sistemin hangi giriş değerlerine göre hangi çıkış hızlarını verdiği tespit edilmiştir. Aynı anda hem hız bilgisi ölçümü düzenekleri hem de aracın PWM değerine göre verdiği çıkış hızını bir referans değer ile karşılaştırmak amacıyla Resim 4.1’de sol üstte görülen bisikletler için kullanılan hız ölçüm donanımı kullanılmıştır.



Resim 4.1. Geliştirme sırasında hızlanma, frenleme ve hız bilgisi ölçümü testi

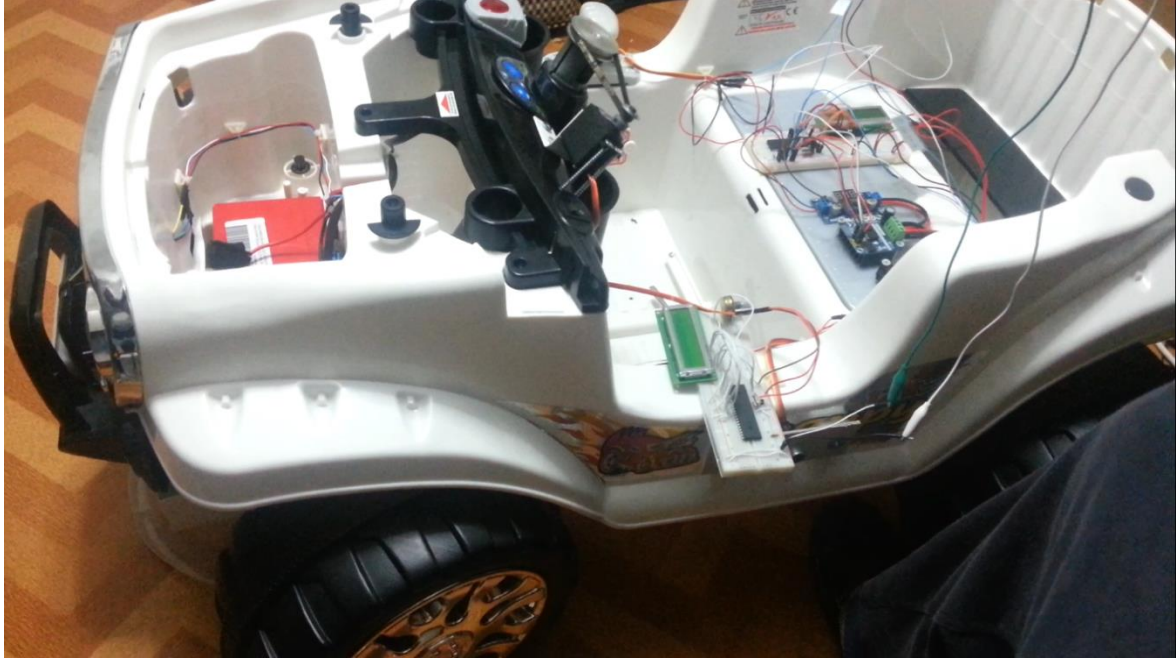
Tez çalışmasının en zorlu kısımlarından biri olan direksiyonun servo motor, dişli, kayış kasa sistemi ile yönlendirilmesi, Resim 4.2’de görüldüğü gibi gerçekleştirilmiştir. Temin edilmiş bileşenler başarılı bir şekilde araç ile bütünleştirilmiş ve çalışma testleri kapalı ortamda yapılmıştır. Verilen uygun PWM değerlerine göre direksiyon mili belli açılarda döndürülebilmektedir. Gerçekleşen dönüş değerlerini okuyan POT sisteme geri besleme olarak eklenmiştir. POT’un verdiği voltaj değerleri mikrodenetleyicinin ADC birimi ile kullanılabilir sayısal değerlere dönüştürülmüştür.



Resim 4.2. Geliştirme sırasında direksiyon yönlendirme ve konum bilgisi ölçümü testi

Aracın çevresini algılayabilmesi amacıyla yerleştirilen ultrasonik sensörler Resim 4.3’te görüldüğü gibi kapalı ortamda test edilmiştir. Aynı anda üç sensörden gelen veriler LCD ekran üzerinden okunmuştur. Farklı mesafeler her üç sensör ile hem tek tek hem de birlikte ölçülmüştür. Sensörlerden tutarlı ölçüm bilgileri elde edebilmek için her bir mesafe 20 kere

ölçülmüş, sensörlerin ara sıra verdiği yanlış değerler yok edilmiş, ölçüm sonuçlarından tutarlı olanların ortalaması alınarak nihai değerler belirlenmiştir.



Resim 4.3. Geliştirme sırasında çevre algılama donanımı testi

Ayrı ayrı bütün bileşenleri ve alt sistemleri test edilmiş olan aracın kapalı ortam testleri Resim 4.4'te görüldüğü gibi gerçekleştirilmiştir. Arabanın birbirinden bağımsız olarak çalışan alt sistemleri tek mikrodenetleyici üzerinde birleştirilmiş ve bütün sistem başarılı olarak istenilen komutları yerine getirmiş, otonom olarak hareket etmiştir.



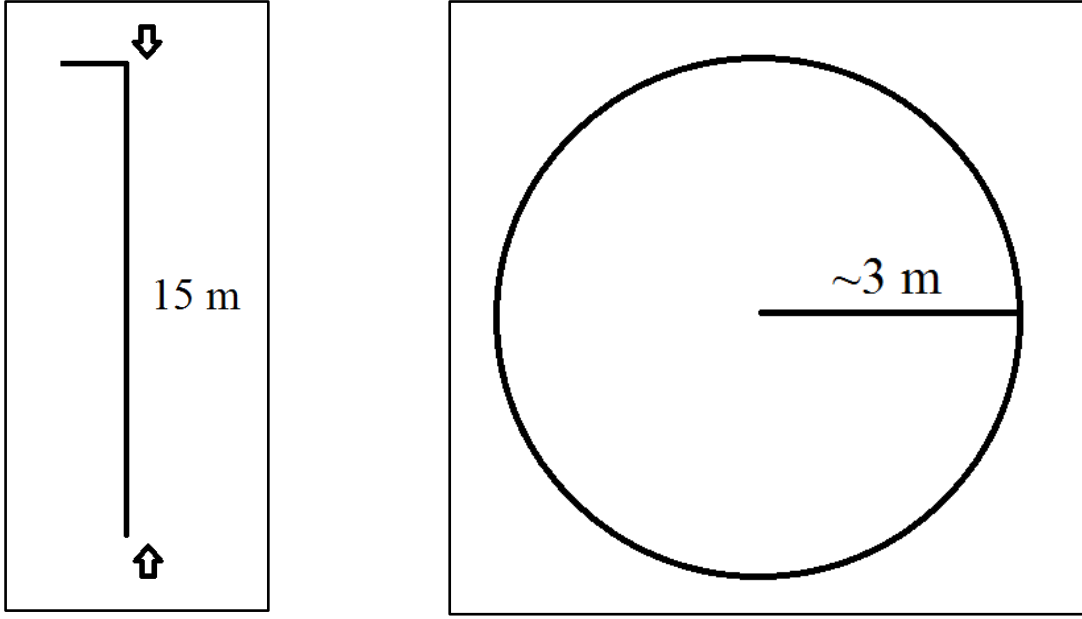
Resim 4.4. Tamamlanmış aracın kapalı ortam testi

Saha testleri Orta Doğu Teknik Üniversitesi kampüsü içinde hazırlanan pistte gerçekleştirilmiştir. Pistin açık görüntüsü Resim 4.5'teki gibidir.



