

**TAKİPÇİ ROBOTLARIN KABİLİYETLERİNİN
İYİLEŞTİRİLMESİ**

**2013
YÜKSEK LİSANS TEZİ
BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ**

Bilgisayar Mühendisi S. M. Fatih APAYDIN

TAKİPÇİ ROBOTLARIN KABİLİYETLERİNİN İYİLEŞTİRİLMESİ

Bilgisayar Mühendisi S. M. Fatih APAYDIN

**Karabük Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

KARABÜK

Nisan 2013

S. M. Fatih APAYDIN tarafından hazırlanan “TAKİPÇİ ROBOTLARIN KABİLİYETLERİNİN İYİLEŞTİRİLMESİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Abdullah ÇAVUŞOĞLU

I. Tez Danışmanı, Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı

Yrd. Doç. Dr. Lami KAYA

II. Tez Danışmanı, Yıldırım Beyazıt Üniversitesi

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 04/04/2013

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Prof. Dr. Abdullah ÇAVUŞOĞLU (KBÜ)

Üye : Yrd. Doç. Dr. İlhami Muharrem ORAK (KBÜ)

Üye : Doç. Dr. İlyas ÇANKAYA (YBÜ)

04/04/2013

KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Nizamettin KAHRAMAN

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

S. M. Fatih APAYDIN

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

TAKİPÇİ ROBOTLARIN KABİLİYETLERİNİN İYİLEŞTİRİLMESİ

Bilgisayar Mühendisi S. M. Fatih APAYDIN

Karabük Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Prof. Dr. Abdullah ÇAVUŞOĞLU

Yrd. Doç. Dr. Lami KAYA

Nisan 2013, 74 sayfa

Bu çalışmada, takipçi robotların kabiliyetlerinin iyileştirilmesi için öncü robot ve takipçi robot olmak üzere iki adet robot üzerinde çalışılmıştır. Robotların birbirini izlemeyi sürdürmesi ve aralarındaki takip mesafesinin ölçülmesi, uygulanacak geliştirmeler için çok önemlidir. Amaçlanan hedef doğrultusunda takipçi robotun öncü robotu takip etmesi sağlanmıştır. Robotlarla farklı zeminlerde ve ortamlarda performans yönünden testler yapılmış ve bu testlerin sonuçları ölçülerek gerekli iyileştirmeler uygulanmıştır.

Anahtar Sözcükler : Gezgin robot, uzaktan ve otonom kontrol, kızılötesi algılayıcılar, arduino.

Bilim Kodu : 902.1.182, 902.1.096

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

THE IMPROVEMENT OF THE TRACKING ROBOT'S ABILITIES

Computer Engineer S. M. Fatih APAYDIN

Karabük University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Computer Engineering

Thesis Advisor:

Prof. Dr. Abdullah ÇAVUŞOĞLU

Asst. Prof. Dr. Lami KAYA

April 2013, 74 pages

In this study, two types of robot were examined as being pioneer robot and follower robot for improving of the capabilities of tracking robots. Robots continue to tracking each other and measurement of the follow-up distance between them is very important for improvements to be applied. It was achieved that the follower robot follows the pioneer robot in line with intended goals. The tests were applied to the robots in various grounds and environments in point of performance and necessary improvements were implemented by measuring the results of these tests.

Key Words : Mobile robot, remote and autonomous control, infra-red sensors, arduino.

Science Code : 902.1.182, 902.1.096

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının planlanmasında, araştırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalışmamı bilimsel temeller ışığında şekillendiren Sayın Hocam Prof. Dr. Abdullah ÇAVUŞOĞLU ve Sayın Hocam Yrd. Doç. Dr. Lami KAYA'ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Deney senaryolarının tasarlanması ve ölçülmesi konusunda çok değerli bilgilerini benimle paylaşarak tezimin tamamlanmasında emeği geçen İstanbul Teknik Üniversitesi Öğretim Üyesi Doç. Dr. Emin Faruk KEÇECİ'ye teşekkür ederim.

Moral ve motivasyon kaynağım olan sevgili eşime, maddi-manevi hiçbir yardımı esirgemeyen babama, anneme ve ablama tüm kalbimle teşekkür ederim.

Ayrıca bu çalışma esnasında bana yardımcı olan kadim dostlarım Ahmet Berk ÜSTÜN, Hilmi AYGÜN ve Dursun EKMEKÇİ'ye çok özel şükranlarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
ÇİZELGELER DİZİNİ	xii
KISALTMALAR	xiii
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
1.1. TEZİN AMACI.....	4
1.2. LİTERATÜR ÖZETİ.....	4
1.3. TEZİN LİTERATÜRE KATKISI	7
BÖLÜM 2	8
GEZGİN ROBOTLAR	8
2.1. HAREKET SİSTEMLERİ.....	9
2.1.1. Diferansiyel Sürüş Sistemi	10
2.2. ALGILAMA SİSTEMLERİ	13
2.3. ROBOT KONTROL MİMARİLERİ.....	13
BÖLÜM 3	16
UYGULAMA	16
3.1. ÖNCÜ ROBOT.....	16
3.1.1. Robot Karakteri	16
3.1.2. Mekanik Kısım	16
3.1.3. Elektronik Kısım	17
3.1.3.1. Mikrodenetleyici Ve Motor Sürücü Devresi	17
3.1.4. Algılama Sistemleri.....	20
3.1.4.1. Çizgi Takip Devresi.....	20

3.1.4.2. Kızılötesi Sensör Devreleri.....	22
3.1.5. Algoritma ve Yazılım.....	23
3.1.5.1. Sensör Fonksiyonları	25
3.1.5.2. Çizgi İzleme Fonksiyonu.....	27
3.1.6. Uygulama	28
3.2. TAKİPÇİ ROBOT	29
3.2.1. Robot Karakteri	29
3.2.2. Mekanik Kısım.....	29
3.2.3. Elektronik Kısım	30
3.2.3.1. Arduino Devresi.....	30
3.2.4. Algılama Sistemleri.....	31
3.2.5. Algoritma ve Yazılım.....	32
3.2.5.1. void setup()	34
3.2.5.2. void loop()	35
3.2.5.3. void IReye()	36
3.2.5.4. void IRfollow()	36
3.2.6. Uygulama	37
BÖLÜM 4	40
TEST SENARYOLARI.....	40
4.1. ZEMİN VE TAKİP MESAFESİ TESTİ.....	40
4.1.1. Ahşap Zemin	40
4.1.2. Tüylü Zemin	41
4.1.3. Cam Zemin	41
4.1.4. Granit Zemin	42
4.1.5. Yünlü Zemin.....	43
4.2. AÇI TESTİ.....	44
4.2.1. (0 – 30) Derece Arası	44
4.2.2. (30 – 60) Derece Arası	45
4.2.3. (60 – 90) Derece Arası	45
4.2.4. 90 Dereceden Büyük	46
4.3. IŞIK TESTİ.....	47
4.3.1. Gün Işığında	47

4.3.2. Tasarruflu Ampul Işığında	47
4.3.3. Işıksız Ortamda.....	48
BÖLÜM 5	49
SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME	49
KAYNAKLAR	54
EK AÇIKLAMALAR A	58
EK AÇIKLAMALAR B	59
ÖZGEÇMİŞ	60

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1. Robot Örnekleri:(a) Uzay Robotu, (b) Medikal Robot, (c) Askeri Robot, (d) İnsansı Robot.....	2
Şekil 1.2. Google Otonom Aracı.....	5
Şekil 1.3. California PATH Platoon.....	6
Şekil 1.4. SARTRE Platoon	7
Şekil 2.1. Gezgin Robot Sistemi	8
Şekil 2.2. Hareket Sistemlerine Göre Gezgin Robot Örnekleri: a) Pioneer 3-DX Tekerlekli Robot (http://www.mobilerobots.com), b) Asimo Ayaklı Robot (http://world.honda.com), c) IRobot PackBot Paletli Robot (http://www.irobot.com), d) The OmniTread Model OT-4 Yılsansı Robot (http://www.engin.umich.edu)	9
Şekil 2.3. Diferansiyel Sürüş Tekniği	11
Şekil 2.4. Teker Hızlarının Hareket Yönüne Etkisi.....	11
Şekil 2.5. Diferansiyel Sürüşte Keskin Dönüş	12
Şekil 2.6. Diferansiyel Sürüşte Sabit Dönüş	12
Şekil 2.7. Üç Robotik Değerler Dizisi: a) Sıralı, b) Tepkisel, c) Melez (düşünsel/tepkisel).....	14
Şekil 3.1. Öncü Robotun Mekanik Aksamı.....	17
Şekil 3.2. Öncü Robotun Mikrodenetleyici Ve Motor Sürücü Devresi	18
Şekil 3.3. Öncü Robotun PIC16F877A Elektronik Devre Şeması.....	19
Şekil 3.4. L293D'nin Elektronik Devre Şeması.....	20
Şekil 3.5. Öncü Robotun Çizgi Takip Devre Şeması.....	21
Şekil 3.6. Schmitt Trigger Devre Şeması.....	21
Şekil 3.7. Öncü Robotun Kızılötesi Alıcı-Verici Sensör Devre Şemaları.....	22
Şekil 3.8. Jal Edit Programı.....	23
Şekil 3.9. Öncü Robot Algoritma.....	24
Şekil 3.10. Öncü Robot Sağ ve Sol Sensör Fonksiyonları	25
Şekil 3.11. Öncü Robot Sol Ön ve Sol Arka Sensör Fonksiyonları.....	26

Şekil 3.12. Öncü Robot Sağ Arka Sensör Fonksiyonları	26
Şekil 3.13. Öncü Robot Çizgi Takip Fonksiyonu	27
Şekil 3.14. Öncü Robot	28
Şekil 3.15. Öncü Robotun Yandan Görünümü.....	28
Şekil 3.16. Öncü Robotun Üstten Görünümü.....	29
Şekil 3.17. Takipçi Robotun Mekanik Aksamı	30
Şekil 3.18. Arduino Uyumlu Kart	31
Şekil 3.19. Takipçi Robotun Sensör Devresi	31
Şekil 3.20. Takipçi Robotun Sensör Devre Şeması.....	32
Şekil 3.21. Arduino C Programı.....	33
Şekil 3.22. Takipçi Robot Algoritma	34
Şekil 3.23. Takipçi Robotun Void Setup Fonksiyonu.....	35
Şekil 3.24. Takipçi Robotun Void Loop Fonksiyonu	35
Şekil 3.25. Takipçi Robotun Void IReye Fonksiyonu	36
Şekil 3.26. Takipçi Robotun Void IRfollow Fonksiyonu	37
Şekil 3.27. Takipçi Robot.....	38
Şekil 3.28. Takipçi Robotun Yandan Görünümü	38
Şekil 3.29. Takipçi Robotun Arkadan Görünümü.....	39
Şekil 4.1. Ahşap Zemin Deneyi.....	40
Şekil 4.2. Tüylü Zemin Deneyi	41
Şekil 4.3. Cam Zemin Deneyi	42
Şekil 4.4. Granit Zemin Deneyi.....	43
Şekil 4.5. Yünlü Zemin Deneyi.....	43
Şekil 4.6. (0-30) Derece Deneyi.....	44
Şekil 4.7. (30-60) Derece Deneyi.....	45
Şekil 4.8. (60-90) Derece Deneyi.....	46
Şekil 4.9. 90 Dereceden Büyük Deneyi	47
Şekil 4.10. Işıksız Ortam Deneyi.....	48
Şekil 5.1. Belirli Takip Mesafesi Aralığındaki Zemin Testleri Grafiği	50

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 3.1. PIC16F877A'nın Özellikleri	18
Çizelge 5.1. Zemin Ve Takip Mesafesi Testi	49
Çizelge 5.2. Belirli Takip Mesafesi Aralığındaki Zemin Testleri	50
Çizelge 5.3. Açık Testi	51
Çizelge 5.4. Işık Testi	51

KISALTMALAR

MIT	: Massachusetts Institute of Technology (Massachusetts Teknoloji Enstitüsü)
IBM	: International Business Machines (Uluslararası İş Makineleri)
GPS	: Global Positioning System (Küresel Konumlama Sistemi)
RIA	: Robot Institute of America (American Robot Enstitüsü)
AI	: Artificial Intelligence (Yapay Zekâ)
CPU	: Central Processing Unit (Merkezi İşlem Birimi)
RAM	: Random Access Memory (Rastgele Erişimli Hafıza)
ROM	: Read-Only Memory (Sadece Okunabilir Bellek)
I/O	: Input / Output (Giriş / Çıkış)
PIC	: Peripheral Interface Controller (Giriş Çıkış İşlemcisi)
LED	: Light Emitting Diode (Işık Yayan Diyot)

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Teknolojinin hızla geliştiği ve bu gelişmenin toplumun tüm katmanlarına süratle yayıldığı bilgi ve enformasyon çağında, robotlar hayatımızı kolaylaştırmada çok önemli bir yere sahiptir; öyleki insanlar hayatlarındaki birçok rutin işin otomatik olarak yapılmasını talep etmektedir. Bu bağlamda geçmişte birçok çizgi film ve sinemada karşılaştığımız otonom iş yapabilen robot figürleri, günümüz dünyasında insanların en büyük yardımcıları konumundadır. Teknoloji sınırlarını o kadar zorlamaktadır ki, bilim adamları ve araştırmacılar tarafından insan görünümlü robotlar üretildiği gibi kendi kendine istenilen hedeflere gidebilen otonom gezgin robot araçlar dahi ortaya konmuştur.

Gezgin robot sistemlerinin tasarımında, robotun içinde bulunduğu ortam ile ilgili bilgiyi nasıl temsil edeceği; yerine getireceği görevleri nasıl öğreneceği; ne çeşit planlama ve problem çözümü yapacağı; cevaplara ulaşmak için veri bankasını ve bilgilerini ne kadar hızlı tarayabileceği; içinde bulunduğu dünyayı tanıyabilmek için hangi mekanizmaları kullanacağı gibi konularla ilgilenilmektedir [1].

Gezgin robot sistemlerinin geliştirilmesinde araştırmacıları güdüleyen kuvvet, bu sistemlerin insanlara yararlı olarak kullanılacakları çok sayıda uygulama alanlarına sahip olmalarıdır. Gezgin robotların bazı uygulama alanları şu şekilde verilebilir. İnsan sağlığı için tehlikeli olan uygulamalarda; toksik atıkların temizlenmesi, nükleer güç santrallerinde atıkların toplanması, bomba ve mayın gibi patlayıcıların tespit ve imhası, yüksek gerilim hatlarının temizliği ve bakımı, zararlı atık depolama tanklarının temizliği gibi uygulamalarda kullanılabilir. Tıp alanında; hastalara ilaç, su ve yemek gibi ihtiyaçları ulaştırabilir, laboratuvar örnekleri, raporları ve biyolojik atıkları taşıyabilir, karantina altındaki ortamlarda servis robotu olarak çalışabilir. Ticari temizlik işlerinde; havaalanı, satış merkezleri ve fabrika gibi

ortamların temizliğinde, yüksek binaların dış camlarının temizliğinde kullanılabilir. Tarım alanında; tohum ekilmesi, ilaçlama ve ürün toplama işlerinde kullanılabilir. Madencilik alanında; madenin yerinin tespit edilmesi, çıkarılması ve yüze taşınması işlerinde kullanılabilir. Uzay araştırmalarında; gezegenlerin keşfi, incelenmesi, uzay istasyonlarının yapımı gibi işlerde kullanılabilir. Askeri alanlarda; keşif araçları, askeri birliklere malzeme taşıma gibi işlerde kullanılabilir. Güvenlik amacıyla; büyük binaların, parkların izlenmesinde kullanılabilir. Deniz altında; batık arama ve kurtarma, deniz altı kablo hatlarının döşenmesi ve bakımı gibi işlerde kullanılabilir. Engelli insanlar için; refakatçi robotlar olarak kullanılabilir. Deprem, sel ve yangın gibi afet durumlarında insan kurtarma görevlerinde yardımcı olarak kullanılabilir [2]. Şekil 1.1’de robot örnekleri verilmiştir.



a)



b)



c)



d)

Şekil 1.1. Robot Örnekleri:(a) Uzay Robotu, (b) Medikal Robot, (c) Askeri Robot, (d) İnsansı Robot.

Otonom bir gezgin robot sisteminin geliştirilmesi sürecinde problemlerin çözümü için araştırmalar devam ederken; son yıllarda, görevlerin yapılmasında birden çok sayıda gezgin robotun kullanılmasının getireceği avantajlar düşünülerek yeni bir araştırma alanı ortaya çıkmıştır.

Çoklu gezgin robot sistemleri sunduğu avantajlara rağmen çözüm bekleyen yeni problemleri de ortaya çıkarmıştır. Robotlara görevler nasıl paylaştırılacak ve kısmi sonuçlar nasıl sentezlenecek, etkin koordinasyon mekanizmaları nasıl tasarlanacak, çoklu robot sistemlerinde planlama ve öğrenme nasıl gerçekleştirilecek, bilgi nasıl betimlenecek ve robotların diğer robotların hareket, plan ve bilgilerini yorumlayabilmesi mümkün kılınacak, robotlar nasıl haberleştirilecek ve hangi haberleşme dil ve kuralları kullanılacak, robotların görüşmesi ve çatışmaların çözülmesinin nasıl gerçekleştirileceği gibi birçok problem çözüm yollarının bulunmasını beklemektedir [3].

Otonom araçlar herhangi bir sürücü yardımı olmadan, çevreyi algılayarak kendi kendini yönlendirebilen araçlardır. Otonom araçlar algıladıkları çevreye göre önceden belirlenen bir hedefe gitmek için kendi yönlerini bulabilir ve yolculuk sırasında karşlarına çıkan engellerden zarar görmeden ilerleyebilir. Bu araçlar çevreyi algılayabilmek için lazer, radar, GPS, görüntü işleme ve çeşitli sensörler kullanabilir ve bu algılayıcılardan aldıkları bilgiyi çeşitli kontrol algoritmalarıyla işleyerek kendisi için en uygun rotayı belirleyebilir ve yoldaki engel durumuna göre rotasını güncelleyebilir.

Her alanda hızla gelişen ve yenilenen teknoloji ile birlikte eskiden bir rüya olan otonom araçlar artık günümüzde yaygın bir halde kullanılmaya başlamıştır. Otonom araçların kullanılmasının sebebi sürücü hatasından kaynaklanan kazaların en aza indirilmesi ve olası bir kazada araç içerisinde aracı kullanan herhangi bir sürücü olmadığı için kazalarda can kaybının önlenmesi olarak söylenebilir [4].

