

**GEZGİN ROBOT KONUM KONTROLÜNÜN  
OTONOM OLARAK GERÇEKLEŞTİRİLMESİ**

**2011  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
ELEKTRONİK VE BİLGİSAYAR EĞİTİMİ**

**Orhan DEMİREL**

**GEZGİN ROBOT KONUM KONTROLÜNÜN OTONOM OLARAK  
GERÇEKLEŞTİRİLMESİ**

**Orhan DEMİREL**

**Karabük Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Elektronik ve Bilgisayar Eğitimi Anabilim Dalında  
Yüksek Lisans Tezi  
Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK**

**Ekim 2011**

Orhan DEMİREL tarafından hazırlanan "GEZGİN ROBOT KONUM KONTROLÜNÜN OTONOM OLARAK GERÇEKLEŞTİRİLMESİ" başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd. Doç. Dr. İbrahim ÇAYIROĞLU

Tez Danışmanı, Elektronik ve Bilgisayar Eğitimi Anabilim Dalı



Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Elektronik ve Bilgisayar Eğitimi Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 12/ 10/ 2011

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

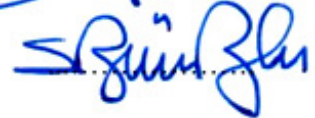
Başkan : Doç. Dr. Raif BAYIR (KBÜ)



Üye : Yrd. Doç. Dr. İbrahim ÇAYIROĞLU (KBÜ)



Üye : Yrd. Doç. Dr. Salih GÖRGÜNOĞLU (KBÜ)



...../...../2011

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

Doç. 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.”*

Orhan DEMİREL

## **ÖZET**

**Yüksek Lisans Tezi**

### **GEZGİN ROBOT KONUM KONTROLÜNÜN OTONOM OLARAK GERÇEKLEŞTİRİLMESİ**

**Orhan DEMİREL**

**Karabük Üniversitesi**

**Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Elektronik ve Bilgisayar Eğitimi Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı:**

**Yrd. Doç. Dr. İbrahim ÇAYIROĞLU**

**Ekim 2011, 52 sayfa**

Bu tez çalışmasında, bir alan içerisinde belirlenen referans noktalarına bağlı kalarak, tüm alanı tarayacak ve istenen rota takibini yapacak bir robot tasarımı gerçekleştirilmiştir. Tasarlanan robot, genel amaçlı bir robottur. Robotun kullanım sahası olarak; bir bina içerisinde zemin temizleme, bir arazi içerisinde mayın temizleme, ilaçlama, sürme, ürün toplama ve bir iş yerinde bir noktadan diğer bir noktaya taşıma gibi faaliyetler gösterilebilir.

Bu tip bir robotun kontrolünden daha önemlisi, bulunduğu konumun belli bir doğrulukla hızlı bir şekilde hesaplanmasıdır. Bu tez çalışmasında konum belirleme işlemi, taranacak alanın belli noktalarına ortamdan ayırt edilebilen yapay yer imleri yerleştirilerek yapılmıştır. Robot, bu işaretleri kamera ile algılayıp, hangi numaralı

işaret olduğunu, işaretle arasındaki mesafenin uzaklığını hesaplamakta ve buna göre konumunu belirlemektedir. Ardından gideceği yöne karar verip yn ve hız kontrolünü gerçekleştirmektedir.

**Anahtar Sözcükler :** Gezgin robot, otonom kontrol, alan tarama.

**Bilim Kodu :** 715.1.096

## **ABSTRACT**

**M.Sc. Thesis**

### **REALIZING AUTONOMOUS CONTROLLED FIELD SCANNING MOBILE ROBOT**

**Orhan DEMİREL**

**Karabük University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Electronic and Computer Education**

**Thesis Advisor:**

**Assist. Prof. Dr. İbrahim ÇAYIROĞLU**

**October 2011, 52 pages**

In this thesis study robot have been designed and produced. It can scan field with respect to denoted reference points. Robot is designed for general purpose use. Robot can be use for a lots of application. To clean dirty areas in building by itself, scanning field to find all mines in land, to do agricultural applications such as disinfection, harvest, to transport in work place from one point to another point.