Resim 4.5. Orta Doğu Teknik Üniversitesi kampüsü içinde testlerin yapıldığı pist

Pist boylamsal ve dairesel hareket için iki değişik şekilde tasarlanmıştır. Boylamsal harekette 15 m giden araç yolun bitiminde durmaktadır. Dairesel hareket yarıçapı yaklaşık 3 m olacak şekilde bir çember pist hazırlanarak gerçekleştirilmiş, araç durma süresi gelene kadar hareketini eğriyi dönerek sürdürmüştür. Eğri yaklaşık 45 derecelik bir açıya sahiptir. Şekil 4.1'de pistlerin yaklaşık çizimleri, Resim 4.6'da düz pist test alanı ve Resim 4.7'de dairesel pist test alanı görülmektedir.



Şekil 4.1. Uygulama yapılan pistler

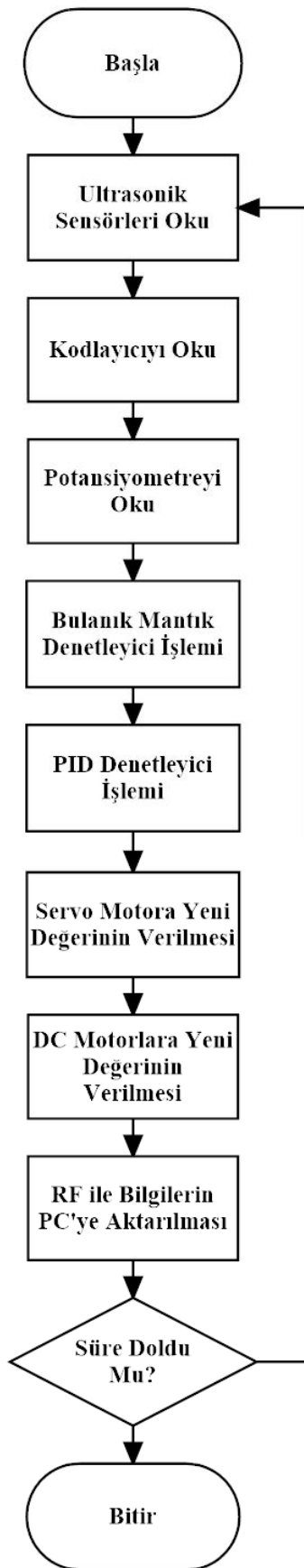


Resim 4.6. Düz pist test alanı



Resim 4.7. Dairesel pist test alanı

Aracın pistlerde takip ettiği algoritma Şekil 4.2'deki gibidir. Sistem başladıktan sonra araç ilk olarak ultrasonik sensörlerden gelen verileri alır, ikinci olarak kodlayıcı aracılığı ile aracın hız bilgisini alır, ardından potansiyometreden gelen bilgi ile direksiyon konum bilgisini öğrenir. Bu bilgiler bulanık mantık denetleyiciye girer ve elde edilen çıkış değerleri PID denetleyiciye aktarılır. PID denetleyici çıktısı olan değerler servo motora ve DC motorlara güç olarak aktarılır. Bu işlemler sonrasında sensörlerden okunan mesafe bilgileri, direksiyon yönlendirme sistemindeki potansiyometreden okunan voltaj değeri, kodlayıcı tarafından okunan hız bilgisi ve son olarak servo ve DC motorlara gönderilen PWM bilgileri RF ile bilgisayara gönderilir. Bu adımdan sonra eğer araç herhangi bir engelle karşılaşarak durmamış ise maksimum çalışma zamanına gelip gelmediği kontrol edilir. Eğer süre dolmadı ise akış tekrar başa döner, süre dolduğunda ise araç durur.



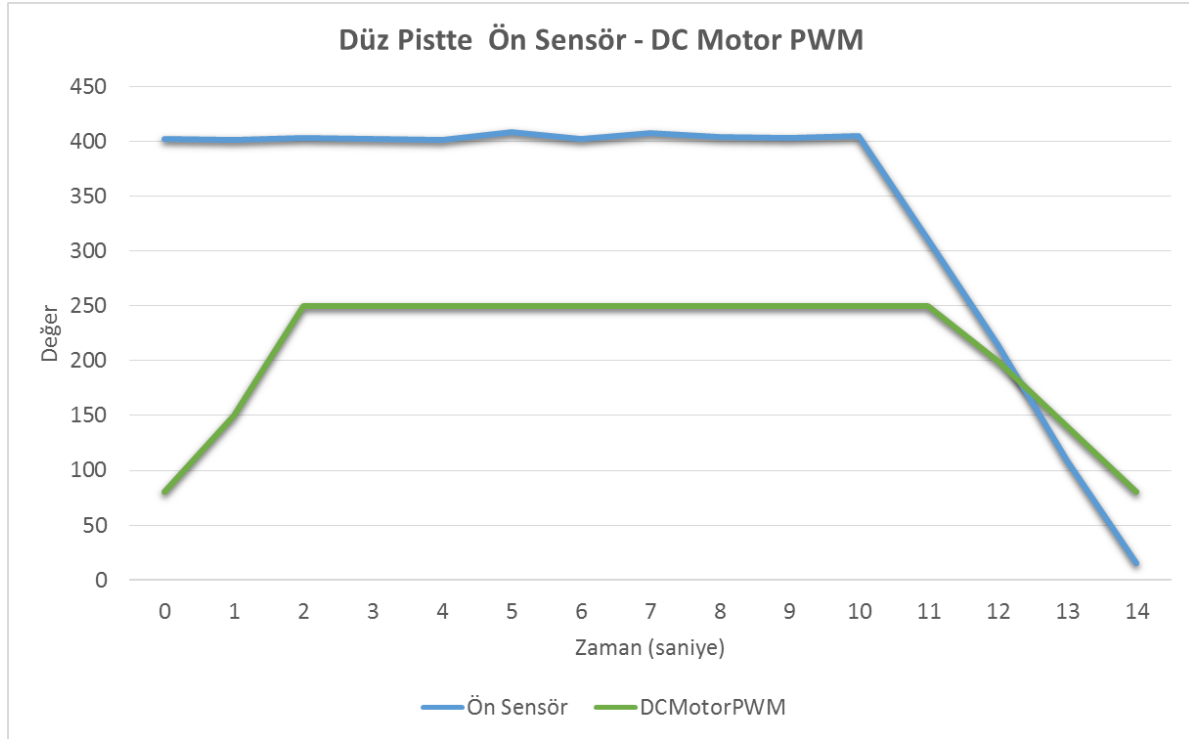
Şekil 4.2. Aracın otonom sürüş algoritması

Saha testlerine öncelikle düz pist testi ile başlanmıştır. Araç, çevre algılamasına göre hızını ayarlamış olup yaklaşık 2,5 ile 7 km/s arasındaki hız değerleri ile hareket etmiş engele yaklaştığında hızını azaltmış ve 15 cm kala tamamen durmuştur. Çizelge 4.1 aracın boylamsal hareket sırasında gönderdiği verileri göstermektedir.