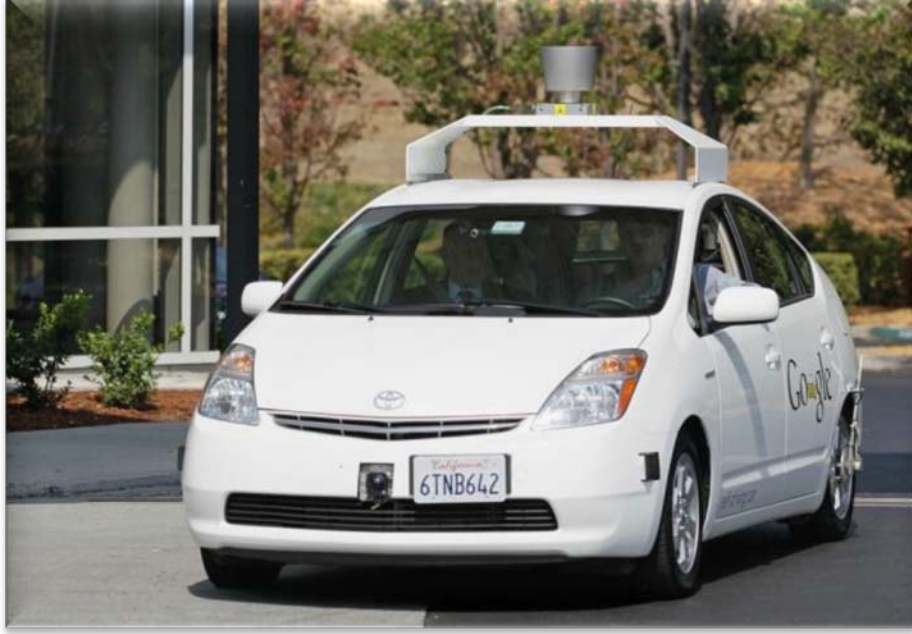
1.1. TEZİN AMACI

Tezin amacı, otonom araçların küçültülmüş boyutlarda benzetimini yaparak, otonom gezgin robotların maliyeti düşük kızılötesi sensörlerle birbirini takip etmesini sağlamaktır. Bunun yanında bu robotlarla birçok deney ortamında ve farklı kriterlerde performans testleri yapılarak robotların takip kabiliyetlerini iyileştirmeye çalışmak da diğer bir hedeftir. Ayrıca farklı hareket senaryoları geliştirerek ve parametreleri değiştirerek sistemin limitlerini ölçmek de tez çalışmasının amaçları arasında yer almaktadır.

1.2. LİTERATÜR ÖZETİ

1980'lerde Münih'teki Bundeswehr Üniversitesi'nde çalışan Ernst Dickmans ve ekibi tarafından geliştirilen Mercedes Benz'in robotik aracı trafiğin olmadığı yolda 100 km/s hıza ulaşabilmeyi başarmıştır. Yine 1980'lerde lazer ve görüntü işleme teknolojilerini kullanan ve 30 km/s hızla giden DARPA projesi geliştirilmiştir. Günümüzde ise General Motors, Volkswagen, Audi, BMW, Volvo, Google kendi otonom araçlarının testlerine başlamış bulunmaktadır. General Motors firması otonom araçlarının 2015 yılında teste başlayacağını ve 2018 yılında bu araçların yollarda olabileceğini belirtmiştir [5].

Otonom araçların trafikte kullanılması ile ilgili kanun Google'ın da büyük desteğiyle, dünyada ilk olarak Amerika'nın Nevada eyaletinde Haziran 2011'de çıkarılmıştır [5]. Şekil 1.2'de Google'ın otonom aracı görülmektedir.



Şekil 1.2. Google Otonom Aracı

Sensörler kullanılarak yapılan çalışmalarda ışık sensörleri tercih edilebileceği gibi kızılötesi sensörler de konum belirlemede kullanılabilir [6]. Görüntü işleme tabanlı algılama da mobil robotlarda çok sık kullanılan bir tekniktir [7]. Görüntü işleme ile birlikte radar ve çeşitli sensörler de kullanılabilir [8]. Ayrıca mobil robotların kontrollerinde robotların kinematik ve dinamik kontrolü de başka bir çalışma alanıdır [9, 10]. Ayrıca mobil robotların gitmesi istenilen rotalarının hesaplanması üzerinde de birçok çalışma yapılmıştır [11]. Bu hesaplama işlemi her adımda gerçek zamanlı olarak değiştirilebilir [12]. Ayrıca bu belirlenen rotadaki gidilecek yolun optimizasyonu da farklı bir çalışma alanı olarak karşımıza çıkmaktadır [13]. Gidilecek yolların şekilleri üzerinde de yapılmış çalışmalar literatürde bulunmaktadır [14]. Yörünge takibi de mobil robotlarda sık çalışılan bir konudur [15, 16]. Otonom araçların park etmesi de çalışılan alanlardan biridir [17].

Ayrıca Platoon olarak adlandırılan birbirini takip eden araç sistemleri de son zamanlarda üzerine yoğun olarak çalışılan konulardan biridir. Platoon sistemler

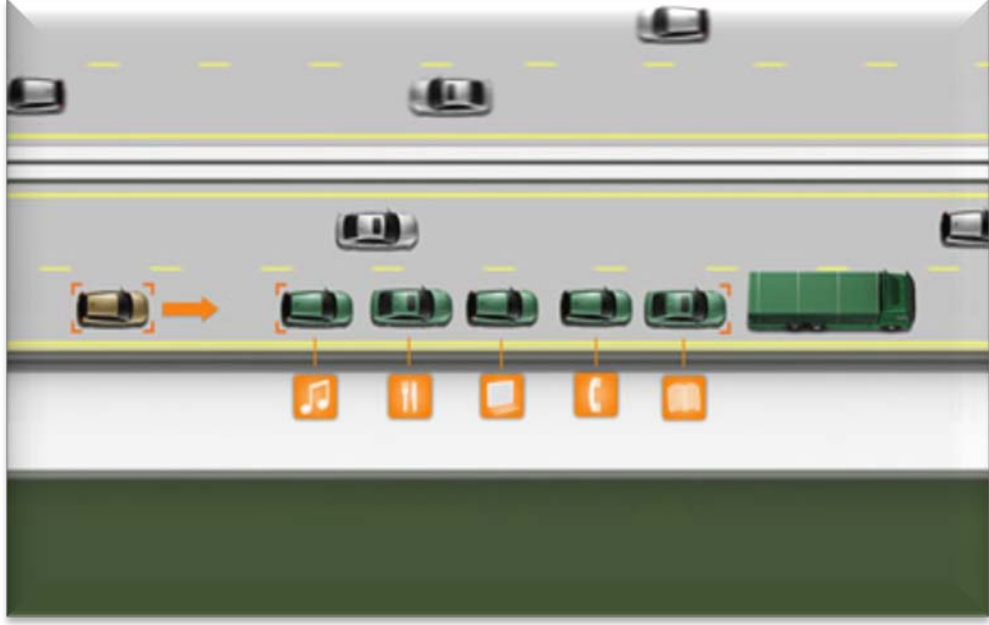
araçların gruplandırılarak hareket ettirilmesiyle yolların kullanım kapasitelerinin artırılmasıdır. Platoon sistemler Otomatik Otoyol Sistemleri(OOS) için önerilen bir teknolojidir [18].

Platoon sistemler elektronik ve mekanik parçaları kullanarak araçlar arasındaki mesafeyi düşürmeyi amaçlamaktadır. Ayrıca araçlar eşzamanlı olarak hızlanacak ve yavaşlayacaklardır. Platoon sistemler yeni araçlar ile satın alınabileceği gibi araçlara sonradan da takılabilir. Yapay zekâlı akıllı araçlar bu sisteme otomatik olarak katılıp ayrılabilir. Ayrıca Otomatik Otoyol Sistemleri için 8 ile 25 arasındaki araçlarla gruplama yapılması önerilmektedir [19]. Şekil 1.3'te California PATH Platoon örneği verilmiştir.



Şekil 1.3. California PATH Platoon

Bununla birlikte Avrupa'da da SARTRE (Safe Road Trains for the Environment) olarak bilinen Platoon sistemler üzerine çalışmalar yapılmaktadır. Avrupa komisyonu ve Volvo tarafından desteklenen proje kapsamında, Yol Trenleri oluşturularak güvenli ve çevreci yeni bir sürüş sistemi oluşturulması amaçlanmıştır [20]. Şekil 1.4'te SARTRE Platoon örneği verilmiştir.



Şekil 1.4. SARTRE Platoon

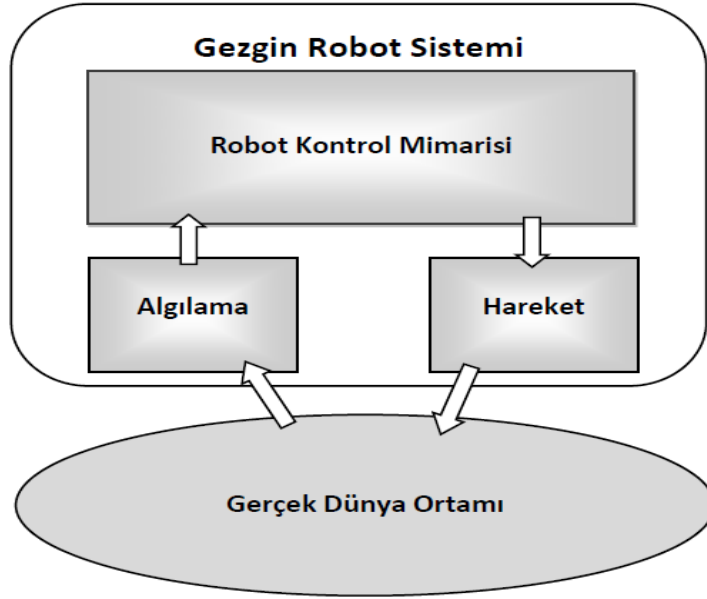
1.3. TEZİN LİTERATÜRE KATKISI

Literatür taramasında yapılan araştırmalarda, otonom araçlarla gerçekleştirilen çalışmalar yoğunluktadır. Gerçek araçlarla ortaya konulan bu çalışmalar, yüksek maliyetler gerektirdiğinden birçok araştırmacı bu konudan uzak kalmıştır. Ayrıca gerçek araçlarla kurulan sistemlerin sınırlı sayıda araçla test edilmesi, kontrol ve koordinasyon problemleri ile güvenlik sıkıntılarını ortaya çıkarmıştır. Bu tez kapsamında yapılan çalışmalar ve kurulan sistem, modülerlik ve genişleyebilirlik açısından araştırmacılara avantajlar sağlamaktadır. Bunun yanında boyutları küçültülmüş gezgin robotların kullanılması sayesinde kontrol, koordinasyon ve deney ortamı oluşturmak büyük araçlara göre daha kolaydır.

BÖLÜM 2

GEZGİN ROBOTLAR

Gezgin robotlar, fiziksel ortamlarda hareket edebilmeleri ve ortama etki edebilmeleri amacıyla hareket sistemleriyle ve içinde buldukları ortamı algılayabilmeleri amacıyla da algılama sistemleriyle donatılan; kendilerinden beklenen görevleri gerçekleştirmek üzere bu sistemlerin koordinasyon ve kontrolünü gerçekleştirecek kontrol mimarisine sahip araçlardır [2]. Gezgin robot sistemlerini oluşturan parçalar farklı bakış açıları ile çeşitli kaynaklarda anlatılmaktadır [1, 21-23]. Şekil 2.1’de gezgin robot sisteminin genel gösterimi verilmiştir.

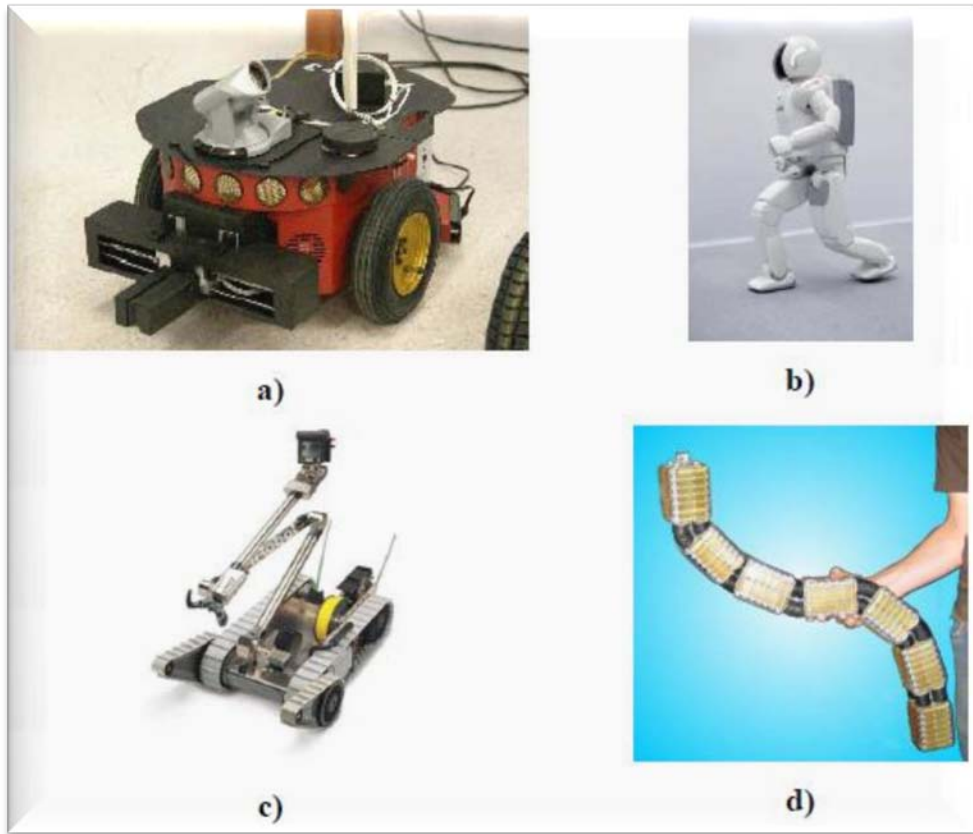


Şekil 2.1. Gezgin Robot Sistemi

Gezgin robotların kontrol yöntemleri ve sistem mimarilerinin geliştirilmesi ile ilgili çok sayıda çalışma yapılmıştır [24-37]. Mevcut kontrol yöntemleri hiyerarşik ve davranış temelli olmak üzere ikiye ayrılmaktadır [25, 28, 38].

2.1. HAREKET SİSTEMLERİ

Gezgin robotlar, buldukları ortama (kara, deniz veya hava) bağılı olarak değişik hareket mekanizmalarına sahiptirler. Buldukları ortamın bina içi ve dıőı olması, bina dıőında ise zeminin kayalık ya da kumluk olması, aracın havada ya da suda bulunması robotun hareket sistemlerinin geliştirilmesinde etken olmaktadır. Bu durumlara bağılı olarak, gezgin robotlar genellikle tekerlekli, ayaklı, paletli ve yılanı hareket mekanizmalarına sahiptirler [2]. Şekil 2.2’de eőtli hareket mekanizmalarına sahip gezgin robot sistemlerinden örnekler gösterilmektedir.



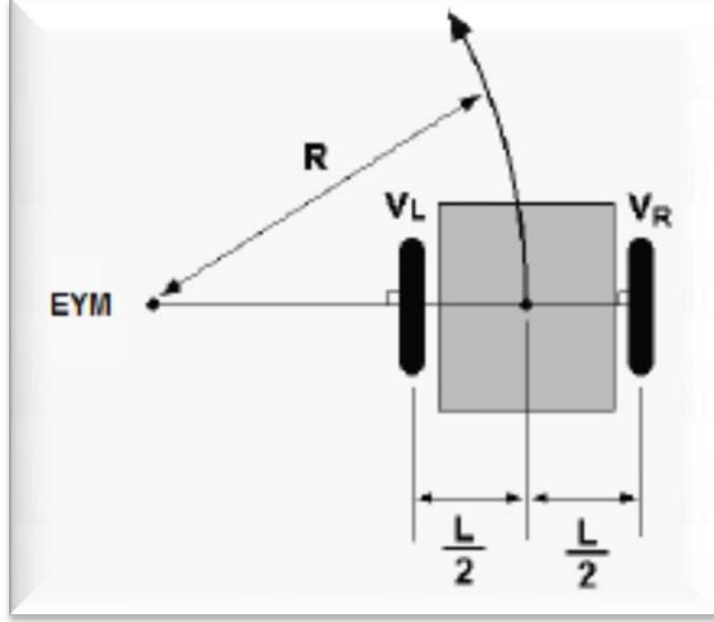
Şekil 2.2. Hareket Sistemlerine Göre Gezgin Robot rnekleri: a) Pioneer 3-DX Tekerlekli Robot (<http://www.mobilerobots.com>), b) Asimo Ayaklı Robot (<http://world.honda.com>), c) IRobot PackBot Paletli Robot (<http://www.irobot.com>), d) The OmniTread Model OT-4 Yılanı Robot (<http://www.engin.umich.edu>) [2].

Tekerlekli ve paletli robotların hareket mekanizmalarına bağlanan hareket sayma duyucuları vasıtasıyla, robotun bağıl konum ve yönlenmesi tahmin edilmektedir. Bu nedenle, çeşitli kinematik tasarımlara göre farklı robot hareket mekanizmaları ortaya çıkmıştır. Bunlardan en yaygın olanları şunlardır: Diferansiyel sürüş, üçtekerli sürüş, Ackermann sürüş, eşzamanlı sürüş, çok yönlü sürüş, çok serbestlik dereceli sürüş [2].

2.1.4. Diferansiyel Sürüş Sistemi

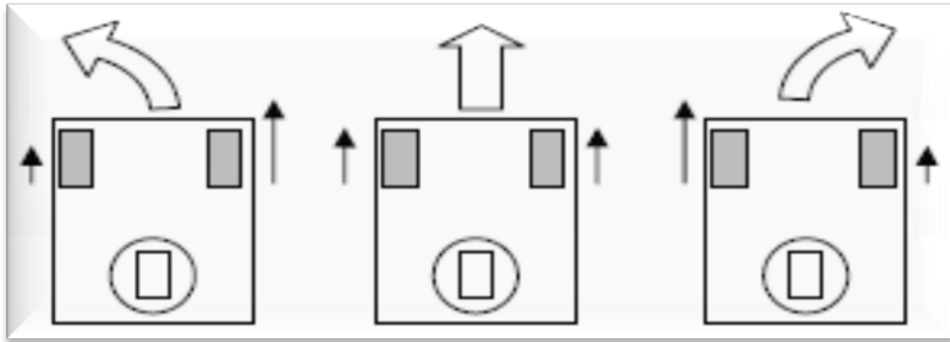
Diferansiyel sürüş ismi (mekanik diferansiyeller içinde geçerli olan) hareket vektörünün her bir tekerin hareket vektörlerinin toplamı olması durumundan gelmektedir. Ancak çoğu robot sisteminde mekanik bir diferansiyel kullanılmamaktadır. Robotlarda kullanılan diferansiyel sürüş sistemi genellikle ayrı ayrı tahrik edilen sol ve sağ tekerlerden oluşur. Ancak tanklarda olduğu gibi paletli tahrik mekanizmaları da kullanılabilir [38].

Genellikle robotik alanında yapılan çalışmalarda modelleme kolaylığı açısından “diferansiyel sürüş” sistemli robotlar kullanılmaktadır. Bu robotlar en az 3 tekerleğe sahiptir. Ortak ekseninde bulunan 2 sabit tekerlek sürüşü sağlarken, 1 ya da daha fazla bulunan serbest tekerlek ise robotun dengesini korumasını sağlar. Bu geometrik yapıya bağlı olarak robot ani yön değişimlerini kolaylıkla gerçekleştirebilir. Şekil 2.3’te gösterilen diferansiyel sürüş tekniğine göre robot iki tekerlek arasındaki hız farkına göre yönelimini gerçekleştirir. Burada EYM eğrilik yarıçapı merkezini göstermektedir [39].