This type of control of a robot, more importantly, to the location of a particular measure of accuracy quickly. In this study operation of finding position has been done with artificial signs which can be separate from field. Robot determine its position, where it must go, which sign it has been, distance to sign with detecting these artificial signs via camera. Performs the control direction and speed, then decide the direction to go.

**Key Words** : Mobile robot, autonomous control, field scanning.

**Science Code** : 715.1.096



## TEŞEKKÜR

Bu tez çalıőmasının planlanması, araştırılması, yürütülmesinde yol göstermesinin yanısıra, bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, anlayış ve sabırlarını esirgemeyen danışmanım sayın hocam Yrd. Doç. Dr. İbrahim ÇAYIROĞLU'na sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

DeneySEL çalıőmalarımnda yardımlarını esirgemeyen değerli öğretmen arkadaşım Recep GÜNAYDIN (MEB), Öėr. Gör. Okan ERKAYMAZ (KBÜ) ve Arş. Gör. Batıkan Erdem DEMİR'e (KBÜ) teşekkürü bir borç bilirim.

Beni bugünlere getiren aileme ve adını burada sayamadığım değerli hocalarıma çok teşekkür ederim.

Maddi manevi hiçbir yardımı esirgemedен yanımda oldukları için, sevgili eşim ve oğluma tüm kalbimle teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

KABUL.....	ii
ÖZET .....	iv
ABSTRACT .....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xii
BÖLÜM 1 .....	1
GİRİŞ .....	1
BÖLÜM 2 .....	9
OTONOM KONTROLLÜ GEZGİN ROBOTLAR.....	9
2.1. OTONOM KONTROL DURUMLARI .....	9
2.2. SEYRÜSEFER İŞLEMİ .....	9
2.3. LOKALİZASYON VE SEYRÜSEFER TİPLERİ.....	10
2.4. KONTROL TİPLERİ .....	13
BÖLÜM 3 .....	15
OTONOM KONTROLLÜ GEZGİN ROBOTUN TASARIMI .....	15
3.1. ROBOTUN MEKANİK TASARIMI.....	15
3.2. ROBOTUN KONTROL TASARIMI .....	15
3.2.1. PIC Mikrodenetleyiciler .....	19
3.2.2. L298 Motor Sürücü Entegresinin Kullanımı .....	21
3.2.3. DC Motor Kontrolü.....	23
3.2.4. Uzaklık Sensörü .....	23
3.3. ROBOTUN YAZILIM TASARIMI.....	24
3.3.1. Yer İmlerinin Görüntü İşleme İle Algılanması.....	26

3.3.2. Robotun Konumunun Hesaplanması .....	30
3.3.2.1. Üç Adet Yer İmi Kullanılarak Konumun Hesaplanması .....	31
3.3.2.2. İki Adet Yer İmi Kullanılarak Konumun Hesaplanması .....	34
3.3.2.3. Bir Adet Yer İmi Kullanılarak Konumun Hesaplanması.....	37
3.3.3. Robotun Seyrüsefer Planlamasının Yapılması .....	41
3.3.3.1. Robotun Alan Tarama İçin Seyrüsefer Planlamasının Yapılması..	42
3.3.3.2. Robotun Rota Takibi İçin Seyrüsefer Planlamasının Yapılması.....	42
3.3.3.3. Robotun Rota Takip Kontrolünün Yapılması .....	43
3.3.4. Engellere Karşı Dinamik Davranışın Belirlenmesi.....	45
BÖLÜM 4 .....	46
DENEYSEL ÇALIŞMALAR .....	46
4.1. YER İMİ MESAFE ÖLÇÜMLERİ.....	46
BÖLÜM 5 .....	48
SONUÇLAR .....	48
KAYNAKLAR.....	49
ÖZGEÇMİŞ.....	52