Çizelge 4.1. Düz pistte araçtan alınan örnek veriler

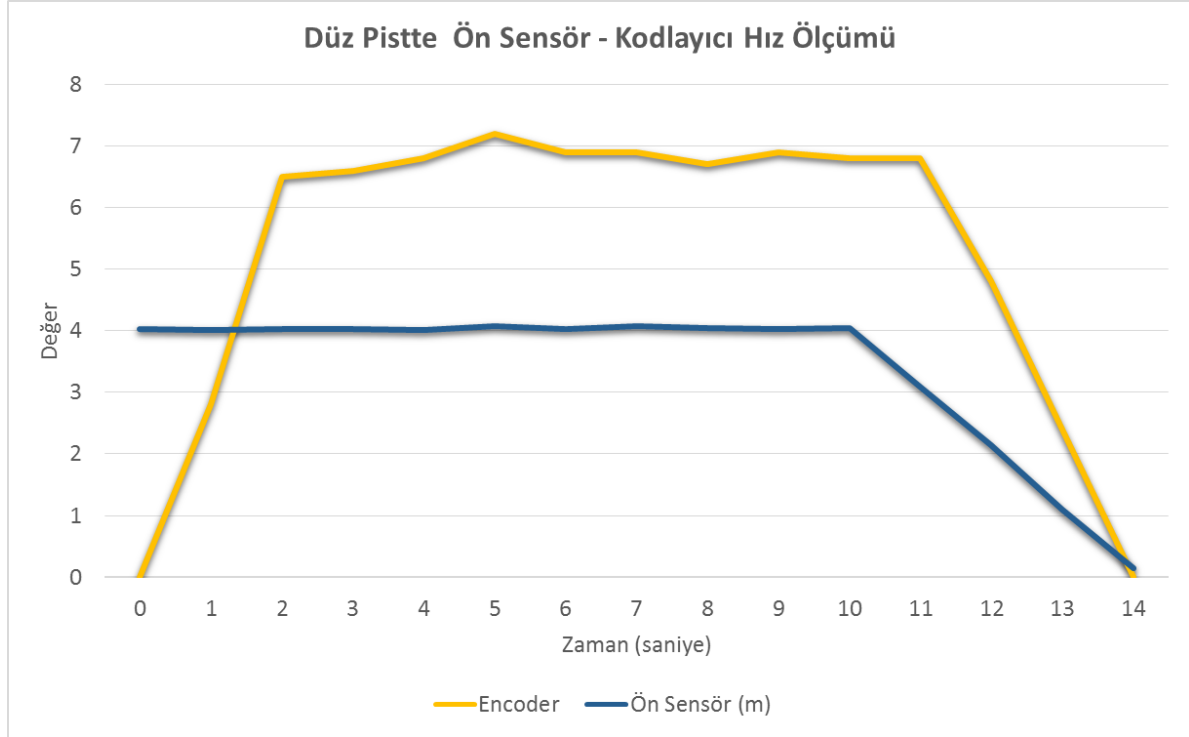
Saniye	Ön Sensör	Sol Sensör	Sağ Sensör	POT	Encoder	Servo PWM	DC Motor PWM
0	402	265	32	2,51	0	1100	80
1	401	254	32	2,52	2,8	1100	150
2	403	253	35	2,71	6,5	1150	250
3	402	274	32	2,53	6,6	1100	250
4	401	206	30	2,28	6,8	1050	250
5	408	268	32	2,5	7,2	1100	250
6	402	305	32	2,52	6,9	1100	250
7	407	254	31	2,51	6,9	1100	250
8	404	236	32	2,53	6,7	1100	250
9	403	278	32	2,53	6,9	1100	250
10	405	236	32	2,53	6,8	1100	250
11	310	361	31	2,31	6,8	1050	250
12	215	230	32	2,49	4,8	1100	200
13	109	215	34	2,73	2,4	1150	140
14	15	198	33	2,48	0	1100	80

Şekil 4.3'te ön sensörden ölçülen mesafe bilgisi ile DC motora sistem tarafından gönderilen PWM değeri karşılaştırması yapılmıştır. Görüleceği üzere araç, öncelikle önünde gidebileceği uzun bir mesafe olduğundan hızını arttırmak için PWM değerini yükseltmiş ve 2. saniyede maksimum değerine ulaşmıştır. 10. saniyede önündeki engele olan mesafe düşmeye başlamıştır. Mesafenin 3 metreye düşmesi ile birlikte araç hızını düşürmek için PWM değerini düşürmeye başlamış, 14. saniyede engele 15 cm kala tamamen durma sinyali göndermiştir.



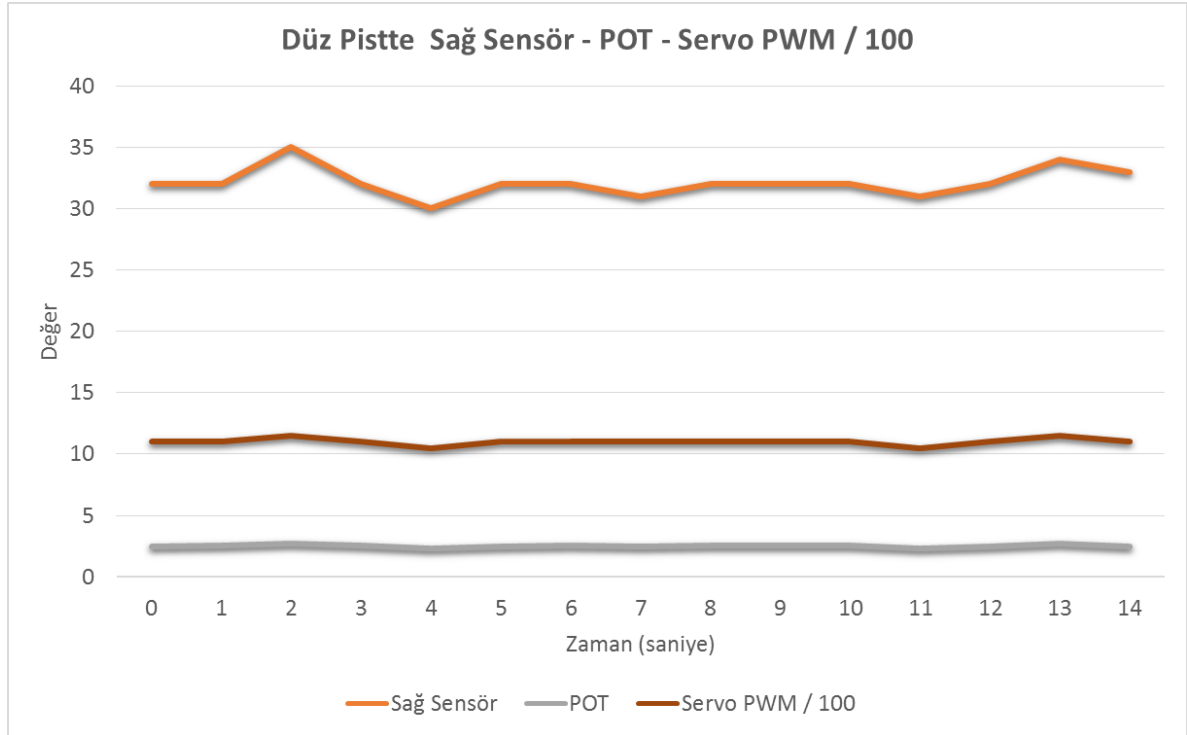
Şekil 4.3. Düz pist testinde ön sensör ve DC motor PWM değerlerinin karşılaştırılması