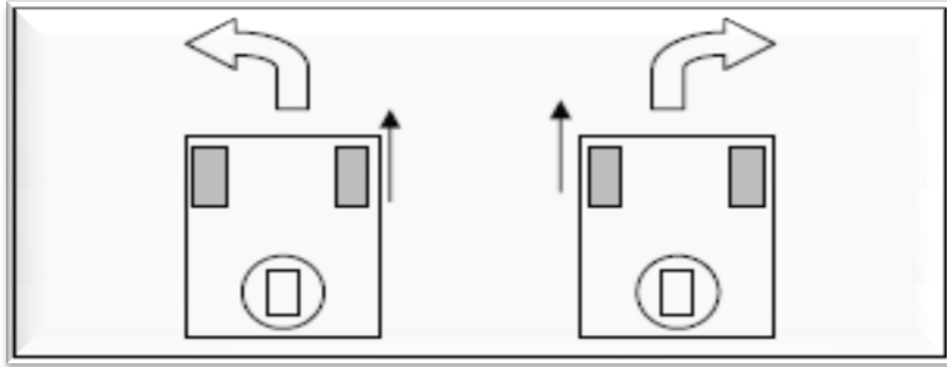
Şekil 2.3. Diferansiyel Sürüş Tekniği [39]

Bir dönüş esnasında dışta bulunan tekerin içteki tekerden daha fazla yol kat etmesi dolayısıyla daha hızlı dönme gereksinimi diferansiyel sürüşün çıkış noktasıdır. Bu prensipten yararlanarak tekerlerden birini diğerinden daha hızlı döndürdüğümüzde bu teker daha fazla yol kat edecek ve robot, yavaş olan tekerin bulunduğu tarafa doğru dönecektir [38]. Şekil 2.4'te teker hızlarının hareket yönüne etkisi gösterilmiştir.



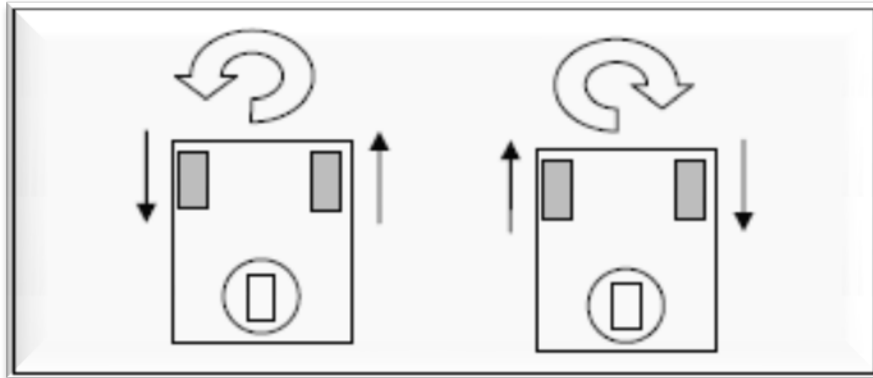
Şekil 2.4. Teker Hızlarının Hareket Yönüne Etkisi [38]

Bu dönüşün çapı her bir tekerin hızına bağlıdır. Dönüş yönüne göre içte kalan tekerin hızı arttıkça dönüş çapı da artmaktadır. Keskin bir dönüş yapılmak istendiğinde ise Şekil 2.5'te görüldüğü gibi iç taraftaki tekerin hızı sıfırlanıp dış teker maksimum hızda döndürülerek istenen dönüş sağlanabilir [38].



Şekil 2.5. Diferansiyel Sürüşte Keskin Dönüş [38]

Diferansiyel sürüş sisteminin bir diğer avantajı ise iç ve dış tekerlerin zıt yönde döndürülerek robotun bulunduğu konumu değiştirmeden yönünü değiştirmesinin sağlanabilmesidir [38]. Şekil 2.6'da diferansiyel sürüşte sabit dönüş gösterilmiştir.



Şekil 2.6. Diferansiyel Sürüşte Sabit Dönüş [38]

Ayrıca tekerlekli gezgin robotların matematiksel olarak da modelleri üzerine birçok çalışma yapılmaktadır. Bunlar, diferansiyel sürürlü bir gezgin robotun kinematik modeli ve dinamik modeli olmak üzere 2 alanda incelenmektedir [39, 40].

2.2. ALGILAMA SİSTEMLERİ

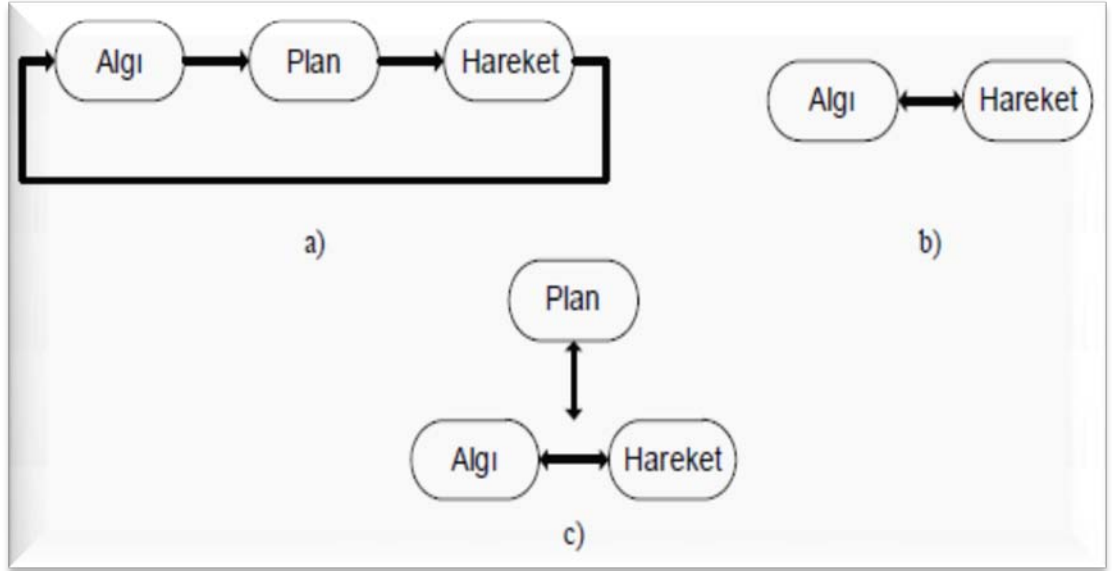
Algılama sistemleri, robotun içinde bulunduğu dünya ile iletişim kurabilmesi için gereklidir. Algılama sistemleri, duyuculardan temin edilen verilerin çeşitli teknikler vasıtasıyla işlenmesini içerir. Robot, çevresindeki engellerin yerlerini ve kendisinin bulunduğu konumu çeşitli algılama sistemleri vasıtasıyla belirler. Gezgin robot, davranışlarının sonuçlarını duyuculardan topladığı veriler ile öğrenir ve bu veriler doğrultusunda davranışlarını düzenler. Duyucular fiziksel değişkenleri elektriksel değere dönüştürür. Duyucuların bazı nitelikleri mevcuttur. 1) Görüş alanı, duyucunun gördüğü alanı tanımlar. 2) Menzil, ise algılayıcının güvenilir ölçüm yapabileceği en uzak mesafeyi tanımlar. 3) Hassasiyet, algılayıcının ne kadar doğrulukla ölçüm yaptığını tanımlar. 4) Tekrarlanabilirlik, aynı koşullarda algılayıcının bir ölçümde aynı değeri ne kadar sıklıkla vereceğini belirtir. 5) Çözünürlük, algılayıcının ölçebileceği ardışık iki değer arasındaki farkın ne kadar olduğunu belirtir. Çözünürlük değerinin küçük olması her zaman tercih sebebidir. 6) Güç tüketimi, bir algılayıcı için önemli bir niteliktir. Gezgin robotlar bataryalardan beslendikleri için mümkün olduğunca az enerji tüketen donanıma sahip olması istenir. 7) Donanım güvenilirliği, duyucular için bir ölçüttür. 8) Duyucunun boyutu da, özellikle gezgin robotlar için önemli bir niteliktir. Duyucuların, robot üzerinde fazla yer kaplamaması beklenir [2].

2.3. ROBOT KONTROL MİMARİLERİ

Gezgin robotlar için, birçok kontrol tekniği ve yaklaşımı geliştirilmiştir. Gezgin robotlarda kontrol sistemleri, içinde buldukları dünya bilgilerini, gerçekleştirilmesi beklenen görevlere ulaşmak maksadıyla hareketlere dönüştürme gayretindedir.

Mimari kavramı, denetim sistemini organize etme prensiplerini sağlayan ve bunun yanında denetim probleminin nasıl çözüleceğinin kısıtlarını koyan yapıdır. Robot mimarilerinin ortak özelliği olarak şunlar sayılabilir: algı ve hareketi sıkı bir şekilde birleştirme gerekliliği üzerindeki vurgu, temsili sembolik bilgidен kaçınma, genel durumun anlamlı parçalara ayrılması (davranış ve durum-hareket ilişkileri) [2, 41].

Kontrol mimarilerini daha iyi anlayabilmek için robotik değerler dizisinden (paradigma) bahsetmekte fayda vardır. Değerler dizisi, bir sınıf probleme yaklaşımı tanımlamak için bir felsefe ya da kabullenme ve/veya teknikler kümesi olarak tanımlanabilir. Bu bağlamda, robotlar için üç tip değerler dizisinden bahsedilmektedir. Bu değerler dizileri, robotikte kabul görmüş üç farklı temel kavramdan türetilmektedir. Şekil 2.7’de robotikte tanımlanmış üç değerler dizisi görülmektedir [1, 2].



Şekil 2.7. Üç Robotik Değerler Dizisi: a) Sıralı, b) Tepkisel, c) Melez (düşünsel/tepkisel) [2]

Kontrol teknikleri, algısal verilerin nasıl işlendiği ve hareketlerin oluşturulduğuna bağlı olarak dört grup altında toplanabilir. İleriye dönük planlama yapılmadan, algının ardından hareket etme eğilimindeki sistemlere tepkisel kontrol sistemleri denir. Bu tip kontrol, insanlardaki refleks hareketlerine benzetilebilir. Tepkiler hızlı bir şekilde gerçekleşir. Davranış-tabanlı kontrolde, yapılacak hareketler üzerinde düşünme işlemi mevcuttur. Ancak, düşünme işlemi hareket üzerinde dağıtılır. Bu tür kontrol örüntüleri, genellikle canlıların davranışlarından esinlenerek geliştirilir. Maksatlı (Hedefli) (deliberative) kontrolde, geçmişteki ve şu andaki duruma bakılır, düşünülüp plan yapılır ve daha sonra harekete geçilir. Tepkide yavaş olmasına rağmen, yüksek seviyede zeki bir sistemdir. Melez kontrol sistemi ise, tepkisel bir kontrol mekanizması, yavaş çalışan hedefli planlama birimi ve bunları birleştiren sıralama mekanizmasından oluşan üç katmandan meydana gelen son zamanların en tercih edilen kontrol yapısıdır [2].

BÖLÜM 3

UYGULAMA

Bu bölümde, tez çalışmasının da konusu olan otonom hareketli gezgin robotların mekanik tasarımları ile robotları kontrol etmek için kullanılan elektronik devreler ve yazılımlar açıklanmaktadır. Çalışma temel olarak iki farklı hedef doğrultusunda iki alana ayrılmıştır. Bu yüzden iki farklı robot üzerinde çalışılmıştır. Bunlardan ilki uzaktan kumanda edilebilen ve yol tayini yapan “Öncü” isimli robottur. Diğeri ise öncü robotu takip eden “Takipçi” robottur.

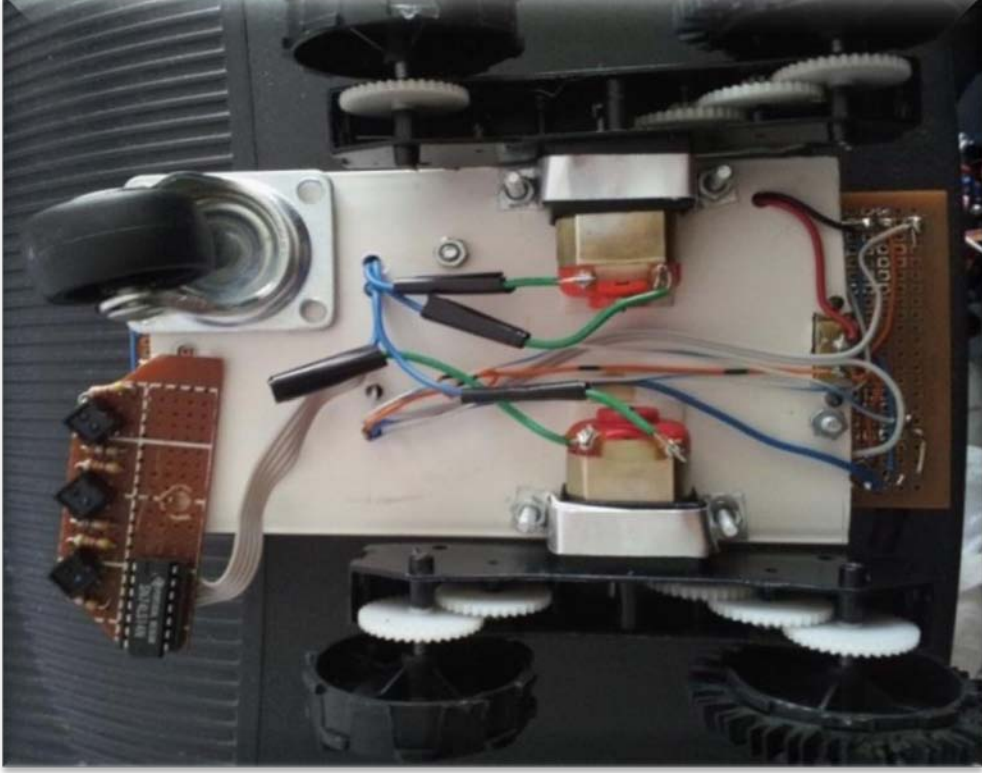
3.1. ÖNCÜ ROBOT

3.1.1. Robot Karakteri

Öncü robot iki farklı modda çalışabilecek şekildedir. İlk modda robot, uzaktan kumanda edilebilecek ve serbest olarak hareket edebilecek niteliktedir. Diğeri ise tamamen otonom hareket edebilecek şekilde programlanmıştır. Robotun genel karakteri, yol planlaması yaparak gidilecek yolu tespit etmektir.

3.1.2. Mekanik Kısım

Öncü robotun tekerleri, ikişer tekerlek yanlarda, bir bilye tekerlek ise önde olmak kaydıyla beş tekerlek üzerinde hareket edecek şekilde konumlandırılmıştır. Sağdaki ve soldaki tekerlekler dişli motor sistemine sahiptir. Dikdörtgen pleksiglas bir malzeme üzerine, diğeri parçalar ve iki adet DC motor monte edilerek oluşturulmuştur. Aşağıdaki Şekil 3.1’de öncü robotun mekanik aksamının alttan görünüşü verilmiştir:



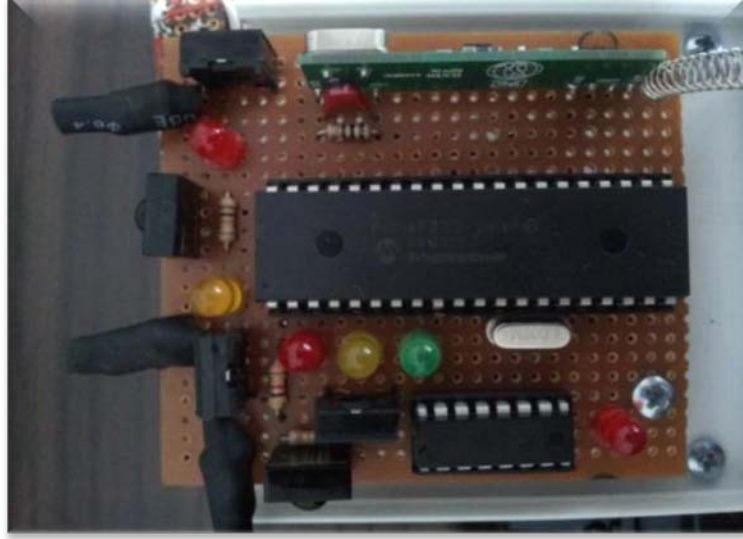
Şekil 3.1. Öncü Robotun Mekanik Aksamı

3.1.3. Elektronik Kısım

Öncü robot PIC ile çalışacak şekildedir. Robotun elektronik devreleri üç kısımdan oluşmaktadır. Bunlar; mikrodnetleyici ve motor sürücü devresi, çizgi takip devresi ve kızılötesi sensör devresidir. Ek-A'da öncü robotun genel devre şeması görülebilir.

3.1.3.1. Mikrodnetleyici Ve Motor Sürücü Devresi

PIC mikrodnetleyicilerin birçok modeli mevcuttur. Ancak öncü robot için en gelişmiş ve en çok kullanılan 16F877A modeli tercih edilmiştir. Ayrıca motor sürücü olarak da L293D kullanılmıştır. Aşağıda Şekil 3.2'de öncü robotun mikrodnetleyici ve motor sürücü devresi verilmektedir:



Şekil 3.2. Öncü Robotun Mikrodenetleyici Ve Motor Sürücü Devresi

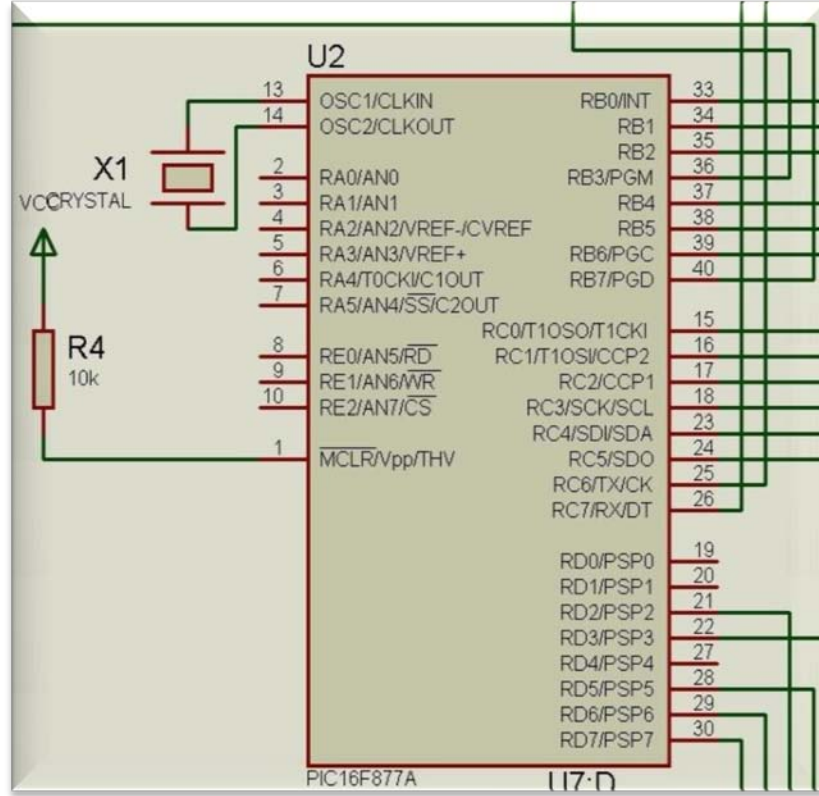
PIC16F877A

16F877A günümüzde en çok kullanılan mikrodenetleyicilerden birisidir. 40 pini bulunmasından dolayı çok fazla giriş-çıkış gerektiren ve birçok sensör kullanılan projeler için uygundur. Çizelge 3.1’de PIC16F877A’nın özellikleri verilmektedir:

Çizelge 3.1. PIC16F877A’nın Özellikleri

Parametrenin adı	Değeri
Program Hafıza Tipi	Flash
Program Hafıza Kapasitesi(KB)	14
CPU Hızı (MIPS)	5
RAM (Byte)	368
Data EEPROM (bytes)	256
Zamanlayıcı	2 x 8-bit, 1 x 16-bit
ADC	8 ch, 10-bit
Sıcaklık aralığı (C)	-40 to 125
Çalışma Voltaj aralığı (V)	2 to 5.5
Bacak Sayısı	40