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 3.1. Robotun genel tasarım ve görünümleri. ....	16
Şekil 3.2. Bilgisayarla iletişimi sağlayacak mikrodenetleyici devresi.....	17
Şekil 3.3. DC motor sürücü devresi.....	17
Şekil 3.4. Robotun iç elektro-mekanik sistemleri.....	18
Şekil 3.5. PIC18F4550 bacak yapısı.....	21
Şekil 3.6. Enkoder bağlantı şekli. ....	23
Şekil 3.7. Sharp GP2D serisi algılayıcıların genel çalışma mantığı. ....	24
Şekil 3.8. Yazılım algoritmasının genel yapısı.....	25
Şekil 3.9. Robot konumunun belli bir toleransla yer imi kullanarak hesaplanması. ....	26
Şekil 3.10. Kullanılabilecek yer imi tipleri. ....	27
Şekil 3.11. Yer imlerinin şeklini oluşturmada kullanılan 4 bitlik ikili sayı sistemi. ....	28
Şekil 3.12. Yer iminin boyutu ve grafiksel dizinin string gösterimi. ....	28
Şekil 3.13. Kameradan alınan görüntüden yer imi tespiti.....	30
Şekil 3.14. Projeksiyon oran sabiti kullanılarak mesafenin ölçülmesi. ....	31
Şekil 3.15. Robotun konumunun hesaplanması. ....	32
Şekil 3.16. Kamera açısının tespiti için kullanılan potansiyometre bağlantıları. ....	34
Şekil 3.17. İki adet yer imi ve kamera açısı kullanılarak yön tayini. ....	35
Şekil 3.18. İki dairenin kesişim noktalarının koordinatlarının hesaplanması. ....	36
Şekil 3.19. Robotun tek yer imi kullanılarak konumunun hesaplanması. ....	38
Şekil 3.20. Robotun doğrultu vektörünün bulunması. ....	40
Şekil 3.21. Robotun bir yer imi kullanarak konumunun hesaplanması.....	41
Şekil 3.22. Cep işleme algoritması uygulamaları.....	43
Şekil 3.23. Robotun rota üzerinde takip ettiği yollar.....	44
Şekil 3.24. Robotun beklenmedik engellerden kaçması. ....	45
Şekil 4.1. Yer imleri üzerinde yapılan değişik ölçümlerin deney sonuçları. ....	47

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### SİMGELER

cm	:	santimetre
mm	:	milimetre
ms	:	milisaniye
V	:	volt
$\Omega$	:	ohm
K $\Omega$	:	kiloohm
nF	:	nanofarad
A	:	amper
mA	:	miliamper
$\mu$ A	:	mikroamper
kHz	:	kilohertz
MHz	:	megahertz
KB	:	kilobyte
\$	:	Dolar
P <sub>1</sub>	:	Yer iminin kamera içindeki görüntüsünün boyu
P <sub>2</sub>	:	Yer iminin gerçek boyu
k	:	Kameranın deneysel olarak bulunmuş projeksiyon sabiti
m	:	Kamera ile yer imi arasındaki hesaplanacak mesafe
x,y	:	Robotun koordinatları
x <sub>a</sub> ,y <sub>a</sub>	:	Birinci yer iminin koordinatları
x <sub>b</sub> ,y <sub>b</sub>	:	İkinci yer iminin koordinatları
x <sub>c</sub> ,y <sub>c</sub>	:	Üçüncü yer iminin koordinatları
x <sub>1</sub> ,y <sub>1</sub>	:	Robotun ilk yaptığı hesaplama sonucu bulunan koordinatları.
x <sub>2</sub> ,y <sub>2</sub>	:	Robotun ikinci yaptığı hesaplama sonucu bulunan koordinatları.
x <sub>3</sub> ,y <sub>3</sub>	:	Robotun üçüncü yaptığı hesaplama sonucu bulunan koordinatları.
r <sub>1</sub> ,r <sub>2</sub> ,r <sub>3</sub>	:	Yer imlerinin robota uzaklıkları

- $v_r$  : Robotun doğrusal hızı.  
 $v_1, v_2, v_3$  : Robotun doğrusal vektörleri.  
 $t$  : İlk konum hesaplama ile ikinci konum hesaplama arasında geçen süre.  
 $\alpha$  : x eksenine ile doğrultu vektörü arasındaki açı.  
 $\beta$  : Yer iminin potansiyometreden okunan açısı.  
 $\gamma$  : x eksenine ile yer imi doğrultusu arasındaki açı.  
 $\theta$  : Robotun doğrultu vektörü ile yer imi doğrultusu arasındaki açı.  
 $\varepsilon$  : Yer imi doğrultusu ile potansiyometrenin son açısı arasındaki kalan açı.