Şekil 4.4'te ön sensörden ölçülen mesafe bilgisi ile kodlayıcı tarafından ölçülen hız bilgisi karşılaştırılmıştır. Görüleceği gibi Şekil 4.3'teki bilgilere paralel olarak araç önünde uygun mesafe bulunduğunda hızını 2. saniyeye kadar kuvvetli bir ivme ile arttırmıştır. 2. saniyeden 11. saniyeye kadar hızını en yüksek değerde tutmuş, ancak dış etkenler sebebi ile hız grafiği düz bir çizgi şeklinde olmamıştır. 11. saniyeden itibaren yaklaşık 3 saniye içinde engele olan mesafe ile orantılı olarak hız azalmış ve engele 15 cm kala araç tamamen durmuştur.



Şekil 4.4. Düz pist testinde ön sensör ve kodlayıcı değerlerinin karşılaştırılması

Şekil 4.5'te sağ sensörün ölçtüğü mesafe bilgisi, potansiyometreden okunan voltaj bilgisi ve servo motora gönderilen PWM bilgisi karşılaştırması yapılmıştır. Görüleceği üzere sağ engele olan mesafe 30 – 35 cm bandında sabitlenmiş, zeminden ve aracın yönlendirme sisteminden kaynaklanan yanal hareketi sebebi ile bu aralıkta düzensiz bir salınma yaşanmıştır. Yaşanan bu salınmalar orantılı olarak potansiyometrenin çıkış voltajında ve servo motora sistem tarafından gönderilen PWM değerinde de görülmüştür.



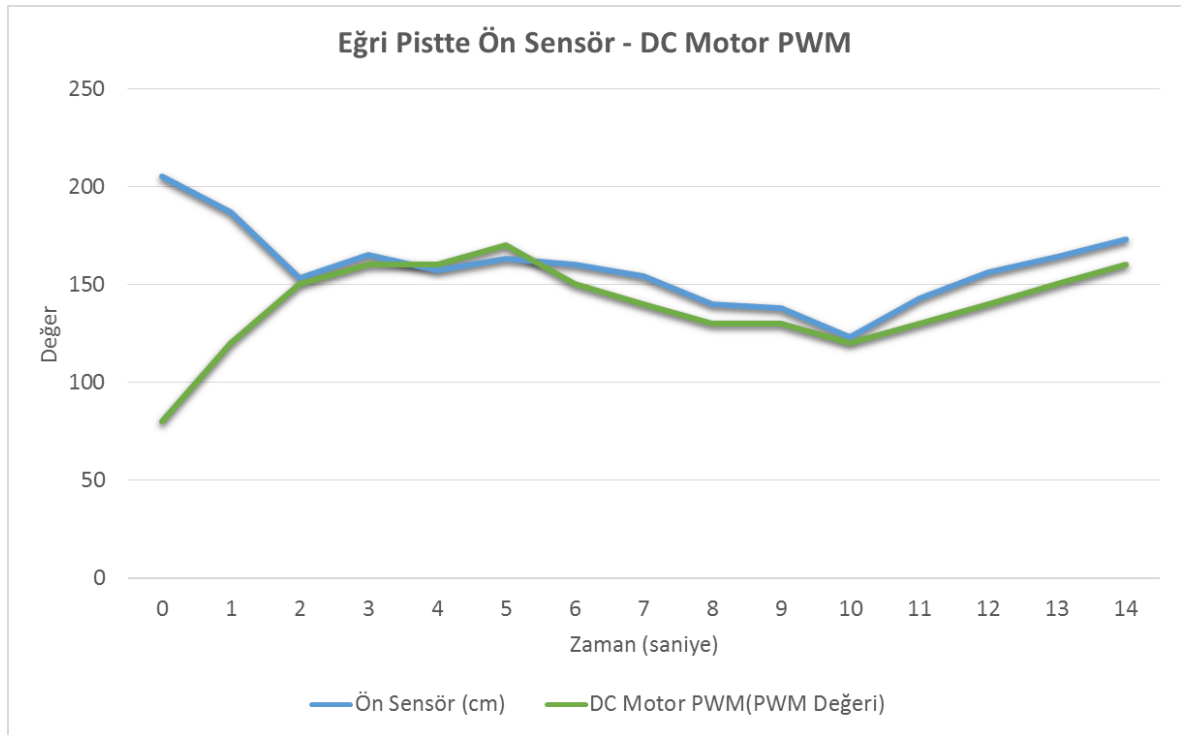
Şekil 4.5. Düz pist testinde sağ sensör, POT ve servo PWM değerlerinin karşılaştırılması

Saha testlerine ikincil olarak dairesel pist testi ile devam edilmiştir. Araç, çevre algılamasına göre hızını ayarlamış olup yaklaşık 2 ile 4,5 km/s arasındaki hız değerleri ile hareket etmiştir. Çizelge 4.2 aracın dairesel hareketi sırasında gönderdiği verileri gösterir.