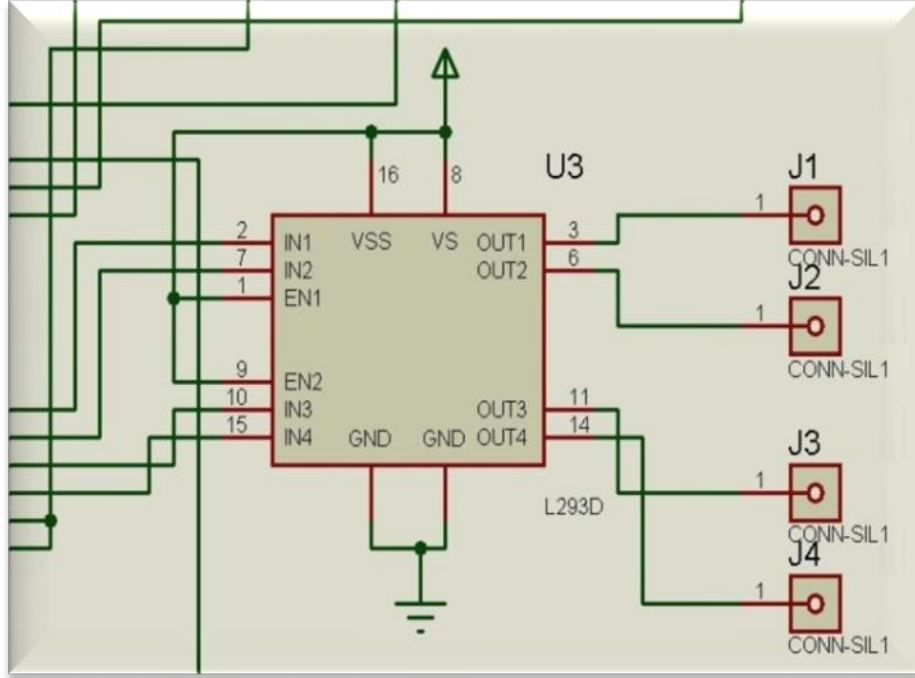
Öncü robotta kullanılan PIC16F877A'nın elektronik devre şeması ve bağlantı noktaları Şekil 3.3'te verilmiştir:



Şekil 3.3. Öncü Robotun PIC16F877A Elektronik Devre Şeması

L293D

PIC16F877A direk olarak motorlara bağlanıp akım verebilmektedir. Ancak ısınma problemi gibi bazı riskleri mevcuttur. Bu nedenle motorlara gönderilecek akım motor sürücüler üzerinden iletilir. Bu, elektronik devreyi ve mikrodenetleyiciyi yanma riskinden koruduğu gibi motorların da daha verimli kullanılmasını sağlamaktadır. L293D, iki motoru hem düz hemde ters olarak çalıştırabilir. Bu sebeple öncü robot için uygun bir parçadır. Şekil 3.4'te L293D'nin elektronik devre şeması verilmektedir:

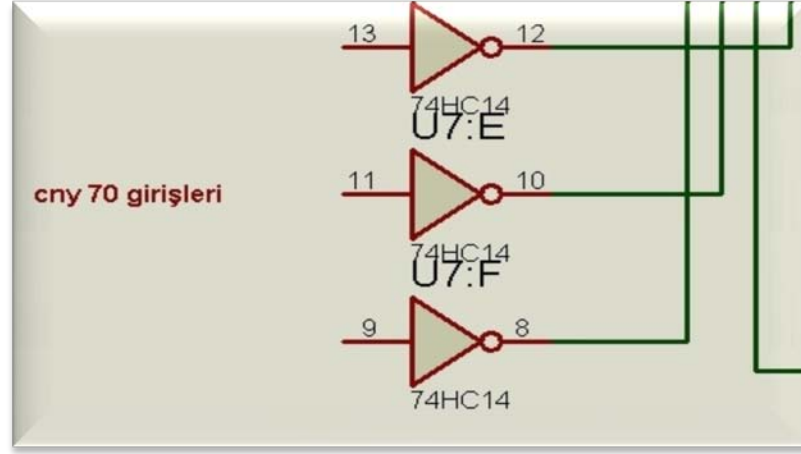


Şekil 3.4. L293D'nin Elektronik Devre Şeması

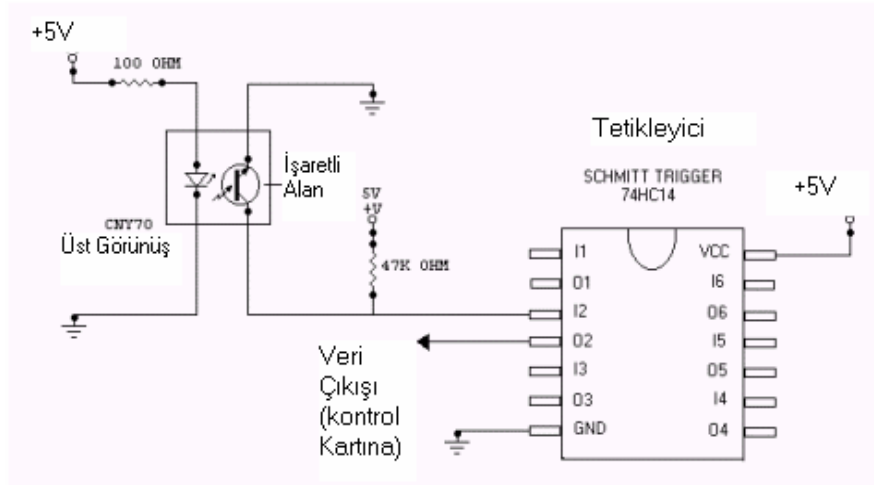
3.1.4. Algılama Sistemleri

3.1.4.1. Çizgi Takip Devresi

Çizgi takip devresinde üç adet CNY70 kontrast sensörü ve Schmitt Trigger tetikleyicisi kullanılmıştır. Şekil 3.5'te öncü robotun çizgi takip devre şeması verilmiştir. Ayrıca Şekil 3.6'da da Schmitt Trigger devre şeması verilmiştir:



Şekil 3.5. Öncü Robotun Çizgi Takip Devre Şeması

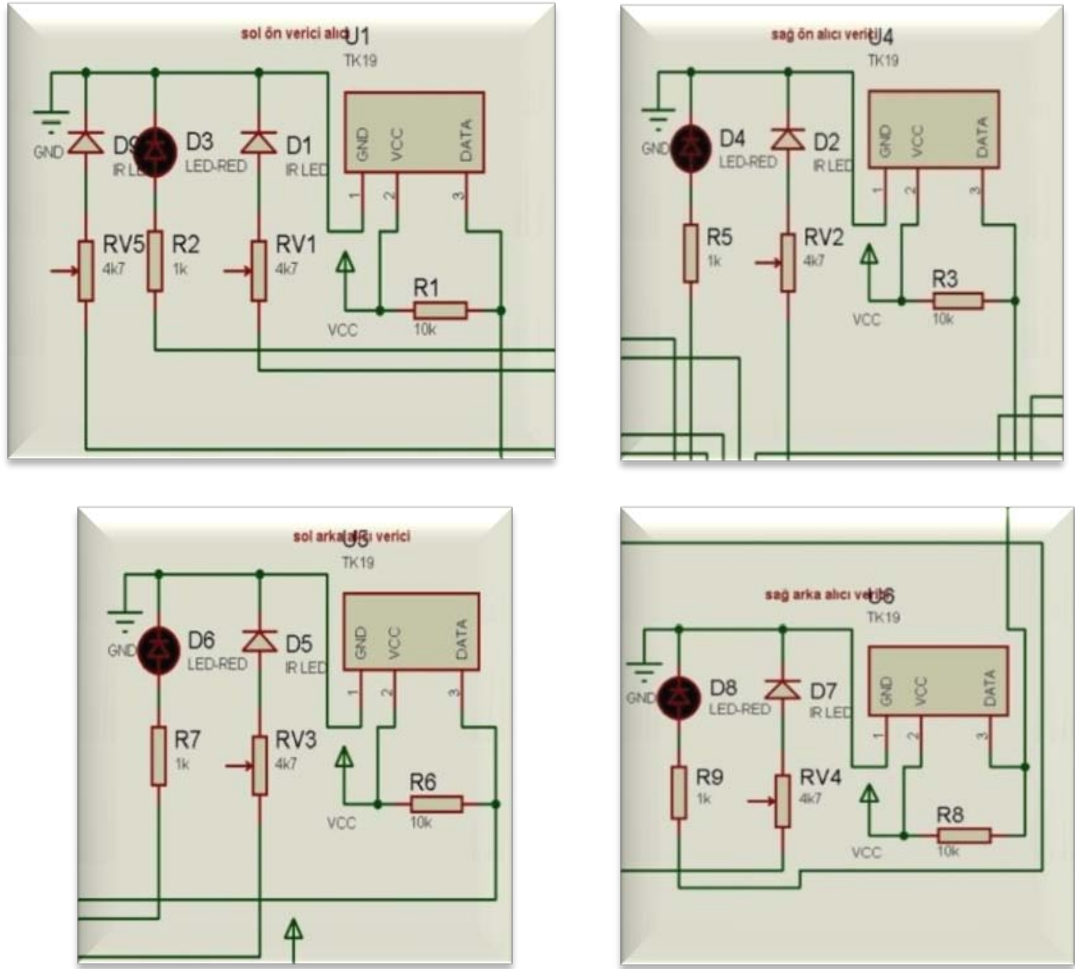


Şekil 3.6. Schmitt Trigger Devre Şeması

CNY70 sensörleri kızılötesi ledler ve foto transistörlerden oluşmaktadır. Temel çalışma prensibi, kızılötesi ledlerin yaymış olduğu sinyallerin foto transistörler tarafından algılanması veya algılanamaması üzerinedir. Bu kızılötesi ışınlar, beyaz renk zeminlerden yansırarak foto transistörler tarafından algılanırken siyah renk zeminlerden herhangi bir yansıma olmadığından algılanmaz. Sensörlerin çalışmasıyla ilgili ayrıntılı değerler Datasheet'te yer almaktadır [42].

3.1.4.2. Kızılötesi Sensör Devreleri

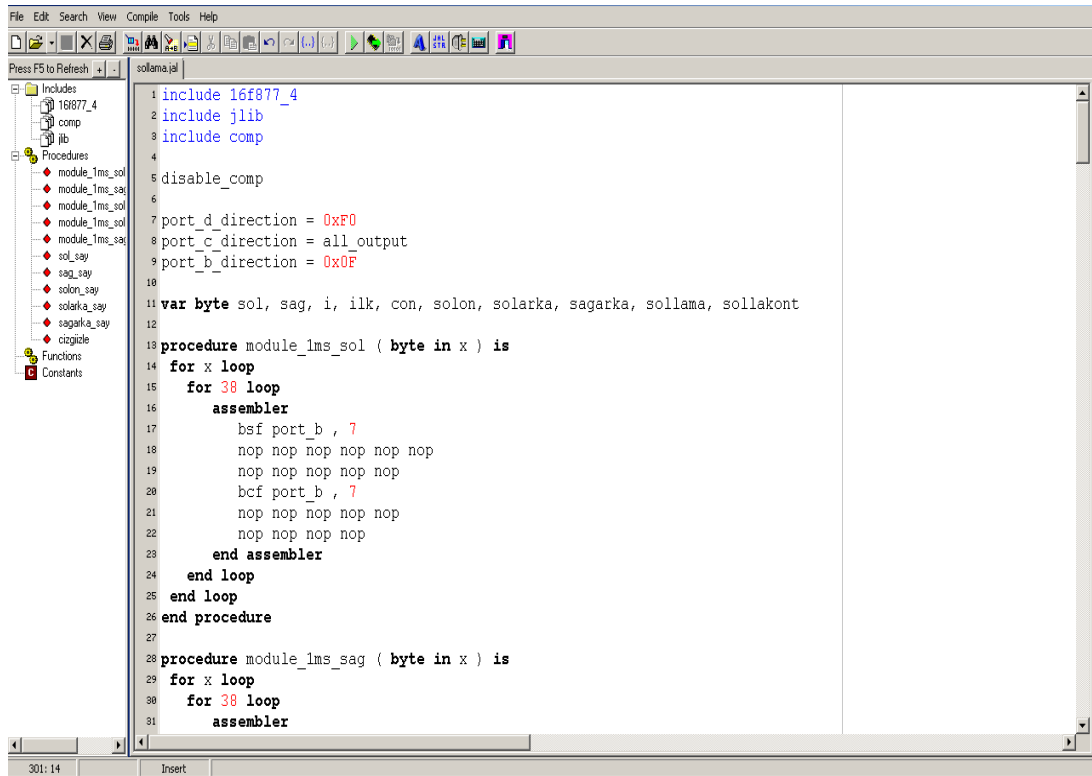
Öncü robotta TK19 kızılötesi alıcı-verici sensörleri bulunmaktadır. Bunlar robotun önünde iki adet, solunda iki adet ve sağında bir adet olmak üzere toplam beş tanedir. Sensörlerin çalışmasıyla ilgili ayrıntılı değerler Datasheet'te yer almaktadır [43]. Şekil 3.7'de öncü robotun kızılötesi alıcı-verici sensör devre şemaları verilmiştir:



Şekil 3.7. Öncü Robotun Kızılötesi Alıcı-Verici Sensör Devre Şemaları

3.1.5. Algoritma ve Yazılım

Öncü robotun yazılımı Jal programlama dilinde yazılmıştır. Jal, pascal benzeri ve ücretsiz bir PIC programlama dilidir. Şekil 3.8’de öncü robotun yazılımı sırasında kullanılan Jal Edit programının ekran görüntüsü verilmiştir.

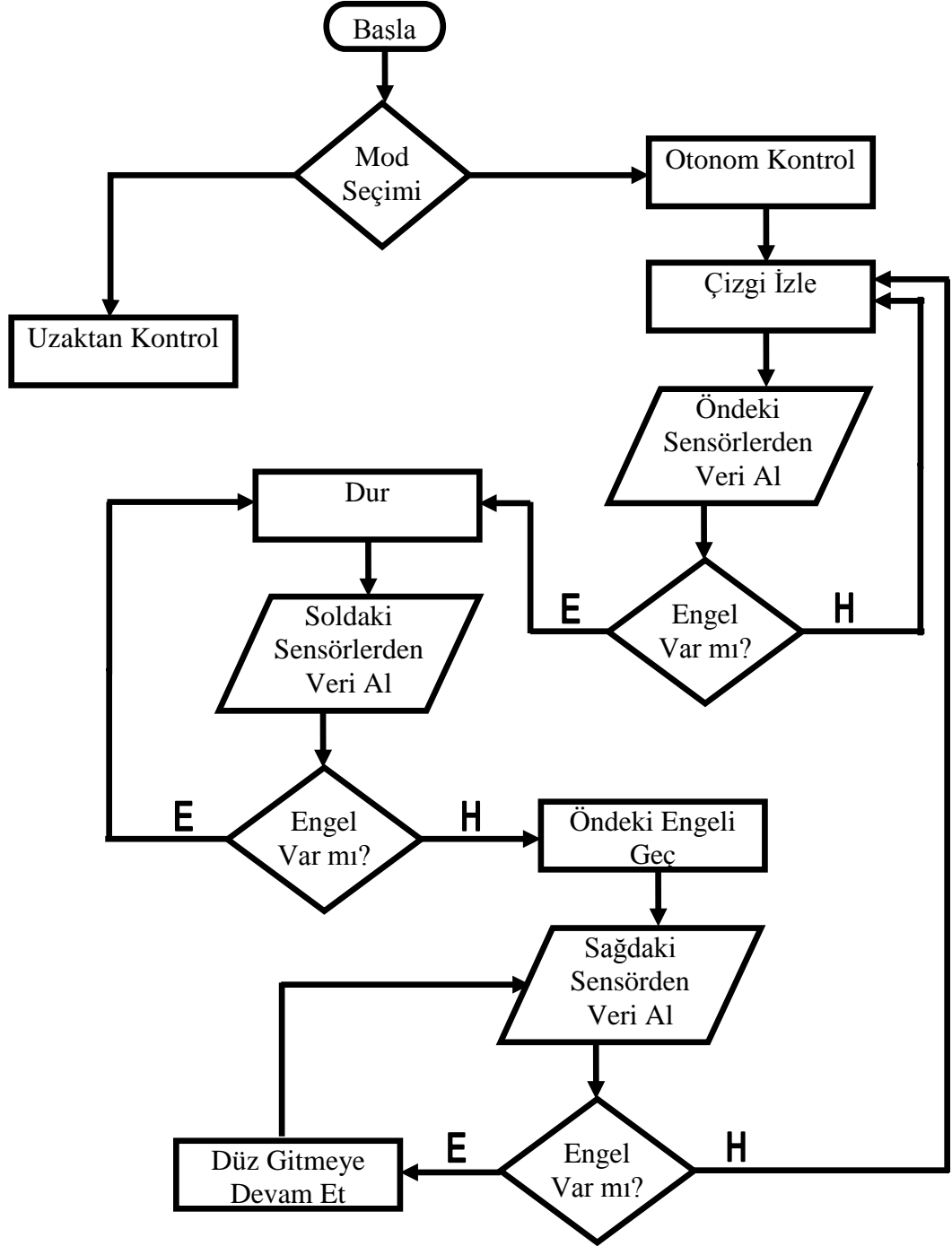


```
1 include 16f877_4
2 include jlib
3 include comp
4
5 disable_comp
6
7 port_d_direction = 0xF0
8 port_c_direction = all_output
9 port_b_direction = 0x0F
10
11 var byte sol, sag, i, ilk, con, solon, solarka, sagarka, sollama, sollakont
12
13 procedure module_lms_sol ( byte in x ) is
14   for x loop
15     for 38 loop
16       assembler
17         bsf port_b , 7
18         nop nop nop nop nop nop
19         nop nop nop nop nop
20         bcf port_b , 7
21         nop nop nop nop nop
22         nop nop nop nop
23       end assembler
24     end loop
25   end loop
26 end procedure
27
28 procedure module_lms_sag ( byte in x ) is
29   for x loop
30     for 38 loop
31       assembler
```

Şekil 3.8. Jal Edit Programı

Öncü robotta toplam 11 adet procedure kullanılmıştır. Bunlara yazılımı içindeki küçük kod blokları denebilir. Bu kod blokları tekrar tekrar yazılması gereken kodlar için hızlı çağırma fonksiyonları olarak ifade edilebilir.

Ayrıca Şekil 3.9’da öncü robotun algoritması görülebilir. Komutlar hakkındaki ayrıntı bilgiler Instruction Set’te yer almaktadır [44].