## KISALTMALAR

- ABD : Amerika Birleşik Devletleri  
CCS : Custom Computer Service (Özel Bilgisayar Servisi)  
CNC : Computer Numerical Control (Bilgisayarlı Nümerik Kontrol)  
CPU : Central Processing Unit (Merkezi İşlem Birimi)  
DC : Direct Current (Doğru Akım)  
PIC : Peripheral Interface Controller (Çevresel Arabirim Denetleyicisi)  
PID : Proportional-Integral-Derivative (Oransal-İntegral-Türev)  
PWM : Pulse Width Modulation (Darbe Genişlik Modülasyonu)  
RFID : Radio Frequency Identification (Radyo Frekansı ile Tanımlama)  
RISC : Reduced Instruction Set Computer (Azaltılmış Komut Seti Bilgisayarı)  
SGK : Sosyal Güvenlik Kurumu  
SRI : Stanford Research Institute (Stanford Araştırma Enstitüsü)  
TL : Türk Lirası  
UPS : Uninterruptible Power Supply (Kesintisiz Güç Kaynağı)  
USB : Universal Serial Bus (Evrensel Seri Veriyolu)

## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

Günlük hayatta insanlar tarafından yapılan birçok eylem, bir alan üzerinde gerçekleştirilen işlerden oluşmaktadır. Bu tür işler genellikle, bina içlerinde zemin temizliği (silme, süpürme, vb), bina dışlarında ise arazide yapılan tarımsal faaliyetler (arazinin sürülmesi, tohumlanması, ilaçlanması, hasat yapılması, vb) olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu işler ister makine ile yapılıyor olsun, isterse insan tarafından bizzat yapılsın, her durumda alanın tam olarak boşluk bırakmadan işlenmesini gerektirir.

Ayrıca, insanların girmesinin tehlikeli olduğu alanlarda yapılacak olan alan tarama işlemlerini yürütecek olan bir robota ihtiyaç vardır. Örneğin, mayınlı bir araziye taramak için ya da bir fabrikada insanın bulunmasının tehlikeli olduğu yerlerde bir robotun kullanılmasına ihtiyaç olabilir.

Bu tür girilmesi tehlikeli olan bölgelerde, uzaktan kumandalı robotlar rahatlıkla kullanılabilir. Fakat günlük yapılan rutin işlerde robotun kontrolü için bir insanın görevlendirilmesi iş kaybı demektir. Bunun yerine rutin işleri belli bir programa göre kendi kendine icra eden robotların yer alması daha uygun olacaktır.

Bu tez çalışmasında, bu işlemleri yerine getirecek teknolojik özelliklere sahip bir robotun tasarlanması, programlanması ve testleri yapılmıştır. Robotun hafızasına, tarayacağı alan veya takip edeceği rota bilgisi yüklendiğinde bu bilgiye bağlı olarak konumunu kendisi belirlemektedir.

Robot, hafızasına yüklenen bir rota üzerinde gezebilmesi nedeniyle taşıma amaçlı kullanılabilir. Örneğin, bir fabrika içerisinde mamullerin taşınması, bir

kafeterya ya da büroda servis hizmetlerinin yürütülmesi gibi amaçlar için kullanılabilir.

Robota, daha önceden tarayacağı alan ya da gideceği güzergah, hafızasına yüklenir. Robot ortamdaki dinamik hareketlerden dolayı herhangi bir engelle karşılaştığında bu engellerden kaçır ve hafızasındaki görevi devam ettirmeye çalışır. Bu görev bir alan taraması ise dinamik durumdan kaynaklanan alan üzerinde meydana gelen boşluğu, görev sonunda tekrar tamamlamaya çalışır. Eğer bu görev bir rota üzerinde gezme ise, sapma işleminden sonra tekrar rota üzerine döner. Bütün bu işlemler, herhangi bir insan müdahalesi olmadan otonom olarak gerçekleştirilmektedir.