Çizelge 4.2. Dairesel pistte araçtan alınan örnek veriler

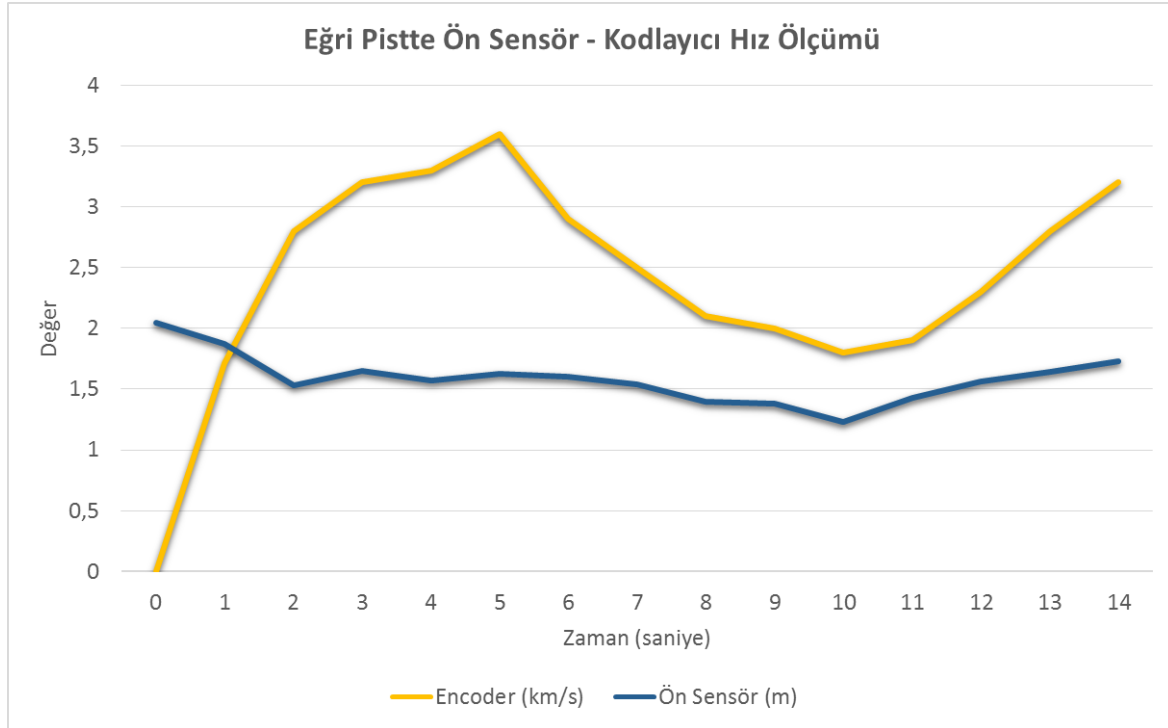
Saniye	Ön Sensör	Sol Sensör	Sağ Sensör	POT	Encoder	Servo PWM	DC Motor PWM
0	205	405	23	4,12	0	1500	80
1	187	403	24	4,41	1,71	1550	120
2	153	400	25	4,52	2,8	1600	150
3	165	401	24	4,4	3,2	1550	160
4	157	398	26	4,61	3,3	1600	160
5	163	402	27	4,38	3,6	1550	170
6	160	403	28	4,23	2,9	1500	150
7	154	404	26	4,36	2,5	1550	140
8	140	402	26	4,59	2,1	1600	130
9	138	401	27	4,41	2	1550	130
10	123	405	25	4,58	1,8	1600	120
11	143	400	24	4,42	1,9	1550	130
12	156	398	25	4,41	2,3	1550	140
13	164	396	25	4,63	2,8	1600	150
14	173	400	26	4,51	3,2	1550	160

Şekil 4.6’da ön sensörden ölçülen mesafe bilgisi ile DC motora sistem tarafından gönderilen PWM değeri karşılaştırması yapılmıştır. Görüleceği üzere araç, 2. saniyeye kadar hızını belli bir değere yükseltebilmek için PWM değeri yükseltme bilgisi yollamıştır. 2. saniyeden itibaren mesafe bilgisi ile tam uyum içinde olan bir PWM sinyali bilgisi görülmektedir. Araç mesafe bilgisine göre uygun hız değerini üretebilmek için PWM değerini sürekli olarak ayarlamıştır.



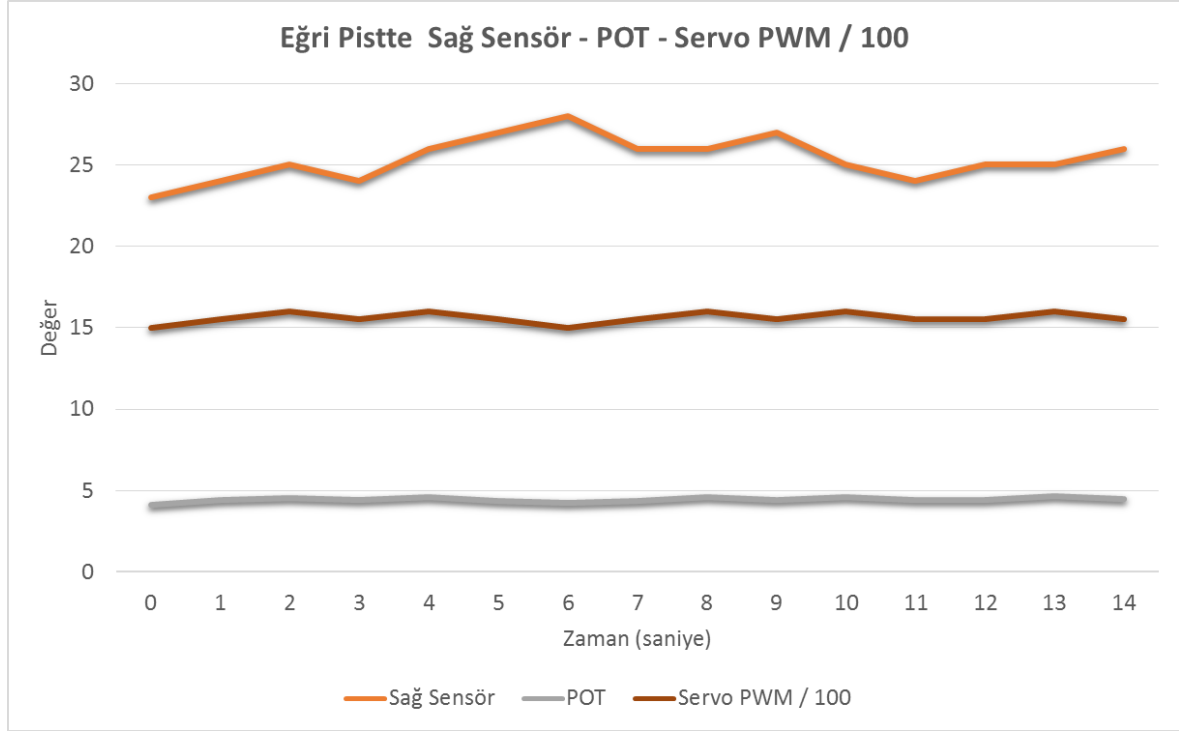
Şekil 4.6. Dairesel pist testinde ön sensör ve DC motor PWM değerlerinin karşılaştırılması

Şekil 4.7’de ön sensörden ölçülen mesafe bilgisi ile kodlayıcı tarafından ölçülen hız bilgisi karşılaştırılmıştır. Görüleceği gibi Şekil 4.6’daki bilgilere paralel olarak araç hızını 2. saniyeye kadar kuvvetli bir ivme ile arttırmıştır. 2. saniyeden itibaren sensörden gelen bilgilere ve zemin şartlarına göre araç hızının mesafe bilgisi ile tutarlı olduğu görülmektedir.



Şekil 4.7. Dairesel pist testinde ön sensör ve kodlayıcı değerlerinin karşılaştırılması

Şekil 4.8’de sağ sensörün ölçtüğü mesafe bilgisi, potansiyometreden okunan voltaj bilgisi ve servo motora gönderilen PWM bilgisi karşılaştırması yapılmıştır. Görüleceği üzere sağ engele olan mesafe 22 – 28 cm bandında kalmıştır. Zeminden, dairesel pistin yeteri kadar düzgün bir daire şeklinde olmamasından ve aracın yönlendirme sisteminden kaynaklanan yanal hareketi sebebi ile bu aralıkta düzensiz bir salınma yaşanmıştır. Yaşanan bu salınmalar orantılı olarak potansiyometrenin çıkış voltajında ve servo motora sistem tarafından gönderilen PWM değerinde görülmüştür.