Şekil 3.9. Öncü Robot Algoritma

3.1.5.1. Sensör Fonksiyonları

Öncü robotta 10 adet ir sensör fonksiyonu bulunmaktadır. Bunlar, öndeki sensörler için 1ms_sol(), 1ms_sag(), sol_say() ve sag_say(); soldaki sensörler için 1ms_solon(), 1ms_solarka(), solon_say() ve solarka_say(); sağdaki sensör için ise 1ms_sagarka() ve sagarka_say(). Bu fonksiyonlardaki temel amaç ir sensörlere bsf (bit set f) komutu ile pin ataması yapmak ve sensörlerden gelen verileri okumaktır. Şekil 3.10'da, Şekil 3.11'de ve Şekil 3.12'de öncü robotun sensör fonksiyonları görülebilir.

```
procedure module_1ms_sol ( byte in x ) is
for x loop
for 38 loop
assembler
bsf port_b , 7
nop nop nop nop nop nop
nop nop nop nop nop
bcf port_b , 7
nop nop nop nop nop
nop nop nop nop
end assembler
end loop
end loop
end procedure

procedure sol_say is
i = 0
for 3 loop
module_1ms_sol ( 2 )
if pin_b3 == low then i = i + 1 end if
module_1ms_sol ( 1 )
delay_1ms ( 5 )
if pin_b3 == high then i = i + 1 end if
end loop
sol = i
end procedure
```

```
procedure module_1ms_sag ( byte in x ) is
for x loop
for 38 loop
assembler
bsf port_b , 6
nop nop nop nop nop nop
nop nop nop nop nop
bcf port_b , 6
nop nop nop nop nop
nop nop nop nop
end assembler
end loop
end loop
end procedure

procedure sag_say is
i = 0
for 3 loop
module_1ms_sag ( 2 )
if pin_b3 == low then i = i + 1 end if
module_1ms_sag ( 1 )
delay_1ms ( 5 )
if pin_b3 == high then i = i + 1 end if
end loop
sag = i
end procedure
```

Şekil 3.10. Öncü Robot Sağ ve Sol Sensör Fonksiyonları

```

procedure module_1ms_solon ( byte in x ) is
for x loop
  for 38 loop
    assembler
      bsf port_b , 5
      nop nop nop nop nop nop
      nop nop nop nop nop
      bcf port_b , 5
      nop nop nop nop nop
      nop nop nop nop
    end assembler
  end loop
end loop
end procedure

procedure solon_say is
i = 0
for 3 loop
  module_1ms_solon ( 2 )
  if pin_b2 == low then i = i + 1 end if
  module_1ms_solon ( 1 )
  delay_1ms ( 5 )
  if pin_b2 == high then i = i + 1 end if
end loop
solon = i
end procedure

```

```

procedure module_1ms_solarka ( byte in x ) is
for x loop
  for 38 loop
    assembler
      bsf port_b , 4
      nop nop nop nop nop nop
      nop nop nop nop nop
      bcf port_b , 4
      nop nop nop nop nop
      nop nop nop nop
    end assembler
  end loop
end loop
end procedure

procedure solarka_say is
i = 0
for 3 loop
  module_1ms_solarka ( 2 )
  if pin_b1 == low then i = i + 1 end if
  module_1ms_solarka ( 1 )
  delay_1ms ( 5 )
  if pin_b1 == high then i = i + 1 end if
end loop
solarka = i
end procedure

```

Şekil 3.11. Öncü Robot Sol Ön ve Sol Arka Sensör Fonksiyonları

```

procedure module_1ms_sagarka ( byte in x ) is
for x loop
  for 38 loop
    assembler
      bsf port_d , 2
      nop nop nop nop nop nop
      nop nop nop nop nop
      bcf port_d , 2
      nop nop nop nop nop
      nop nop nop nop
    end assembler
  end loop
end loop
end procedure
end procedure

```

```

procedure sagarka_say is
i = 0
for 3 loop
  module_1ms_sagarka ( 2 )
  if pin_b0 == low then i = i + 1 end if
  module_1ms_sagarka ( 1 )
  delay_1ms ( 5 )
  if pin_b0 == high then i = i + 1 end if
end loop
sagarka = i
end procedure

```

Şekil 3.12. Öncü Robot Sağ Arka Sensör Fonksiyonları

3.1.5.2. Çizgi İzleme Fonksiyonu

Çizgi izleme fonksiyonunda öncü robotun önüne yerleştirilmiş olan 3 adet cny70 sensöründen gelen veriler değerlendirilerek, robotun beyaz zemin üzerinde siyah çizgi takibi yapması sağlanmıştır. Şekil 3.13’de öncü robotun çizgi takip fonksiyonu görülebilir.

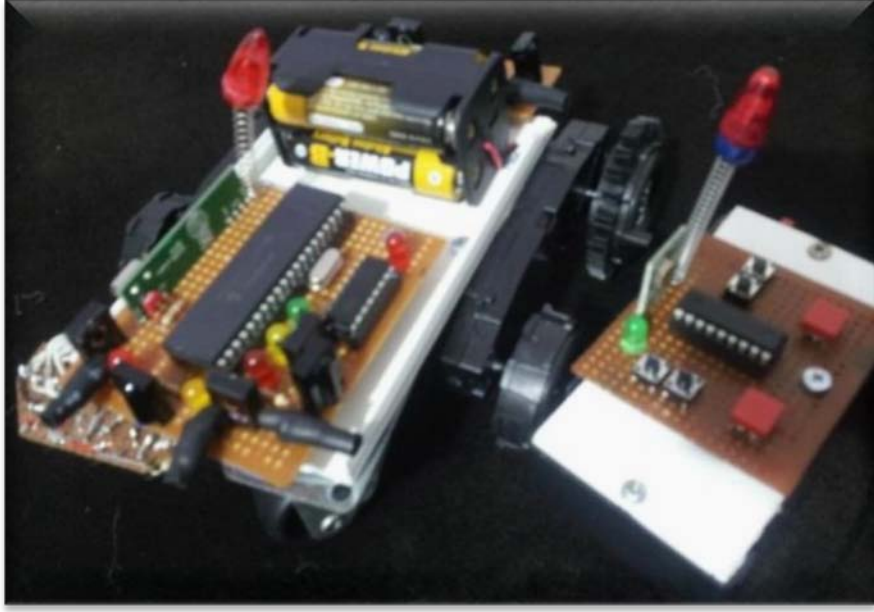
```
procedure çizgiizle is
if (pin_d7 == high & pin_d6 == high & pin_d5 ==
high & con == 3 ) then
pin_c0 = low
pin_c1 = high
pin_c2 = high
pin_c3 = low
delay_1ms ( 25 )
pin_c0 = high
pin_c1 = high
pin_c2 = low
pin_c3 = low
elsif ( pin_d6 == low ) then
con = 0
pin_c0 = low
pin_c1 = high
pin_c2 = high
pin_c3 = low
delay_1ms ( 25 )
pin_c0 = high
pin_c1 = high
pin_c2 = low
pin_c3 = low
elsif ( pin_d7 == low ) then
con = 1
pin_c0 = low
pin_c1 = high
pin_c2 = high
pin_c3 = low
delay_1ms ( 10 )
pin_c0 = high
pin_c1 = high
delay_1ms ( 20 )
pin_c2 = low
pin_c3 = low
elsif ( pin_d5 == low ) then
con = 2
pin_c0 = low
pin_c1 = high
pin_c2 = high
pin_c3 = low
```

```
delay_1ms ( 10 )
pin_c2 = high
pin_c3 = high
delay_1ms ( 20 )
pin_c0 = low
pin_c1 = low
elsif (pin_d5 == high & pin_d6 == high & pin_d7 ==
high) then
if ( con == 0 ) then
pin_c0 = low
pin_c1 = high
pin_c2 = high
pin_c3 = low
delay_1ms ( 25 )
pin_c0 = high
pin_c1 = high
pin_c2 = low
pin_c3 = low
end if
if ( con == 1 ) then
pin_c0 = low
pin_c1 = low
pin_c2 = high
pin_c3 = low
delay_1ms ( 30 )
pin_c0 = high
pin_c1 = high
pin_c2 = low
pin_c3 = low
end if
if ( con == 2 ) then
pin_c0 = low
pin_c1 = high
pin_c2 = low
pin_c3 = low
delay_1ms ( 30 )
pin_c0 = high
pin_c1 = high
pin_c2 = low
pin_c3 = low
end if
end if
end procedure
```

Şekil 3.13. Öncü Robot Çizgi Takip Fonksiyonu

3.1.6. Uygulama

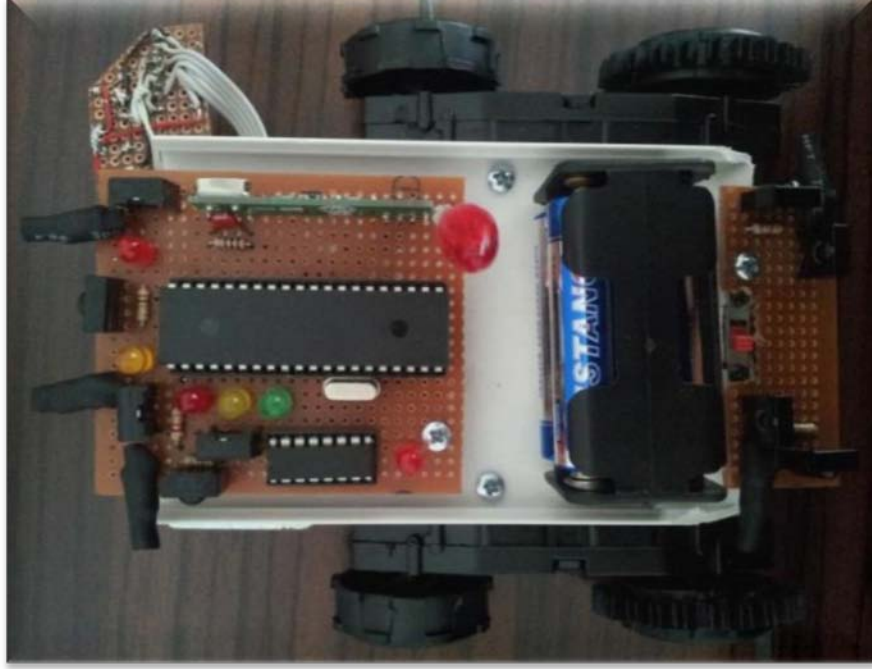
Öncü robotun farklı açılardan görünümü Şekil 3.14’de, Şekil 3.15’de ve Şekil 3.16’da verilmiştir:



Şekil 3.14. Öncü Robot



Şekil 3.15. Öncü Robotun Yandan Görünümü



Şekil 3.16. Öncü Robotun Üstten Görünümü

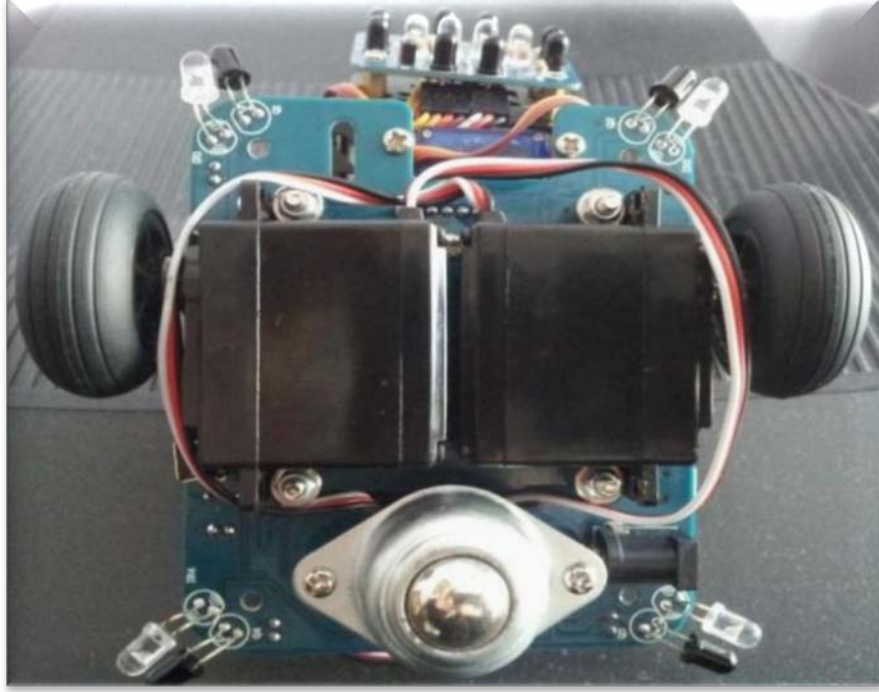
3.2. TAKİPÇİ ROBOT

3.2.1. Robot Karakteri

Takipçi robot kolay ve hızlı olması gerektiğinden çok basit bir şekilde çalışmaktadır. Robotun genel karakteri, öndeki robotu takip etmektir.

3.2.2. Mekanik Kısım

Takipçi robot, üç teker üzerinde hareket edecek şekildedir ve birer tekerlek yanlarda, bir bilye tekerlek ise arkada olacak şekilde konumlandırılmıştır. Robot, dikdörtgen bir elektronik kart üzerine diğer parçalar ve iki adet motor monte edilerek oluşturulmuştur. Şekil 3.17’de takipçi robotun mekanik aksamının alttan görünüşü verilmiştir:



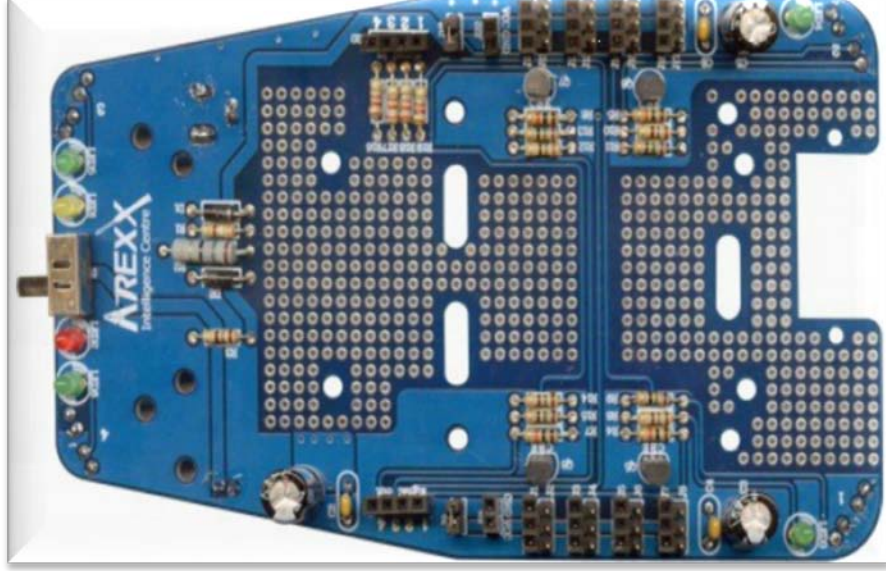
Şekil 3.17. Takipçi Robotun Mekanik Aksamı

3.2.3. Elektronik Kısım

Robotun elektronik devreleri iki kısımdan oluşmaktadır: arduino kartı ve sensör devresi. Takipçi robot ATMEL ile çalışacak şekilde dizayn edilmiştir. Bu robotta ATMEL mikrodenetleyicinin ATmega8A modeli kullanılmıştır. Ek-B’de takipçi robotun genel devre şeması görülebilir.

3.2.3.1. Arduino Devresi

Arduino kartı özellikle yurtdışındaki birçok robot projesinde kullanılan ve ATMEL mikrodenetleyici mimarisinde geliştirilen elektronik bir devredir. Üzerinde barındırdığı devre elemanları ve esnek mimarisi sayesinde çok karmaşık robot projelerini kolayca geliştirilebilmektedir. Şekil 3.18’de Arduino uyumlu ve takipçi robotta kullanılan elektronik kart verilmiştir:



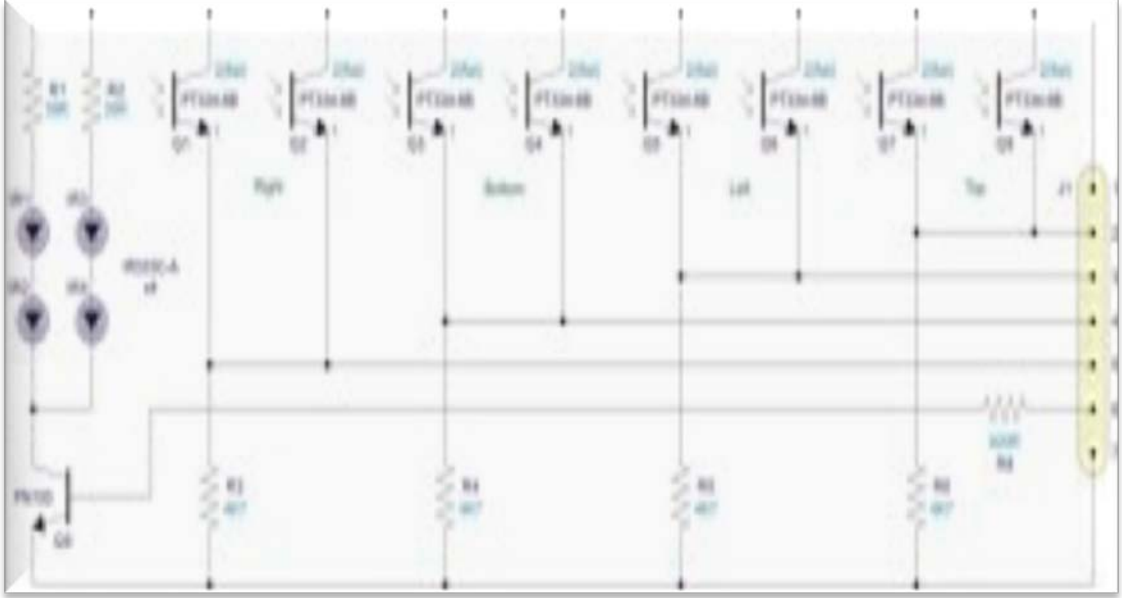
Şekil 3.18. Arduino Uyumlu Kart

3.2.4. Algılama Sistemleri

Takipçi robotta sekiz adet ir sensör ve dört adet led bulunmaktadır. Şekil 3.19'da takipçi robotun sensör devresi ve Şekil 3.20'de bu robotun sensör devre şeması verilmektedir:



Şekil 3.19. Takipçi Robotun Sensör Devresi



Şekil 3.20. Takipçi Robotun Sensör Devre Şeması

3.2.5. Algoritma ve Yazılım

Takipçi robotta Arduino kart kullanılmasından dolayı yazılım C programlama dilinde yazılmıştır. Şekil 3.21’de takipçi robotun yazılımı sırasında kullanılan Arduino C programının ekran görüntüsü verilmiştir.