Yapılan bu tez çalışması içerik olarak aşağıdaki maddeleri kapsamaktadır;

- a) Genel amaçlı gezgin bir robotun tasarımı ve otonom kontrolü gerçekleştirilmiştir.
- b) Robot hafızasına yüklenen harita bilgisine bağılı olarak ister alan tarama, isterse rota takibi amacıyla kullanılabilir.
- c) Robota bağılanacak olan görev aksamaları kullanım amacına göre değiştirilebilir. Örneğin, gezgin robot temizlik amacıyla kullanılacaksa üzerine temizleme aparatları bağılanır ya da taşıma amaçlı kullanılacaksa uygun aparatlar eklenir.
- d) Robotun konum kontrol sistemi, çalışılan alanın belli noktalarına konulan yer imleriyle (özel renkli şekilli işaretler) sağlanmaktadır. Yer imlerinin konumu, mesafesi ve numarası kamera ile alınan görüntülerden çıkarılmaktadır. Kullanılan yer imi sayısı, alanın büyüklüğüyle ve robotun bunları görme açısıyla doğru orantılı olarak belirlenmektedir.
- e) Kamera ile görüntü alınırken tek bir kamera kullanılmış ve bu kamera ile çevre 270 derece açı ile taranmaktadır. Bu esnada kameranın hangi açıda görüntü aldığı, kameranın altına yerleştirilen bir potansiyometre ile okunmaktadır. Böylece konum hesaplamada 3 adet yer imi yerine 2 adet yer imi kullanılmıştır.
- f) Robotun önceki yön vektörü ve hız vektörü kullanılarak tek yer iminden alınan görüntü ile de konum hesaplaması yapılabilir.



- g) Robotun yer imlerinden aldığı görüntü engellendiği durumlarda (ortamın dinamik yapısı nedeniyle) konum belirlemesi, robotun hız ve yön vektörüne göre tahmini olarak hesaplanmakta, tekrar yer imlerinden koordinat almaya başladığında konumunu güncelleyerek kaldığı yerden devam etmektedir.
- h) Robotun kontrolü 1.86 GHz Netbook tipi bir bilgisayar tarafından yapılmaktadır.
- i) Gezgin Robot çalışma süresi içerisinde enerjisini batarya ile sağlamaktadır. İstenirse batarya bitmeye yakın zamanda, park alanına gidip otomatik şarj etme özelliği de eklenebilir.
- j) Robotun hareketlerini kontrol etmek için mikrodenetleyicili devre tasarlanmıştır.
- k) Kameradan alınan görüntüleri işleyip mesafe hesaplarını yapmak için yazılım geliştirilmiştir. Bu amaçla yer imlerinden alınan görüntülerin hangi işarete ait olduğu algoritma ile tespit edilmekte, mesafe ölçümü ise yer imi üzerindeki işaretin büyüklüğü ile orantı kurularak yapılmaktadır.
- l) Çalışılan alanın haritası hafızaya yüklendikten sonra, alan içerisinde gidilecek tüm yollar, CNC (Computer Numerical Control) tezgahlarında kullanılan kesici yolu çıkarma algoritmaları kullanılarak belirlenmektedir.
- m) Gezgin robotun daha sonradan yaptığı görevleri incelemek için bir kayıt sistemi kullanılmıştır. Bu işlemde tüm hareketleri ve uygulamaları kayıt altına alınmaktadır.

Literatürde gezgin robotla ilgili ilk çalışmalar 1960'lı yıllarda başlamıştır. 1960 yılında SRI (Stanford Research Institute) tarafından yapılan Shakey isimli robot, kendi hareketlerini bir nedene bağlayabilen ilk robottur [1].

Durieu vd., kızılötesi ve ultrasonik aktif yer göstericiler kullanarak, robotun pozisyon bilgisini ve gezgin robotun hareketlerini takip etmeyi amaçlamışlardır. Yapılan simülasyon ve testler sonucunda hesaplama süresini 1 saniye ve hata payını da 10 cm olarak bulmuşlardır [2].

Frohn vd., endüstriyel ortamlar için VISOCAR adını verdiği bir araca görüntü ile hareket sağlayan bir sistem yerleştirmişlerdir. Geliştirilen sistem kısıtlı işlem hızına

sahip bilgisayarlar için uygundur. Kameradan alınan görüntü bilgisi ile aracın otonom olarak hareket etmesi sağlanmıştır [3].