Şekil 4.8. Dairesel pist testinde sağ sensör, POT ve servo PWM değerlerinin karşılaştırılması

Şekil 4.3, 4.4, 4.5, 4.6, 4.7 ve 4.8’de bulunan grafikler alınan verilerin karşılaştırılması ve incelenmesi amacıyla üretilmiştir. Boylamsal hareket testinde engel görüldüğünde durulurken dairesel harekette engel gösterilmezse tanımlanmış sürenin dolması beklenerek döngüden çıkılmaktadır. Testlerde yeteri kadar dönmenin sağlanabilmesi için bu süre 120 saniye olarak belirlenmiştir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada bir akülü araba üzerinden insansız kara aracı geliştirilmiştir. Geliştirme aşamalarının mümkün olduğunca her bölümü anlatılmış, resimler, şekiller, eşitlikler ve çizelgeler ile desteklenmiştir. Çalışmanın odak noktası, aracın boylamsal ve yanal kontrolünün bulanık mantık kullanılarak gerçekleştirilmesidir. Kararlar bulanık denetleyici tarafından istenilen hızda, doğrulukta ve kararlılıkta belirlenmiş olup PID denetleyici bulanık denetleyici sonrası geçişleri pürüzsüz hale getirmek için kullanılmıştır.

Tezin literatür kısmında benzer konulardaki çalışmalar detaylı olarak incelenmiştir. Mümkün olan her alt sistem araştırılmış ve imkânlar ölçüsünde en gelişmiş sistemin kurulması için çalışılmıştır. Kurulan sistemde aracın boylamsal ve yanal olarak kontrol edilmesi amacıyla araç, yönlendirme sistemi, hız kontrol sistemi, uygun güç sistemi, ortam algılayıcıları, geri besleme elemanları, bilgisayar ile iletişim donanımı, ana yazılım ve kontrol mimarisi öğelerinden oluşmuştur. Oluşturulan alt sistemler benzer projelerde kolaylıkla kullanılabilecek ve geliştirilebilecek şekilde hazırlanmıştır.

Geliştirilen araç boylamsal ve dairesel pistlerde test edilmiştir. Testlerin sonucunda tasarlanmış bulanık mantık üyelik fonksiyonları ve kurallarına göre boylamsal kontrol donanımı istenilen mesafelerde istenilen hızda tepki verebilmiştir. Yanal kontrol donanımı istenilen mesafeye göre aracın yanal hareketini sağlamıştır. Çevre algılama donanımı aracın bütün hareketlerini belirleyen ana bilgi elemanı olarak doğru mesafe bilgilerini doğru hızda iletmiştir. Mikrodenetleyici, güç sistemi ve bilgisayar ile iletişim donanımı, yeterli hız, kapasite, tepki süresi ve iletim sürecini sağlamıştır.

Sistemden bilgisayara aktarılan ön ve sağ sensör mesafe ölçüm bilgileri, kodlayıcıdan gelen hız bilgisi, potansiyometreden gelen direksiyon yönlendirme açısı bilgisi ve sistemin ürettiği boylamsal ve yanal kontrol için PWM sinyalleri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Boylamsal PWM sinyali, hız bilgisi ve ön sensörden ölçülen mesafe bilgisinin uyumlu olduğu gözlenmiştir. Buna göre engel algılandığında PWM sinyali azaltılmış, gerekli durumda hızın azaltılarak sıfıra düşmesi sağlanmıştır. Yanal PWM sinyali, potansiyometrenin gönderdiği voltaj bilgisi ve sağ sensörden ölçülen mesafe bilgilerinin birbirleri ile uyumlu olduğu tespit edilmiştir. Buna göre yanal PWM sinyalinin

aracın pistin sağ tarafına belli bir mesafede kalmasını sağlayacak şekilde motoru y6nlendirdiği g6r6lm6řt6r.

Çalışmanın hedefi olan, aracın d6z ve dairesel pistte uygun hızlarda boylamsal ve yanal olarak otonom hareketine kapalı ortamda ve açık sahada yapılan testlerde ulaşılmıştır. Yapılan testler sonucunda araç kontrol sistemi tarafından 6retilen y6nlendirme sinyalleri ile uygun d6n6ř açılarını ve uygun hızları ayarlamış, yolunu tamamlamıştır.

Gelecek çalışmalarda gerekli ortamlarının sağlanması ile gerçek otomobiller 6zerinde de geliştirmeler yapılabilir. Bu çalışmada hazırlanan algoritma ve kontrol sistemleri, b6y6k araçlar için uygun aygıtların kullanılması ile kolaylıkla gerçek araç sistemlerine de entegre edilebilecek durumdadır.

KAYNAKLAR

1. İnternet: Sürücüsüz araç trafiğe çıktı!. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fgundem.bugun.com.tr%2Fsurucusuz-arac-trafige-cikti-haberi%2F122296&date=2015-07-20>, Son Erişim Tarihi: 20.07.2015.
2. İnternet: Google Car hakkında her şey! - Makaleler. Chip. URL: http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.chip.com.tr%2Fmakale%2Fgoogle-car-hakkinda-her-sey_54636.html&date=2015-07-20, Son Erişim Tarihi: 20.07.2015
3. İnternet: DeMattia, N. California shares details of self-driving car accidents. BMWBLOG. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.bmwblog.com%2F2015%2F06%2F23%2Fcalifornia-shares-details-of-self-driving-car-accidents%2F&date=2015-07-20>, Son Erişim tarihi: 20.07.2015.
4. İnternet: Behind the Google Self Driving Car Project. Google. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.youtube.com%2Fwatch%3Fv%3DcdeXlrq-tNw&date=2015-07-20>, Son Erişim tarihi: 20.07.2015.
5. İnternet: O'Kane, S. This is the first road-legal big rig that can drive itself. The Verge. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.theverge.com%2F2015%2F5%2F6%2F8556791%2Fself-driving-semi-big-rig-freightliner-inspiration-truck&date=2015-07-20>, Son Erişim tarihi: 20.07.2015.
6. Karayolları Genel Müdürlüğü Trafik Güvenliği Dairesi Başkanlığı. (2014). *2013 Yılı Trafik Kazaları Özeti*. Ankara.
7. Alçı M., Karatepe E. (2002). *Bulanık Mantık ve MATLAB Uygulamaları*. İzmir. 8-10.
8. Elmas, Ç. (2011). *Yapay Zeka Uygulamaları*. Ankara: Seçkin Yayıncılık, 185-187.
9. Sheridan, T. B., Verplank, W. L. (1978). *Human and Computer Control of Undersea Teleoperators*. Massachusetts: Massachusetts Institute of Technology Man-Machine Systems Laboratory.
10. Gardels, K. (1960). *Automatic Car Controls for Electronic Highways*. Michigan: General Motors Araştırma Laboratuvarı.
11. Barrick, D. (1962). Automatic steering techniques. *IRE Int. Conv. Rec*, 10, 166-178.
12. Cheng, H., Zheng, N., Zhang, X., Qin, J., ve Wetering, H. V. D. (2007). Interactive Road Situation Analysis for Driver Assistance and Safety Warning Systems: Framework and Algorithms. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 8(1), 157-167.