Takipçi robot toplam 4 fonksiyondan oluşmaktadır. Bunların ikisi Arduino’nun kendi fonksiyonları, diğer ikisi ise sonradan yazılan kod bloklarıdır. Şekil 3.22’de ise takipçi robotun algoritması görülebilir.


```
Robot | Arduino 0018
File Edit Sketch Tools Help

Robot IO_pins.h

#include <Servo.h>
#include "IO_pins.h"

int leftmotorstop=1500;
int rightmotorstop=1500;
int neckLRcenter=1500;
int neckUDcenter=1500;

int LRmax=neckLRcenter+300;
int LRmin=neckLRcenter-300;
int UDmax=neckUDcenter+200;
int UDmin=neckUDcenter-200;

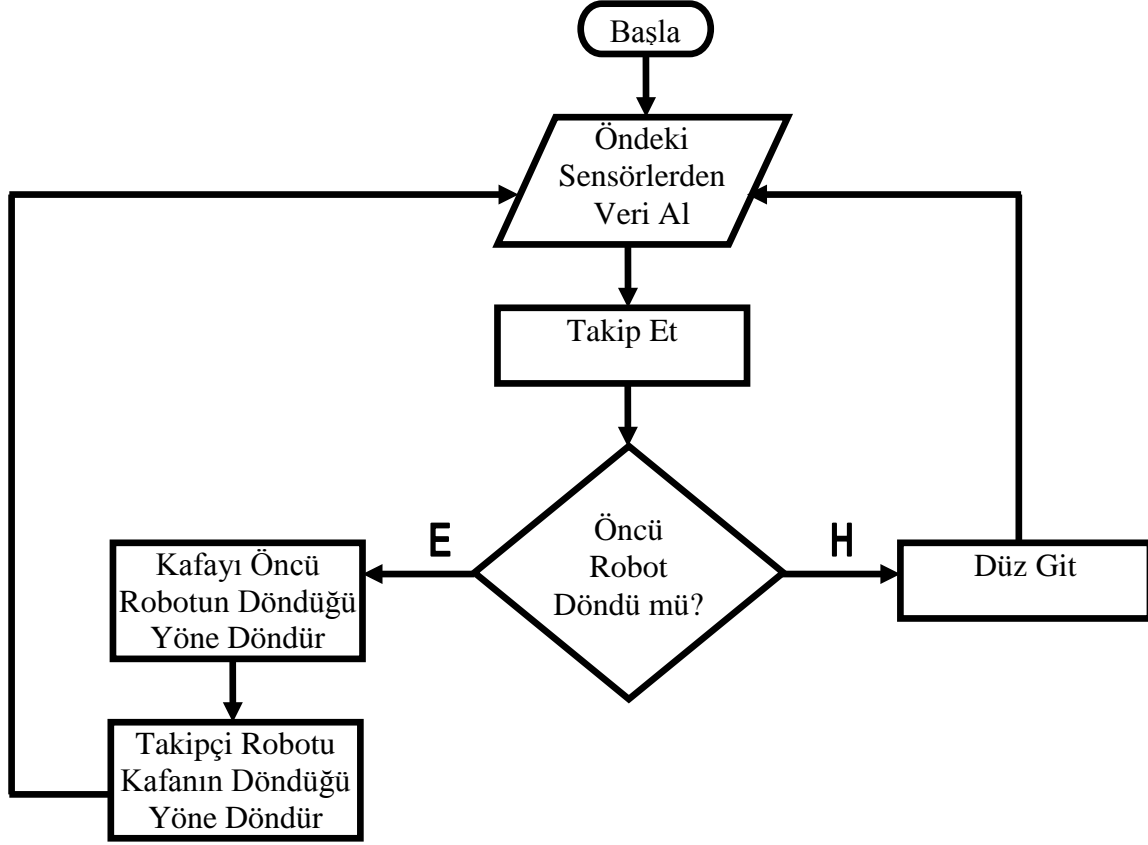
byte LRscalefactor=3;
byte UDscalefactor=2;
int distancemax=180;
int bestdistance=550;

long time;
byte boredom;

int pan=neckUDcenter;
int tilt=neckLRcenter;

int panscale;
```

Şekil 3.21. Arduino C Programı



Şekil 3.22. Takipçi Robot Algoritma

3.2.5.1. void setup()

Arduino programlarda mutlaka iki tane temel fonksiyon vardır. Void setup fonksiyonu programda bir kez yapılacak işleri belirtmek için kullanılır. Mesela hangi portun çıkış, hangi portun giriş için kullanılacağı burada tanımlanır. Bunun için pinMode komutunu kullanılmaktadır. Ayrıca attach komutuyla takipçi robotta kullanılan servo motorlar için pin numarası belirliyoruz. WriteMicroseconds komutu ile de ilk değer ataması yapıyoruz. Şekil 3.23'te takipçi robotun void setup fonksiyonu verilmektedir.


```

void setup()
{
leftmotor.attach(leftmotorpin);
leftmotor.writeMicroseconds(leftmotorstop);
rightmotor.attach(rightmotorpin);
rightmotor.writeMicroseconds(rightmotorstop);
neckleftright.attach(neckleftrightpin);
neckleftright.writeMicroseconds(neckLRcenter);
neckupdown.attach(neckupdownpin);
neckupdown.writeMicroseconds(neckUDcenter);

pinMode (IRleds,OUTPUT);
pinMode (leftfrontLED,OUTPUT);
pinMode (leftrearLED,OUTPUT);
pinMode (rightrearLED,OUTPUT);
pinMode (rightfrontLED,OUTPUT);
}

```

Şekil 3.23. Takipçi Robotun Void Setup Fonksiyonu

3.2.5.2. void loop()

Void loop fonksiyonu programda tekrar tekrar yapılacak işleri belirtmek için kullanılır. Mesela bir işlem sürekli tekrar edilecekse veya sensörler sürekli kontrol altında tutulacaksa, döngü komutları kullanmak yerine burada tanımlanabilir. IReye ve IRfollow fonksiyonlarına burada çağırım yapılmaktadır. Şekil 3.24'te takipçi robotun void loop fonksiyonu verilmektedir.

```

void loop()
{
if (millis()-time>249)
{
time=millis();
lightchase=lightchase+1-4*(lightchase>3);
}
leftmotor.writeMicroseconds(leftspeed);
rightmotor.writeMicroseconds(rightspeed);
neckleftright.writeMicroseconds(tilt);
neckupdown.writeMicroseconds(pan);

IReye();
IRfollow();
}

```

Şekil 3.24. Takipçi Robotun Void Loop Fonksiyonu

3.2.5.3. void IReye()

Bu fonksiyonda önde bulunan ir ledler ayrı ayrı açılıp ortamdaki ışık miktarı ölçülüyor. Sonra bu ir ledler kapatılarak tekrar ayrı ayrı ölçüm yapılıyor. İlk yaptığımız ölçüm ile sonra yapılan ölçümün farkı alınarak elde edilen değerler toplanıp 4'e bölünüyor ve ortalama uzaklık değeri tespit ediliyor. Şekil 3.25'te takipçi robotun void IReye fonksiyonu verilmektedir.

```
void IReye()
{
  digitalWrite(IRleds,HIGH);
  delayMicroseconds(100);
  leftIRvalue=analogRead(IRleft);
  rightIRvalue=analogRead(IRright);
  upIRvalue=analogRead(IRup);
  downIRvalue=analogRead(IRdown);
  digitalWrite(IRleds,LOW);
  delayMicroseconds(100);
  leftIRvalue=leftIRvalue-analogRead(IRleft);
  rightIRvalue=rightIRvalue-analogRead(IRright);
  upIRvalue=upIRvalue-analogRead(IRup);
  downIRvalue=downIRvalue-analogRead(IRdown);

  distance=(leftIRvalue+rightIRvalue+upIRvalue+downIRvalue)/4;
}
```

Şekil 3.25. Takipçi Robotun Void IReye Fonksiyonu

3.2.5.4. void IRfollow()

Bu fonksiyonda IReye fonksiyonumuzdan elde ettiğimiz ortalama uzaklık mesafe değerine göre takipçi robotun üstündeki servoları kullanarak kafa mekanizmasını ışık miktarının fazla olduğu yöne döndürüyoruz. Daha sonra robotu sadece kafanın döndüğü yönün tersindeki servo motoru çalıştırarak, robotun gövdesini de kafanın döndüğü yöne çevirmiş oluyoruz. Şekil 3.26'da takipçi robotun void IRfollow fonksiyonu verilmektedir.

```

void IRfollow ()
{
  leftspeed=leftmotorstop;
  rightspeed=rightmotorstop;
  if (distance<distancemax)
  {
    if (tilt>neckLRcenter)tilt=tilt+1;
    if (tilt<neckLRcenter)tilt=tilt-1;
    if (pan>neckUDcenter)pan=pan+1;
    if (pan<neckUDcenter)pan=pan-1;
  }
  else
  {
    tiltscale=(leftIRvalue+rightIRvalue)/LRscalefactor;
    panscale=(upIRvalue+downIRvalue)/UDscalefactor;
    if (leftIRvalue>rightIRvalue)
    {
      leftright=(leftIRvalue-rightIRvalue)*5/tiltscale;
      tilt=tilt+leftright;
    }
    if (leftIRvalue<rightIRvalue)
    {
      leftright=(rightIRvalue-leftIRvalue)*5/tiltscale;
      tilt=tilt-leftright;
    }
    if (upIRvalue>downIRvalue)
    {
      updown=(upIRvalue-downIRvalue)*5/panscale;
      pan=pan+updown;
    }
    if (downIRvalue>upIRvalue)
    {
      updown=(downIRvalue-upIRvalue)*5/panscale;
      pan=pan-updown;
    }
  }
}

```

```

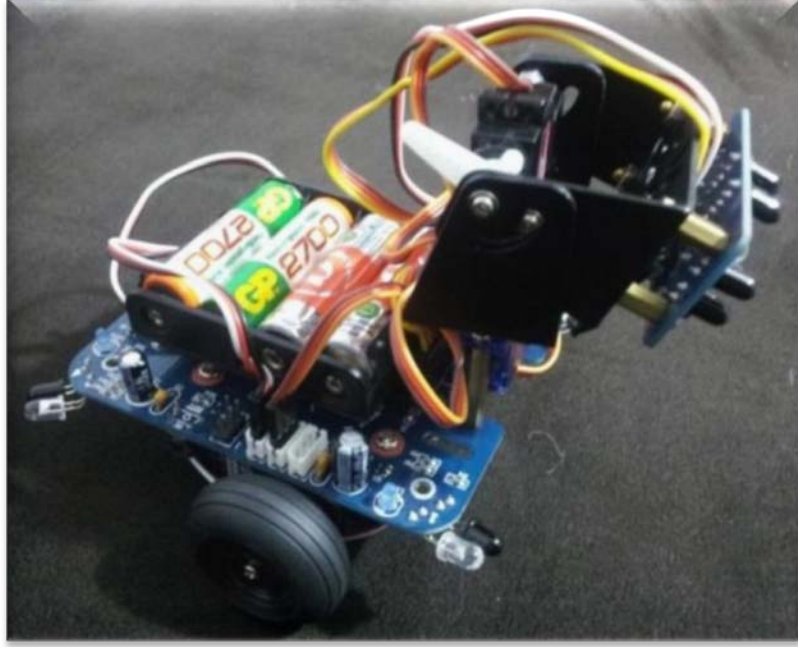
constrain(tilt,LRmin,LRmax);
constrain(pan,UDmin,UDmax);
temp=LRmax-tilt;
if (temp<600)
{
  rightspeed=rightmotorstop+600-temp;
  leftspeed=leftmotorstop+600-temp;
}
temp=tilt-LRmin;
if (temp<600)
{
  leftspeed=leftmotorstop-600+temp;
  rightspeed=rightmotorstop-600+temp;
}
temp=distance-bestdistance;
temp=abs(temp);
if (temp>10)
{
  temp=temp-10;
  if (distance>bestdistance)
  {
    rightspeed=rightspeed-temp;
    leftspeed=leftspeed+temp;
  }
  else
  {
    rightspeed=rightspeed+temp;
    leftspeed=leftspeed-temp;
  }
}
}
}

```

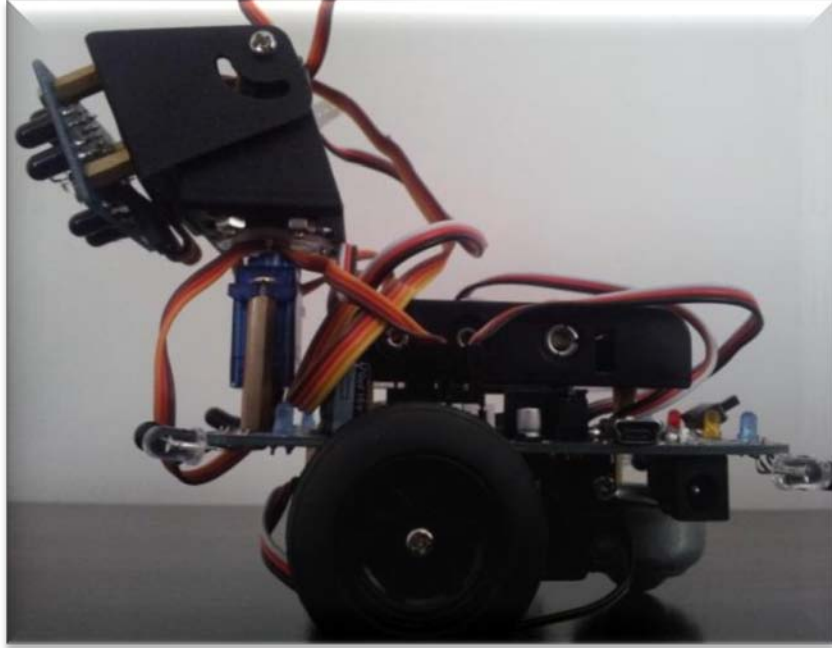
Şekil 3.26. Takipçi Robotun Void IRfollow Fonksiyonu

3.2.6. Uygulama

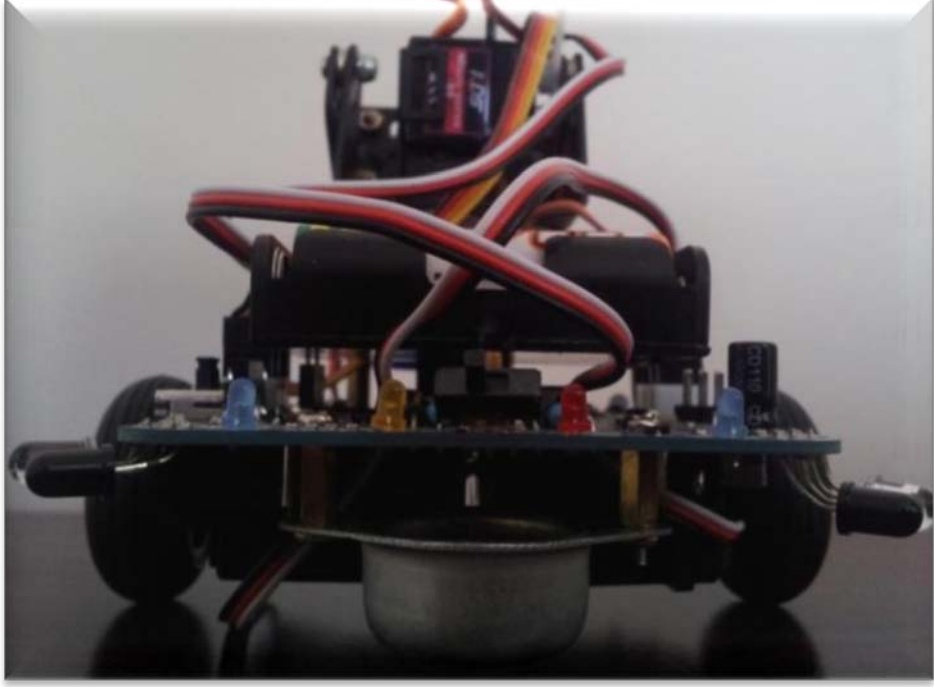
Takipçi robotun farklı açılardan görünümü Şekil 3.27’de, Şekil 3.28’de ve Şekil 3.29’da verilmiştir:



Şekil 3.27. Takipçi Robot



Şekil 3.28. Takipçi Robotun Yandan Görünümü



Şekil 3.29. Takipçi Robotun Arkadan Görünümü

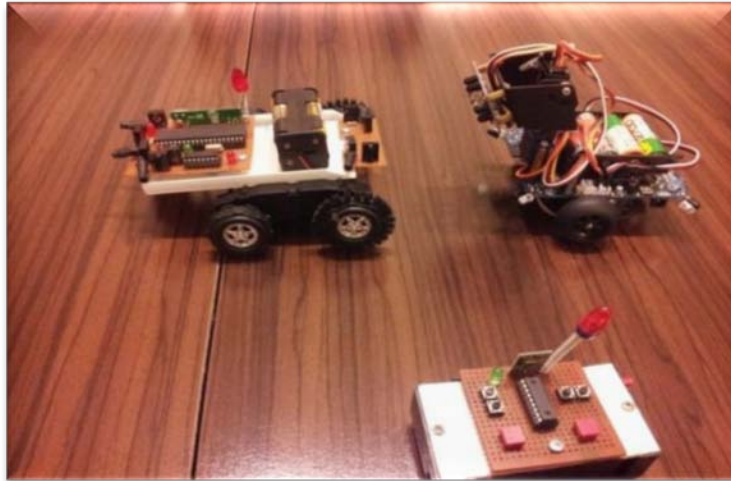
BÖLÜM 4

TEST SENARYOLARI

4.1. ZEMİN VE TAKİP MESAFESİ TESTİ

4.1.1. Ahşap Zemin

Ahşap zeminde yapılan 10 deneyde takipçi robotun öncü robotu başarılı bir şekilde izlediği gözlenmiştir. Robotların düz gitmeleri durumunda, öncü robot takipçi robota göre daha hızlı yol alır. Yapılan ölçüme göre öncü robot ile takipçi robotun aralarındaki mesafe 11 cm.dir. Ayrıca zemin, robotların tekerleri için uygun olduğundan hareket ve manevra zorluğu yaşanmamıştır. Robotların sağa veya sola dönmeleri durumunda yapılan 10 deneyin 8'inde takipçi robotun öncü robotu izlemeye devam ettiği görülmüştür. Şekil 4.1'de ahşap zemin deneyi örneği verilmiştir.



Şekil 4.1. Ahşap Zemin Deneyi

4.1.2. Tüylü Zemin

Tüylü zeminde yapılan 10 deneyde takipçi robotun öncü robotu başarılı bir şekilde izlediği gözlenmiştir. Robotların düz gitmeleri durumunda, zeminin sürtünmesi fazla olduğundan öncü robotla takipçi robotun arasındaki mesafe 6 cm. olarak ölçülmüştür. Ayrıca zemin, robotların tekerleri için uygun olmadığından hareket ve manevra zorluğu yaşanmıştır. Robotların sağa veya sola dönmeleri durumunda yapılan 10 deneyin tamamında takipçi robotun öncü robotu izlemeye devam ettiği görülmüştür. Şekil 4.2’de tüylü zemin deneyi örneği verilmiştir.

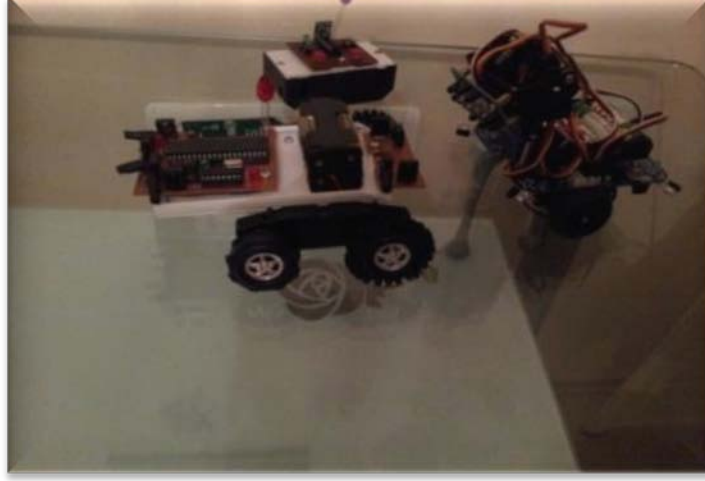


Şekil 4.2. Tüylü Zemin Deneyi

4.1.3. Cam Zemin

Cam zeminde yapılan 10 deneyde takipçi robotun öncü robotu başarılı bir şekilde izlediği gözlenmiştir. Robotların düz gitmeleri durumunda, öncü robotun takipçi robota göre daha hızlı yol alması dolayısıyla aralarındaki mesafenin 13 cm.den fazla olduğu ölçülmüştür. Ayrıca zemin, robotların tekerleri için uygun olduğundan hareket ve manevra zorluğu yaşanmamıştır. Robotların sağa ve ya sola dönmeleri

durumunda yapılan 10 deneyin 6'sında takipçi robotun öncü robotu izlemeye devam ettiği görülmüştür. Şekil 4.3'de cam zemin deneyi örneği verilmiştir.



Şekil 4.3. Cam Zemin Deneyi

4.1.4. Granit Zemin

Granit zeminde yapılan 10 deneyde takipçi robotun öncü robotu tam olarak izleyemediği gözlenmiştir. Zemin, robotların tekerleri için uygun olmasına rağmen zeminin kayganlığı sebebiyle bazı hareket ve manevra problemleri yaşanmıştır. Robotların düz gitmeleri durumunda, öncü robotun takipçi robota göre daha hızlı yol alması sebebiyle aralarındaki mesafenin 15 cm.den fazla olduğu ölçülmüştür. Robotların sağa veya sola dönmeleri durumunda yapılan 10 deneyin 6'sında öncü robot çok keskin dönüşler yaptığından, takipçi robot öncü robotu kaçırmıştır. Şekil 4.4'te granit zemin deneyi örneği verilmiştir.