Kleeman, ultrasonik yer gösterici kullanarak, gezgin robotun yönlenmesini ve pozisyonunu bulmayı hedeflemiştir. Çalışmasında, enkoder ve yer göstericiden alınan bilgiler genişletilmiş kalman filtresine girilerek, pozisyon ve yön bilgisi elde edilmiştir. Çalışmanın sonucu olarak, 12 metrekare çalışma alanı içerisinde gerçek zamanlı olarak (hesaplama zamanı 150 ms) yön ve pozisyon bilgisi 40 mm hata ile bulunmuştur [4].

Atomic Energy of Canada Ltd. ve Ontario Hydro Technologies tarafından ortaklaşa yürütülen, Toronto ve York Üniversitelerinin destek verdiği proje sonucunda “Autonomous Robot for a Known Environment” isminde, doğal yer imleri ile çalışan bir sistem ortaya konmuştur [5]. Doğal yer imini kullanmanın en büyük artışı, dışarıdan bir yer imi yerleştirmeden ortamda bulunan özellikleri kullanarak gezgin robotu konumlandırabilmek. Bu tür sistemlerin dezavantajı ise eğer ortamdaki çıkarılması gereken özellik doğru seçilmez ise, ortamdaki yer imleri birbirine karıştırılabilir ve robotun pozisyonu doğru hesaplanmayabilir. Bir başka dezavantaj ise, seçilecek özelliği bulacak olan bilgisayar fonksiyonu sisteme oldukça büyük hesaplama yükü getirebilir. Bu durumda robotun çalışması yavaşlayabilir ve istenmeyen sonuçlar ortaya çıkabilir.

Atomic Energy of Canada Ltd. and Ontario Hydro Technologies tarafından ARK isimli sistem, Cybermotion K2A+ isimli gezgin robot üzerinde kullanılmıştır. Ark sistemi, robotun enkoder ile aldığı bilgiyi belirli zaman aralıklarında düzeltmek için kullanılmıştır [6].

Park vd., fark enkoder ve jiroskop kullanarak gezgin robotu ortamda hareket ettirmişlerdir [7]. Jiroskop ve enkoder ile alınan bilgilerden kaynaklanan hataları telafi etmek içinse, genişletilmiş kalman filtresi kullanılmıştır. Yapılan çalışmalarda kullanılan yöntem ve algoritmanın, oldukça güvenilir pozisyon ve yön bilgisi verdiği gözlemlenmiştir.

Kubitz vd., tarafından bina içi uygulamaları için maliyeti düşük, sağlam ve güçlü olması amaçlanan bir sistem önerilmiştir. Yapay yer imi olarak RFID (Radyo Frekanslı ile Tanımlama) kullanılmıştır. RFID sistemi okuyucu ve okunacak etiket olarak iki parçadan oluşur. Bu etiketler aktif ve pasif olmak üzere ikiye ayrılırlar. Aktif etiketlerin kendi enerjileri vardır ve tetiklendikleri sürece üzerine yazılan bilgiyi ortama radyo frekansı aracılığı ile yayarlar. Pasif etiketler ise üzerinde enerji kaynağı bulundurmazlar, enerjilerini okuyucunun yaydığı manyetik sinyallerden alarak ortama üzerlerinde yazılan bilgiyi yayarlar. Çalışmada gezgin robot üzerine RFID okuyucusu konulmuş ve ortam, üzerlerinde pozisyon bilgisi olan RFID etiketleri ile donatılmıştır. Dolayısıyla okuyucu tarafından okunan etiketin vereceği bilgi pozisyon bilgisi olacağından, gezgin robot konumlandırılmış olacaktır [8].

Arsenio and Ribeiro, lazer mesafe ölçücüsü kullanarak gezgin robotun tam yerini bulmaya çalışmışlardır. Çalışmada, ortamın harita bilgisi ve lazer ölçücüden alınan verilerin birleştirilmesi ile pozisyon bilgisi elde edilmiştir. Yapay yer imi olarak ortamın köşelerini kullanmışlardır [9].

Feng-ji vd., iki adet ultrasonik algılayıcı ve bir doğal yer iminden faydalanarak gezgin robotun pozisyonunu ve yönlenmesini, bina içi gibi daha önceden bilinen ortamlar için bulmayı amaçlamışlardır. Çalışmada doğal yer imi olarak, bir odanın duvarlarının köşe noktaları seçilmiştir. Seçilen köşe noktalarına göre gezgin robot konumlandırılmıştır [10].