13. Arem, B. V., Driel C. J. G. V., ve Visser, R. (2006). The Impact of Cooperative Adaptive Cruise Control on Traffic-Flow Characteristics. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 7(4), 429-436.
14. Yoon, J., Cho, W., Koo, B., ve Yi, K. (2009). Unified Chassis Control for Rollover Prevention and Lateral Stability. *IEEE Transactions On Vehicular Technology*, 58(2), 596-609.
15. Lin, J. S., ve Ting, W. E. (2007). Nonlinear control design of anti-lock braking systems with assistance of active suspension. *IET Control Theory Appl.*, 1(1), 343-348.
16. Bi, L., Tsimhoni, O., ve Liu, Y. (2009). Using Image-Based Metrics to Model Pedestrian Detection Performance With Night-Vision Systems. *IEEE Transactions On Intelligent Transportation Systems*, 10(1), 155-164.
17. Gehrig, S. K., ve Stein, F. J. (2007). Collision Avoidance for Vehicle-Following Systems. *IEEE Transactions On Intelligent Transportation Systems*, 8(2), 233-244.
18. Li, T. H. S., ve Chang, S. J. (2003). Autonomous Fuzzy Parking Control of a Car-Like Mobile Robot. *IEEE Transactions On Systems, Man, And Cybernetics*, 33(4), 451-465.
19. Ackermann, J., Bunte T., Odenthal, D. (1999). *Advantages of Active Steering for Vehicle Dynamics Control*. Cologne: German Aerospace Center.
20. Sugeno M., ve Murakami, K. (1984). Fuzzy Parking Control of Model Car. *23rd Conference on Decision and Control*, Las Vegas.
21. Tan, H. S., Bu, F., ve Bougler, B. (2007). A Real-World Application of Lane-Guidance Technologies – Automated Snowblower. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 8(3), 538-548.
22. White, R., ve Tomizuka, M. (2001). Autonomous Following Lateral Control of Heavy Vehicles Using Laser Scanning Radar. *American Control Conference*, Arlington.
23. Chen, X., Yang T., ve Zhou, X. C. K. (2008). A Generic Model-Based Advanced Control of Electric Power-Assisted Steering Systems. *IEEE Transactions On Control Systems Technology*, 16(6), 1289-1300.
24. Chaib S., Netto M. S., ve Mammar S. (2004). Adaptive, PID and fuzzy control: a comparison of controllers for vehicle lane keeping. *IEEE Intelligent Vehicles Symposium*, Parma, Italy.
25. Zade, L. A. (1965). Fuzzy Sets and Information Granularity. *Inf. Control* 8, 338-353.
26. Mamdani E. H. (1974). Application of fuzzy algorithms for control of simple dynamic plant. *Institution of Electrical Engineers*, 121(12), 1585-1588.
27. Team Ensco. (2004). *DARPA Grand Challenge Technical Paper*.
28. Team Spirit of Las Vegas. (2004). *DARPA Grand Challenge Technical Paper*.
29. Overboat Team. (2005). *DARPA Grand Challenge Technical Paper*.

30. Cajunboat Team. (2005). *DARPA Grand Challenge Technical Paper*.
31. İnternet: Differential GPS. Wikipedia. URL: http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fen.wikipedia.org%2Fwiki%2FDifferential_GPS&date=2015-07-20, Son Erişim tarihi: 20.07.2015.
32. İnternet: Ozansoy, K. O. Ankara Üniversitesi. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2F80.251.40.59%2Fscience.ankara.edu.tr%2Ffoozansoy%2Ff-106%2Fjiroskop.htm&date=2015-07-20>, Son Erişim tarihi: 20.07.2015.
33. İnternet: İvmeölçer. Wikipedia, URL: <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Ftr.wikipedia.org%2Fwiki%2F%25C4%25B0vme%25C3%25B6l%25C3%25A7er&date=2015-07-20>, Son Erişim tarihi: 20.07.2015.
34. Cremean, L. B., Foote, T. B., Gillula, J. H., Hines, G. H., Kogan, D., Kriechbaum, K. L., Lamb, J. C., Leibs, J., Lindzey, L., Rasmussen, C. E., Stewart, A. D., Burdick, J. W., ve Murray, R. M. (2006). Alice: An information-rich autonomous vehicle for high-speed desert navigation. *Journal of Field Robotics*, 23(9), 777-810.
35. İnternet: Hachman M. 'Eyes' of Google's Self-Driving Car May Bust Crooks. PCMAG. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.pcmag.com%2Farticle2%2F0%2C2817%2C2402516%2C00.asp&date=2015-07-20>, Son Erişim tarihi: 20.07.2015.
36. İnternet: Meynen, A. The Autonomous World. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Ftheautonomousworld.wordpress.com%2F2014%2F11%2F11%2Fcan-you-afford-one&date=2015-07-20>, Son Erişim tarihi: 20.07.2015.
37. İnternet: Point Grey. Vision Based Autonomous Vehicle for High-Vegetated Off-Road Terrain. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.ptgrey.com%2Fcase-study%2Fid%2F10418&date=2015-07-20>, Son Erişim tarihi: 20.07.2015.
38. İnternet: Anthony Best Dynamics. Autonomous Vehicle Track Testing Systems. URL: http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.abd.uk.com%2Fen%2Fdriverless_testing&date=2015-07-20, Son Erişim tarihi: 20.07.2015.
39. İnternet: Pilsan. Snappy Akülü Araba. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.pilsanshop.com%2Fpilsan-snappy-akulu-araba-&date=2015-07-20>, Son Erişim tarihi: 20.07.2015.
40. İnternet: Pilsan Snappy 12V. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.pilsanshop.com%2Fpilsan-snappy-akulu-araba-&date=2015-07-20>, Son Erişim tarihi: 20.07.2015.
41. İnternet: Robotistan. BTS7960B 20 Amper Motor Sürücü Kart. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.robotistan.com%2FBTS>