Şekil 4.4. Granit Zemin Deneyi

4.1.5. Yünlü Zemin

Yünlü zeminde yapılan 10 deneyde takipçi robotun öncü robotu tam olarak izleyemediği gözlenmiştir. Zemin, robotların tekerleri için uygun olmadığından hareket ve manevra problemleri yaşanmıştır. Robotların düz gitmeleri durumunda, zeminin sürtünmesi çok fazla olduğundan öncü robotla takipçi robotun aralarındaki mesafe 2 cm. olarak ölçülmüştür. Robotların sağa veya sola dönmeleri durumunda yapılan 10 deneyin tamamında takipçi robotun öncü robotu izlemeye devam ettiği görülmüştür. Şekil 4.5'te yünlü zemin deneyi örneği verilmiştir.

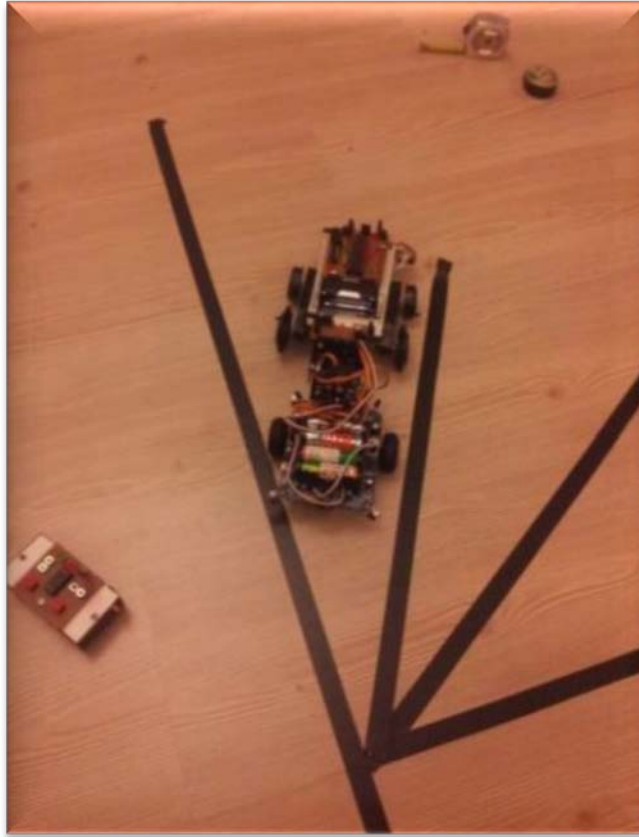


Şekil 4.5. Yünlü Zemin Deneyi

4.2. AÇI TESTİ

4.2.1. (0 – 30) Derece Arası

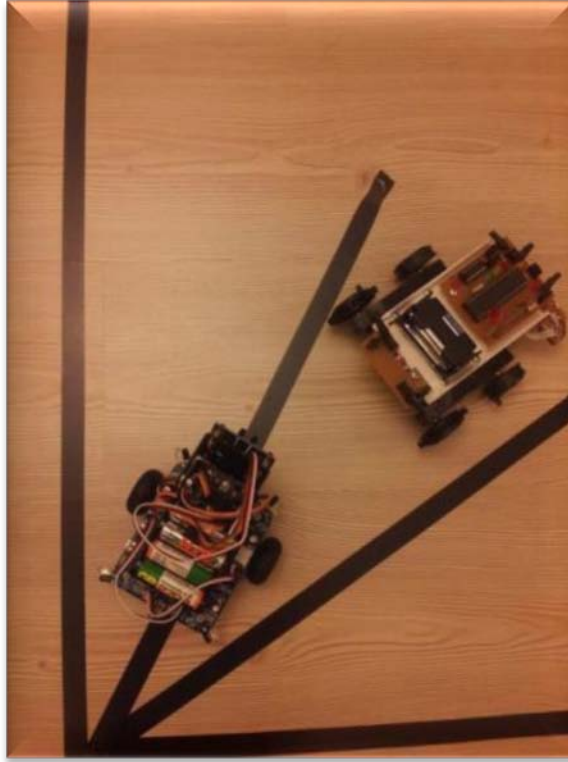
Öncü robotun yaklaşık olarak 0 derece ile 30 derece arasında sağa yapmış olduğu 10 adet dönüş deneyinin 8'inde takipçi robot öncü robotu izlemeye devam etmiştir. Yine öncü robotun yaklaşık olarak 0 derece ile 30 derece arasında sola yapmış olduğu 10 adet dönüş deneyinin 7'sinde takipçi robot öncü robotu izlemeye devam etmiştir. Şekil 4.6'da (0-30) derece deneyi örneği verilmiştir.



Şekil 4.6. (0-30) Derece Deneyi

4.2.2. (30 – 60) Derece Arası

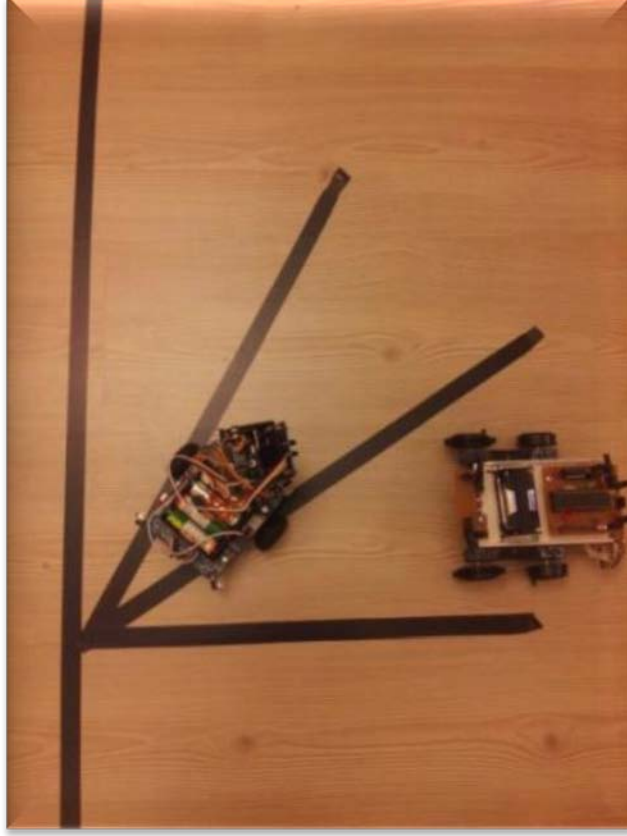
Öncü robotun 30 derece ile 60 derece arasında yapmış olduğu 10 adet sağa dönüş ve 10 adet sola dönüş deneylerinin 3'ünde takipçi robot öncü robotu izlemeye devam etmiştir. Şekil 4.7'de (30-60) derece deneyi örneği verilmiştir.



Şekil 4.7. (30-60) Derece Deneyi

4.2.3. (60 – 90) Derece Arası

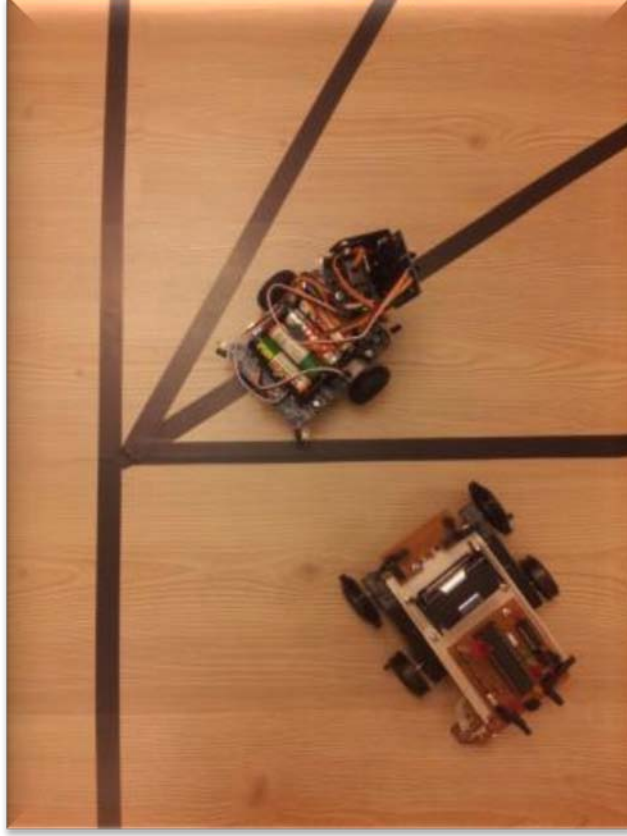
Öncü robotun yaklaşık olarak 60 derece ile 90 derece arasında sağa yapmış olduğu 10 adet dönüş deneyinin 1'inde takipçi robot öncü robotu izlemeye devam etmiştir. Fakat öncü robotun 60 derece ile 90 derece arasında sola yapmış olduğu 10 adet dönüş deneyinin hiçbirisinde, takipçi robot öncü robotu izlemeyememiştir. Şekil 4.8'de (60-90) derece deneyi örneği verilmiştir.



Şekil 4.8. (60-90) Derece Deneyi

4.2.4. 90 Dereceden Büyük

Öncü robotun 90 dereceden büyük açılarla yapmış olduğu 10 adet sağa dönüş ve 10 adet sola dönüş deneylerinin hiçbirisinde takipçi robot öncü robotu izlemeye devam edememiştir. Şekil 4.9’de 90 dereceden büyük deney örneği verilmiştir.



Şekil 4.9. 90 Dereceden Büyük Deneyi

4.4. IŞIK TESTİ

4.4.1. Gün Işığında

Günün farklı zamanlarındaki gün ışığında değişik zemin ve senaryolarla yapılan 10 adet deneyin 7'sinde takipçi robotun öncü robotu takibini sürdürdüğü görülmüştür.

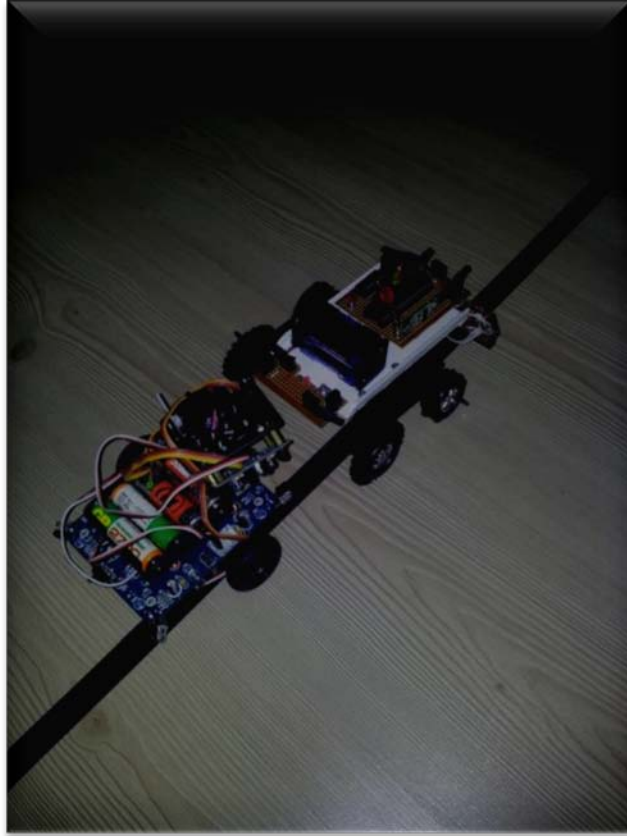
4.4.2. Tasarruflu Ampul Işığında

Güneş battıktan ve hava karardıktan sonra tasarruflu ampullerle aydınlatılan bir ortamda ve farklı zeminlerde yapılan 10 adet deneyin 4'ünde takipçi robotun öncü

robotu takibini sürdürdüğü görülmüştür. Ancak parlak ve yansıtıcı zeminlerde takipçi robot takip performansı düşmektedir.

4.4.3. Işıksız Ortamda

Işıksız ortamda yapılan 10 adet deneyin hiçbirinde takipçi robot öncü robotu takibini sürdürememiştir. Şekil 4.10'da ışısız ortam deneyi örneği verilmiştir.



Şekil 4.10. Işıksız Ortam Deneyi

BÖLÜM 5

SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

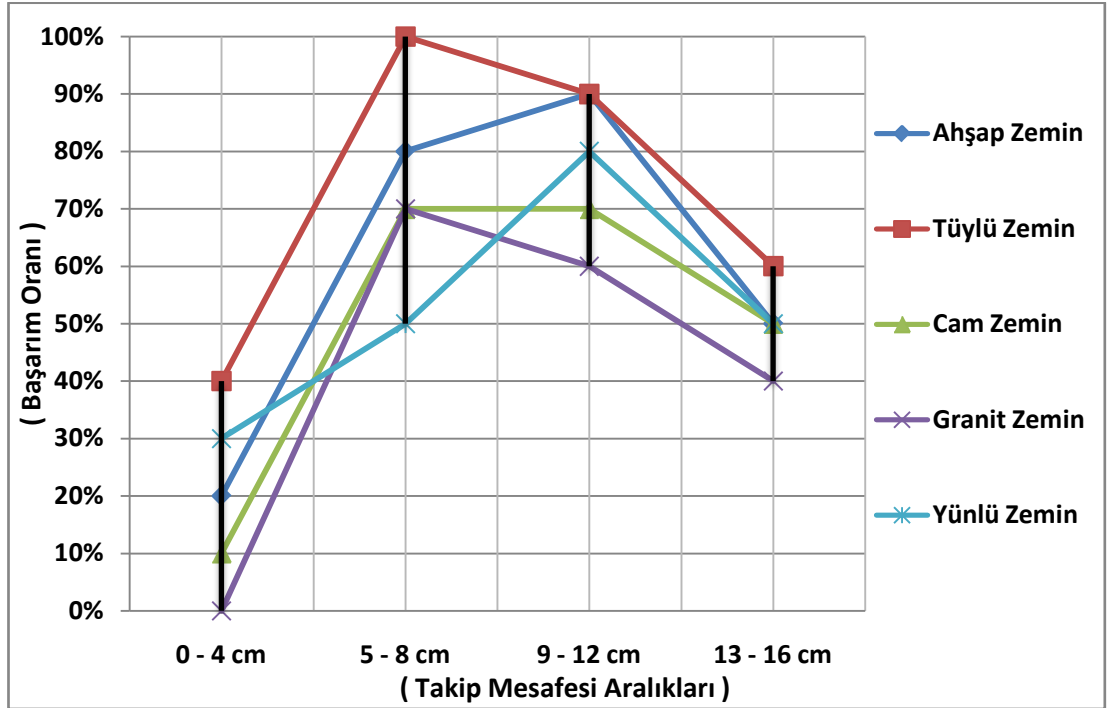
Bu çalışmada, öncü robot ve takipçi robot olmak üzere iki adet robot kullanılmıştır. Amaçlanan hedef doğrultusunda takipçi robotun öncü robotu takip etmesi sağlanmıştır. Robotlara farklı zeminlerde ve ortamlarda performans yönünden deneyler yapılmış, sonuçları ölçülmüş ve gerekli iyileştirmeler yapılmıştır. Aşağıda bu deneyler ve sonuçları değerlendirilmektedir. Çizelge 5.1, Çizelge 5.2, Çizelge 5.3, Çizelge 5.4'te ve Şekil 5.1'de yapılan bu deney sonuçları tablo ve grafik olarak verilmiştir.

Çizelge 5.1. Zemin Ve Takip Mesafesi Testi

Zemin Testi Türü	Takip Mesafesi	Düz Gitme	Sağa-Sola Dönme	Başarım
Ahşap Zemin	11 cm.	Başarılı	Başarılı	%80
Tüylü Zemin	6 cm.	Başarılı	Başarılı	%100
Cam Zemin	13 cm.	Başarılı	Başarılı	%60
Granit Zemin	15 cm.	Başarısız	Başarısız	%40
Yünlü Zemin	2 cm.	Başarısız	Başarısız	%0

Çizelge 5.2. Belirli Takip Mesafesi Aralığındaki Zemin Testleri

Zemin Türü \ Takip Mesafesi Aralığı	Ahşap Zemin	Tüylü Zemin	Cam Zemin	Granit Zemin	Yünlü Zemin
0 – 4 cm.	%20	%40	%10	%0	%30
5 – 8 cm.	%80	%100	%70	%70	%50
9 – 12 cm.	%90	%90	%70	%60	%80
13 – 16 cm.	%50	%60	%50	%40	%50



Şekil 5.1. Belirli Takip Mesafesi Aralığındaki Zemin Testleri Grafiği

Çizelge 5.3. Açık Testi

Açık Testi Aralığı	Sağa Dönme Başarımı	Sola Dönme Başarımı
(0 – 30) Derece Arası	%80	%70
(30 – 60) Derece Arası	%30	%30
(60 – 90) Derece Arası	%0	%0
(90) Dereceden Büyük	%0	%0

Çizelge 5.4. Işık Testi

Işık Testi Türü	Başarım
Gün Işığında	%70
Tasarruflu Ampul Işığında	%40
Işıksız Ortamda	%0

Kurulan sistemde bazı parametreler büyük önem taşımaktadır. Bunlar, zeminin sürtünme katsayısı, robotların dönüş açısı, robotlara etkiyen ışık miktarı ve takip mesafe aralığıdır. Parametreler değerlendirildiğinde, kurulan sistem için en uygun değerlerin tüylü zeminde, gün ışığında ve 0 derece ile 30 derece aralığındaki dönüşlerde gerçekleştiği saptanmıştır. Bu şartlar altındaki takip mesafesi ortalama 7 cm. olarak ölçülmüştür. Kurulan sistem için en olumsuz şartların ise yünlü zeminde, karanlıkta ve 90 dereceden büyük keskin dönüşlerde gerçekleştiği belirlenmiştir. Bu şartlarda robotların birbirlerini takip edememelerinin yanında zeminin sürtünme katsayısının yüksekliği nedeniyle hareketlerinde de zorlukların yaşandığı gözlenmiştir.

Parametreler ayrıntılı olarak incelendiğinde zeminin sürtünme katsayısı arttıkça öncü robotun yavaşladığı ve buna bağlı olarak da takibin kolaylaştığı görülmektedir.

Ancak zemin sürtünme katsayısı, optimum değerlerin üstüne çıktığında robotların hareketleri zorlaşmakta ve devrelerin ısısının aşırı derecede yükseldiği ortaya çıkmıştır. Ayrıca zeminin sürtünme katsayısı yükseldikçe takip mesafesinin azaldığına da dikkat edilmelidir. Diğer bir parametre olan dönüş açısı, takipçi robotun takibi için önemli bir değerdir. Çünkü dönüş açısı arttıkça takipçi robotun takibi zorlaşmakta ve takip mesafesi artmaktadır. Diğer bir parametre ışık değeriyle alakalıdır. Değer azaldıkça robotların çalışması güçleşmekte hatta durmaktadır. Işık değerinin artması ise takip mesafesini optimuma yaklaştırmaktadır. Ancak buradaki en önemli durum zeminin ışığı yansıtmasıdır. Zeminden yansıyan ışık, takibi zorlaştırmaktadır.