- 7960B-20-Amper-Motor-Surucu-Karti%2CPR-1954.html&date=2015-07-20, Son Erişim tarihi: 20.07.2015.
42. İnternet: ElectroBlogs. CNY70 Kontrast Sensörü Nedir?. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Felectroblogs.wordpress.com%2F2014%2F01%2F03%2Fcny70-kontrast-sensoru-nedir-kfb4%2F&date=2015-07-20>, Son Erişim tarihi: 20.07.2015.
43. İnternet: Fiorino Fun Club. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.fiorinofunclub.com%2FKonu-Fiorino-Ic-Aydinlatma-Modifiyesi-Resimli-Anlatim.html%3Fpage%3D3&date=2015-07-20>, Son Erişim tarihi: 20.07.2015.
44. İnternet: EPP Europe. Reed relay basics. URL: http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.epp-europe.eu%2Fnews%2F-%2Farticle%2F32536727%2F39985541%2Freed-relay-basics%2Fart_co_INSTANCE_0000%2Fmaximized%2F&date=2015-07-20, Son Erişim tarihi: 20.07.2015.
45. İnternet: Robotistan. Reed Röle Kartı (Reed Relay). URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.robotistan.com%2Freed-Role-Karti-Reed-Relay%2CPR-2087.html&date=2015-07-20>, Son Erişim tarihi: 20.07.2015.
46. İnternet: Datasheet Archive. Electronic component photo and image archive. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.datasheetarchive.com%2Fphotos%2F156.html&date=2015-07-20>, Son Erişim tarihi: 20.07.2015.
47. İnternet: Türk Dil Kurumu. Ackerman yönlendirmesi. URL: http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.tdk.gov.tr%2Findex.php%3Foption%3Dcom_bts%26view%3Dbts%26kategori1%3Dveritbn%26kelimesec%3D1883&date=2015-07-20, Son Erişim tarihi: 20.07.2015.
48. İnternet: Dutch Force. Electronics Forum Ackerman Steering. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.dutchforce.com%2F%7Eeforum%2Findex.php%3Fs%3D34316bac96ae0f983f53793aa60f77a6%26showtopic%3D36193&date=2015-07-20>, Son Erişim tarihi: 20.07.2015.
49. İnternet: Robotistan. Tower Pro MG996 RC Servo Motor. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.robotistan.com%2FTower-Pro-MG996-RC-Servo-Motor%2CPR-829.html&date=2015-07-20>, Son Erişim tarihi: 20.07.2015.
50. İnternet: Electronicos Caldas. MG996R High Torque Metal Gear Dual Ball Bearing Servo. URL: http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.electronicoscaldas.com%2Fdatasheet%2FMG996R_Tower-Pro.pdf&date=2015-07-20, Son Erişim tarihi: 20.07.2015.
51. İnternet: Robot Projeleri. Potansiyometre. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.robotprojeleri.com%2F>

- market%2Findex.php%3Frout%3Dproduct%2Fproduct%26product_id%3D315&date=2015-07-20, Son Erişim tarihi: 20.07.2015.
52. Paradkar, P. K. Ultrasonic Sensor HC-SR04. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Frobotronicspro.blogspot.in%2F2014%2F11%2Fultrasonic-sensor-hc-sr04-interfacing.html%23.VYmcGfntmko&date=2015-07-20>, Son Erişim tarihi: 20.07.2015.
 53. İnternet: ELEC Freaks. Ultrasonic Ranging Module HC - SR04. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.micropik.com%2FPDF%2FHCSR04.pdf&date=2015-07-20>, Son Erişim tarihi: 20.07.2015.
 54. İnternet: Elecrow. HC-SR04 Ultrasonic Ranging Sensor. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.elecrow.com%2Fhcsr04-ultrasonic-ranging-sensor-p-316.html&date=2015-07-20>, Son Erişim tarihi: 20.07.2015.
 55. İnternet: Rouvelle, J. Robotic arts intro. URL: http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Frouvelle.com%2Frai_fa_12%2F&date=2015-07-20, Son Erişim tarihi: 20.07.2015.
 56. İnternet: Robotistan. PIC 18F452. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.robotistan.com%2FPIC-18F452%2CPR-2203.html&date=2015-07-20>, Son Erişim tarihi: 20.07.2015.
 57. İnternet: 320 Volt. PIC18F452 Hakkında Bilgi C Dili PIC Uygulamaları. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2F320volt.com%2Fpic18f452-hakkinda-bilgi-c-dili-pic-uygulamaları&date=2015-07-20>, Son Erişim tarihi: 20.07.2015.
 58. İnternet: Microchip Technologies. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.microchip.com%2Fwwwproducts%2FDevices.aspx%3Fproduct%3DPIC18F452&date=2015-07-20>, Son Erişim tarihi: 20.07.2015.
 59. İnternet: Microchip Technology. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fww1.microchip.com%2Fdownload%2Fen%2FDeviceDoc%2F39564c.pdf&date=2015-07-20>, Son Erişim tarihi: 20.07.2015.
 60. İnternet: MathWorks. Control Tutorials for MATLAB and Simulink - Introduction: PID Controller Design. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fctms.engin.umich.edu%2FCTMS%2Findex.php%3Fexample%3DIntroduction%26section%3DControlPID&date=2015-07-20>, Son Erişim tarihi: 20.07.2015.
 61. İnternet: Bennett, J., Bhasin, A., Grant J., ve Lim, W. C. PIDTuningClassical. URL: http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fcontrols.engin.umich.edu%2Fwiki%2Findex.php%2FPIDTuningClassical%23Ziegler-Nichols_Method&date=2015-07-20, Son Erişim tarihi: 20.07.2015.
 62. Bequette, B. W. (2003). *PID Controller Tuning*. New Jersey: Prentice Hall, 199-210.

63. Bequette, B. W. (2003). *PID Controller Tuning Process Control: Modeling, Design, and Simulation*. New Jersey: Prentice Hall, 202-210.
64. Astrom K. J., ve Hagglund, T. (1995). *PID Controllers: Theory, Design and Tuning*. North Carolina: The Instrumentation, Systems, and Automation Society.
65. İnternet: Mathworks. Control Tutorials for MATLAB and Simulink - Motor Speed: System Modeling. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fctms.engin.umich.edu%2FCTMS%2Findex.php%3Fexample%3DMotorSpeed%26section%3DSystemModeling&date=2015-07-20>, Son Erişim tarihi: 20.07.2015.
66. Ogata, K. (2009). *Modern Control Engineering*, New Jersey: Prentice Hall, 95.
67. İnternet: 320 Volt. ARX34 ATX34 Seri Porttan 2X16 Lcd Data Gönderimi. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2F320volt.com%2Farx-34-ve-atx-34-ile-seri-porttan-2x16-lcd-data-gonderimi&date=2015-07-20>, Son Erişim tarihi: 20.07.2015.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : SOMUNCUOĞLU, Abdullah Nuri
 Uyruğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 12.11.1988, Aksaray
 Medeni hali : Bekâr
 Telefon : 0 (532) 253 22 43
 e-posta : asomuncu@metu.edu.tr



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi / Elekt. Elektr. Müh.	2015
Lisans	Gazi Üniversitesi / Elekt. Elektr. Müh.	2011
Lise	Aksaray Anadolu Öğretmen Lisesi	2006

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2013 - Halen	Orta Doğu Teknik Üniversitesi	Araştırma Görevlisi

Yabancı Dil

İngilizce - Almanca

Yayınlar

A. N. Somuncuoğlu ve T. S. Navruz, “Longitudinal and Lateral Control for Unmanned Ground Vehicles”, *2nd International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science*, Karabük, 2014.

Hobiler

Tarih Sohbetleri, Müzik, Belgesel, Sinema



GAZİ GELECEKTİR..