Öncü ve takipçi robotlar geliştirmeye açık bir tasarıma sahip olduklarından, ileride enkoder yerleştirilerek konum kontrolü ve mapping algoritmaları uygulanabilir. Yine eklenecek bir dijital kamera ile görüntü işleme, belirlenen hedeflere ulaşma, en kısa yol (Shortest Path) gibi konularda çalışmalar yapılabilir. Tez çalışması devamında yapılması düşünülen çalışmalar sırasıyla;

- Robot sisteminin ve çalışma ortamının dinamik modelinin kullanılması,
- Robotların performanslarının tam ölçülebilmesi için algılayıcı ve motorlarının yazılımsal olarak simüle edilmesi,
- Sistemin dinamik modeli oluşturulduktan sonra değişik tipte kontrol algoritmalarının kullanılması ve performanslarının kıyaslanması,
- Çoklu gezgin robotların kontrolünde çoklu dinamik birimler arası haberleşme ve haberleşmenin geliştirilen kontrol algoritmasıyla etkileşimi,
- Haberleşmenin geçici/kalıcı olarak kesilmesi veya birimin kaybı gibi durumlarda sistemin dayanıklılığı,
- Doğrusal denetleyici yerine doğrusal olmayan bir denetleyici kullanılması,
- Sistemin bozuculara karşı dayanıklılığının ve kararlılığının kontrol edilmesi,
- Çoklu robot (araç) sisteminin verilen bir görevi gerçekleştirecek şekilde gerçekleşmesi (donanımının kurulması) ve çoklu kontrolünün sağlanması,

- Robotların, ev ve benzeri alanlarda kullanılabilir yapıda tasarlandığı düşünülerek bu tasarımın geliştirilip arazi, fabrika vb. ortamlarda kullanılacak şekilde daha büyük ve güçlü yapıda tasarlanması,
- Geliştirilen gezgin robot platformunun hareketini sağlayan DC ve servo motorların güçleri çok yüksek olmadığı için gezgin robotların maksimum hızı 4 km/s olmaktadır. Bu nedenle robota daha güçlü DC motorlar takılarak gezgin robotun hızının artırılması,
- Daha yüksek çaptaki tekerlekler kullanılarak gezgin robotun engellerden geçme kabiliyetinin artırılması,
- Gezgin robot üzerine bir radar koyularak robotun engelleri algılaması ve engellerden kaçma performansının artırılması sağlanabilir.

Ayrıca robotlara eklenecek bir gps donanımı, robotların açık alanda hareket ve yön bulma özelliğini artıracaktır. Günümüzde 2000 dolar ve altında bir maliyet ile temin edilebilen lazer uzaklık ölçme cihazları takip doğruluğunu önemli ölçüde etkileyecektir. Robota bir kol eklemek, robotun çevresi ile etkileşiminin artırılması sağlayacaktır. CMUcam adı verilen görüntü işleme yeteneğine sahip kameranın eklenmesi, robotun renkli nesnelere ayırt edebilmesini veya yerdeki çizgileri izleyebilmesini gerçekleştirecektir. Bu donanım özellikleri, maliyetleri nedeniyle robotlara eklenmemiştir. Günümüzde daha büyük bütçelerle geliştirilen robotların, barındırdıkları gelişmiş donanım sistemleri nedeniyle daha üst bir saha performansı sergiledikleri aşikârdır.

Ancak nispeten düşük bir bütçe ile gerçekleştirilen bu çalışmanın, proje başında belirlenen hedeflere ulaşılması göz önüne alındığında başarılı olduğu düşünülmektedir. Proje sonunda hedeflenen otonom hareket ve takip etme özellikleri sağlanarak istenen amaca ulaşılmıştır. İleride yapılacak çalışmalarla robotun saha başarımının artırılması planlanmaktadır.

KAYNAKLAR

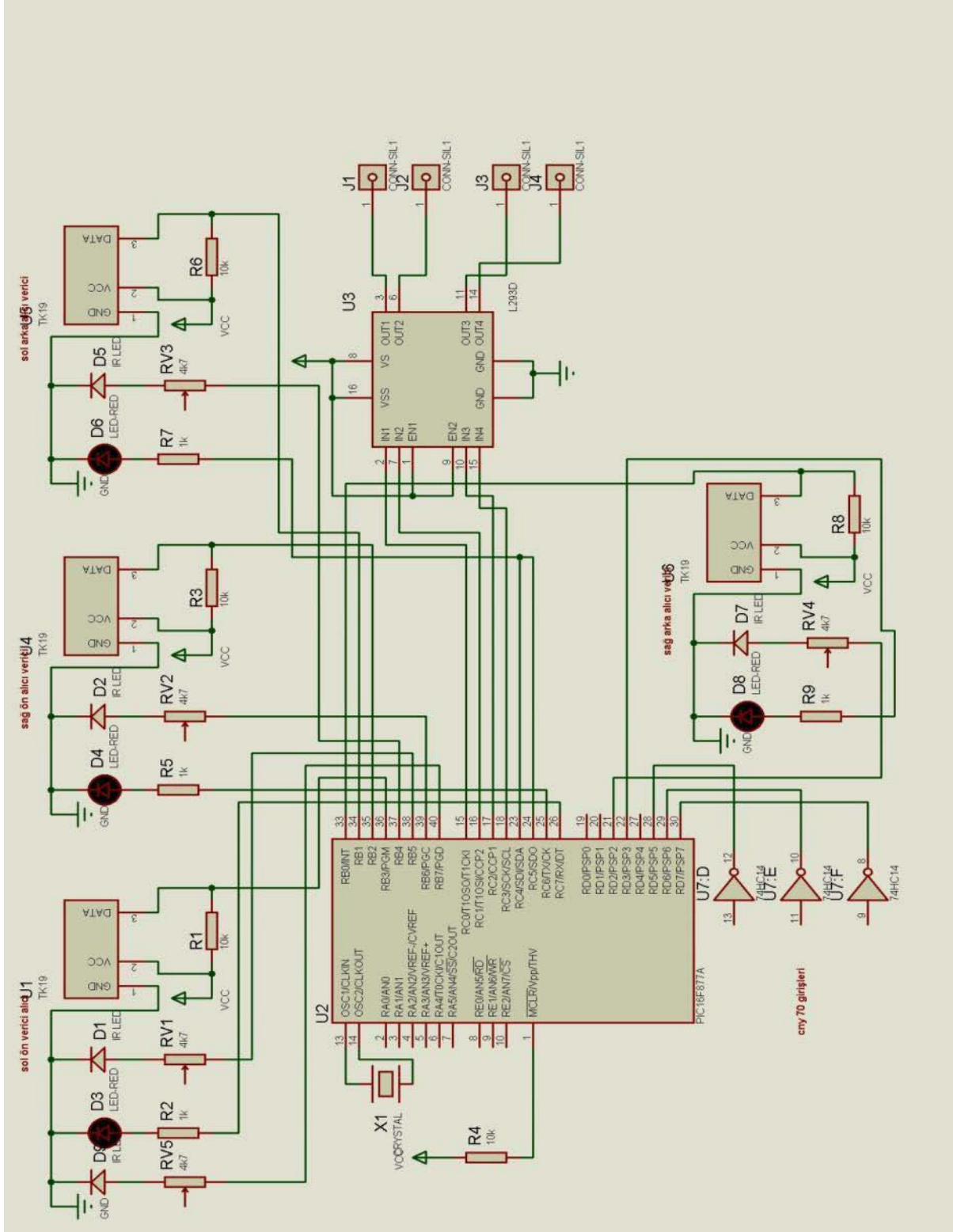
1. Murphy, R. R., "Introduction to AI Robotics", *MIT Press*, London (2000).
2. Özkan, M., "Farklı Özelliklere Sahip Gezgin Robot Grubunun Dağıtık Kontrolü", Doktora Tezi, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Eskişehir (2007).
3. Vlassis, N., "A Concise Introduction to Multiagent Systems and Distributed Artificial Intelligence", *University of Amsterdam*, Amsterdam (2007).
4. Küçük yıldız, G., "Mobil Robot Platformu Üzerinde Dsp Tabanlı Gerçek Zamanlı Çalışan Şerit Tespiti Algoritmasının Geliştirilmesi Ve Optimizasyonu", Yüksek Lisans Tezi, *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kocaeli (2012).
5. İnternet: Wikipedia "Autonomous Car"
http://en.wikipedia.org/wiki/Autonomous_car (2013).
6. McGillem, C.D., Rappaport, T.S., "Infra-Red Location System for Navigation of Autonomous Vehicles", *IEEE Transactions On Vehicular Technology*, 38, 132-139 (1988).
7. Dickmanns, E.D., Mysliwetz, B., Christians, T., "An Integrated Spatio-Temporal Approach to Automatic Visual Guidance of Autonomous Vehicles", *IEEE Transactions on Systems*, 20, 1273-1284 (1990).
8. Gregor, R., Lutzeler, M., Pellkofer, M., Siedersberger, K.-H., Dickmanns E.D., "A Perceptual System for Autonomous Vehicles", *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 3, 48-59 (2002).
9. Antonelli, G., Chiaverini, S., "Kinematic Control of Platoons of Autonomous Vehicles", *IEEE Transactions on Robotics*, 22, 1285-1292 (2006).
10. Frazzoli, E., Munther A.D., Feron, E., "Real-Time Motion Planning for Agile Autonomous Vehicles", *Journal Of Guidance Control And Dynamics*, 25, 116-129 (2002).
11. Krogh, B., Thorpe, C., "Integrated Path Planning and Dynamic Steering Control for Autonomous Vehicles", *Conference on Robotics and Automation Proceedings*, IEEE International, 1664-1669 (1986).
12. Shiller, Z., Chen, J.C., "Optimal Motion Planning of Autonomous Vehicles in Three Dimensional Terrains", *Conference on Robotics and Automation*, IEEE International, 198-203 (1990).

13. Kanayama, Y., Nilipour, A., Lelm, C.A., “A Locomotion Control Method For Autonomous Vehicles”, *Conference on Robotics and Automation*, IEEE International, 1315-1317 (1998).
14. Nelson, W., “Continuous-Curvature Paths for Autonomous Vehicles”, *Conference on Robotics and Automation*, IEEE International, 1260-1264 (1989).
15. Kanayama, Y., Kimura, Y., Miyazaki, F., Noguchi, T., “A Stable Tracking Control Method for an Autonomous Mobile Robot”, *Conference on Robotics and Automation*, IEEE International, 384-389 (1990).
16. Aguiar, A.P., Hespanha, J.P., “Trajectory-Tracking and Path-Following of Underactuated Autonomous Vehicles With Parametric Modeling Uncertainty”, *IEEE Transactions on Automatic Control*, 52, 1362-1379 (2007).
17. Gomez, B.F., Cuesta, F., Ollero, A., “Parallel And Diagonal Parking In Nonholonomic Autonomous Vehicles”, *Engineering Applications of Artificial Intelligence* (2000).
18. Zabat, M., Stabile N., Frascaroli, S., Browand, F., “The Aerodynamic Performance of Platoons: Final Report”, California PATH Research Report, California (1995).
19. Internet: Wikipedia “Platoon (automobile)”
[http://en.wikipedia.org/wiki/Platoon_\(automobile\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Platoon_(automobile)) (2013).
20. Dávila, A., Nombela, M., “SARTRE: SAFe Road TRains for the Environment”, *Conference on Personal Rapid Transit*, London (2010).
21. Arkin, R.C., “Behavior-Based Robotics”, *John Wiley and Sons Press*, England (2002).
22. Siegwart, R., Nourbakhsh, I.R., “Introduction to Autonomous Mobile Robots”, *MIT Press*, London (2004).
23. Borenstein, J., Everett, H.R., Feng, L., “Where am I: Sensors and Methods for Autonomous Mobile Robot Positioning”, *University of Michigan* (1994).
24. Borenstein, J., Everett, B., Feng, L., “Navigating Mobile Robots: Systems and Techniques”, *A. K. Peters, Ltd.*, Wellesley (1996).
25. Albus, J., Quintero, R., “Towards a Reference Model, Architecture for Real Time Intelligent Control Systems (ARTICS) Robotics and Manufacturing”, *ASME Press Series*, New York (1990).

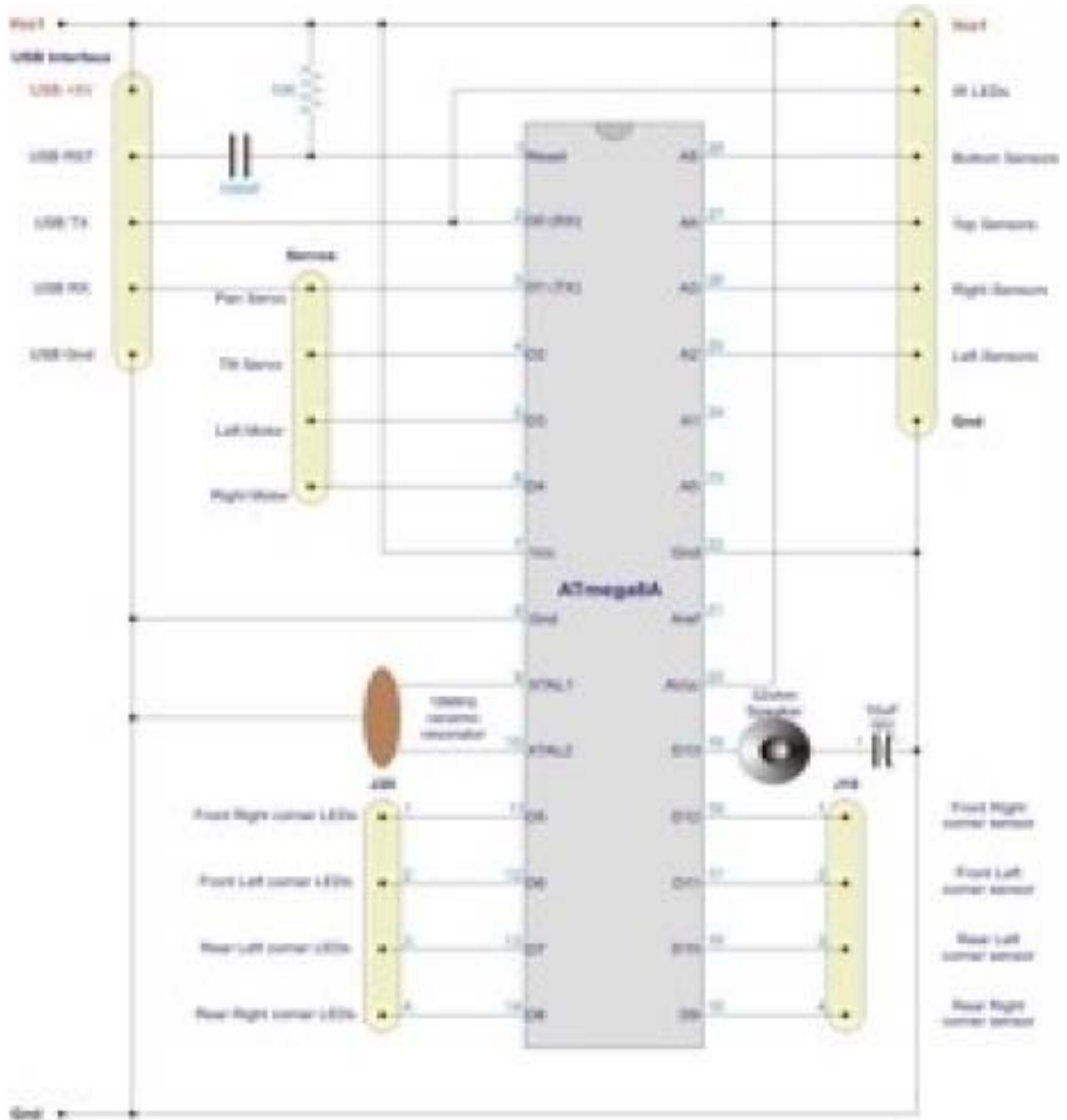
26. Gray, J. O., “Advanced Robotics and Integrated Approach. Mechatronics and Robotics I ed. P. A. McConall, P. Drews and K. H. Robrock”, *IOS Press*, Amsterdam (1991).
27. Miller, D. P., “Intelligent Mobile Robots. Perception and Performance”, *Proceedings 6th International Conference on Advanced Robotics*, Tokyo (1993).
28. Brooks, R. A., “A Robust Layered Control System for a Mobile Robot”, *IEEE Journal of Automation and Robotics*, Vol. R. A2 No. 1 (1986).
29. Brooks, R. A., “A Robot that Walks. Emergent behaviour from a carefully evolved network”, *MIT Artificial Intelligence Laboratory Report 1091* (1989).
30. Corfield, S. J. et al., “Architectures for Real Time Intelligent Control”, *Control of Autonomous Vehicles*, IEEE Computing and Control Engineering Journal Vol. 2 No. 6 (1991).
31. Lyons, D. M., Hendricks, A. J., “Planning for Reactive Robot Behaviour”, *IEEE Int. Conference on Robotics and Automation*, Nice (1992).
32. Arkin, R. C., “Integrating Behavioural, perceptual and world knowledge in Reactive Navigation Robotics and Autonomous Systems”, (1990).
33. Thorpe, C. E., Herbert, M., “Mobile Robotics, Perspectives and Reality”, *Proceedings ICAR*, Barcelona (1995).
34. Burgard, W., Fox, D., Hennig, D., Schmidt, T., “Estimating the absolute position of a mobile robot using position probability grids”, *In Proc. of the Fourteenth National Conference on Artificial Intelligence*, 896–901 (1996).
35. Burgard, W., Fox, D., Thrun, S., “The dynamic window approach to collision avoidance”, *IEEE Robotics & Automation Magazine* (1997).
36. Kleinberg, J., “The localization problem for mobile robots”, *In Proc. of the 35th IEEE Symposium on Foundations of Computer Science* (1994).
37. Kuipers, B., Byun, Y. T. A., “Robot exploration and mapping strategy based on a semantic hierarchy of spatial representations”, *Robotics and Autonomous Systems* (1981).
38. Okutkan, O., “Yapay Zeka ile Mobil Robot Kontrolü”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul (2006).

39. Varol, Ö. F., “Kooperatif Gezgin Robotlarda Kontrol Tabanlı Sezgisel Hareket Planlama”, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul (2009).
40. Arslan, S., “Dört Tekerlekten Tahrik Edilen Yanal Kayma İle Yönlendirilen Bir Mobil Robotun Tasarımı Ve Dayanıklı Hareket Kontrolü”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul (2011).
41. Mataric, M., “Behavior-Based Control: Main Properties and Implications, Proceedings of Workshop on Intelligent Control Systems”, *International Conference on Robotics and Automation*, Nice (1992).
42. İnternet: Datasheet Catalog “Reflective Optical Sensor with Transistor Output” <http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/vishay/83751.pdf> (2013).
43. İnternet: Engineers Garage “Photo Modules for PCM Remote Control Systems” <http://www.engineersgarage.com/sites/default/files/TSOP1738.pdf> (2013).
44. İnternet: Micro Chip “Instruction Set” <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/31029a.pdf> (2013).
45. Apaydın, S. M. F., Çavuşoğlu, A., Kaya, L., “The Experiments And Performance Analyzes Of The Tracker Robots In Different Lighting Environments”, *International Journal of Scientific Knowledge Computing and Information Technology*, (2013).

EK AÇIKLAMALAR A. ÖNCÜ ROBOT DEVRE ŞEMASI



EK AÇIKLAMALAR B. TAKİPÇİ ROBOT DEVRE ŞEMASI



ÖZGEÇMİŞ

S. M. Fatih APAYDIN 1986 yılında Uşak'ta doğdu; ilk, orta ve lise eğitimini Ankara'da, lisans eğitimini Lefkoşa'da tamamladı. 2010 yılında Karabük Üniversitesi'nde göreve başladı ve halen aynı yerde çalışmaya devam etmektedir.

ADRES BİLGİLERİ

Adres : Karabük Üniversitesi
Rektörlük Binası
Balıklarkayası Mevkii / KARABÜK

Tel : +90 (535) 810 7112

E-posta : fatihapaydin@karabuk.edu.tr