Araujo and Almeida, gezgin robotun koordinatını enkoder yardımı ile alıp, robotu engel olmayan laboratuvar şartlarında bir başlangıç pozisyonundan başlatarak hedef koordinata gitmesini sağlamışlardır [11].

Song and Chang, yapısal olmayan dinamik bir ortamda gezgin robot için tepkisel seyrişer metodu önermişlerdir. Gezgin robotun hareketi sırasında karşılaşılabileceği engeller için, kamera ve ultrasonik algılayıcılar tarafından ortamdaki bilgi alınmakta ve bu alınan bilgiler çevrimdışı olarak eğitilmiş olan yapay sinir ağı sistemine girdi olarak verilmektedir. Yapay sinir ağının çıktısı da sisteme verilerek, eğer ortamda bir

engel var ise ondan kaçınacak şekilde çıktı üretmesi sağlanır. Yapılan deney ve testlerde yöntemin çalıştığı gözlenmiştir [12].

Lee vd., gezgin robotun dönme açısını bulan sistem, üzerinde bulunan kameradan aldığı bilgiyi işleyerek, dönme açısına ve dönme hızına karar vermektedir. Bulunan bu değerler bir PID (Proportional-Integral-Derivative) denetleyicisinden geçirilerek sisteme uygulanmaktadır. Bu şekilde sistem yere çizilmiş beyaz bir çizginin kıvrılma oranlarına bakarak robotun dönüş manevralarını yapmaktadır [13].

Piaggio vd., tarafından geliştirilen gezgin robot, bina içerisine belli referans noktalarına yerleştirilen aktif yer göstericilerden alınan bilgiyi kullanarak üçgenleme metodu yardımı ile kendi konumunu bulmuştur. Üçgenleme metoduna ek olarak kalman filtresi de kullanılmıştır [14].

Venet vd., duvara bir adet hareketli lazer verici sabitlemişler ve alıcı olarak gezgin robotun üzerinde altı adet foto diyot bulunan bir alıcı yerleştirip gezgin robotun pozisyonunu, kartezyen koordinatlar ve yön bilgisi kullanarak bulmuşlardır [15].

Carelli vd., gezgin robotların koridorda seyrüseferini kamera yardımı ile yapmasını hedeflemişlerdir. Çalışmada iki adet denetleyiciden söz edilmektedir. Bunlardan ilki, optik akışı denetlerken, ikinci denetleyici ise koridorun perspektif çizgilerini hesaplamaktadır. Her iki denetleyici de robotun koridorda seyrüseferini gerçekleştirecek hız bileşenini üretmektedir. İki denetleyiciden alınan bilgiler kalman filtresinden geçirilerek birleştirilmekte ve ortaya gürbüz bir seyrüsefer uygulaması çıkmaktadır. Yapılan deneylerde gezgin robotun koridorda duvarlara çarpmadan hareket ettiği gözlenmiştir [16,17].

Pantofaru vd., lazer uzaklık algılayıcısı ve kameradan alınan görüntülerden bilginin çıkarılması üzerine yoğunlaşmışlardır. Çalışmanın temel amacı ilgili objelere ayrılmış haritaların oluşturulmasıdır. Bu amaç için deney aracı olarak binalar seçilmiştir. Çalışmanın sonucunda ulaşılmak istenilen nokta gezgin robot üzerindeki kamera ve lazer algılayıcıları kullanarak bu haritaları oluşturmaktır [18].

Florence Kentucky’de bulunan Mazak fabrikasında otonom gezgin robotlar, ağır metal plakaları iş istasyonları arasında taşımak için kullanılmaktadır. Yine kişisel kullanım için Transitions Research Corporation tarafından yapılan Helpmate isimli otonom gezgin robot hastanede hastalara yemek vermesi için kullanılmaktadır [19].

Negenborn, yapmış olduğu tez çalışmasında kalman filtre tekniklerini kullanarak robot lokalizasyonu üzerine bir sümulasyon çalışması gerçekleştirmiştir [20].

Xiaochuan, kontrol mimarisine dayanarak geliştirilen bir tepkisel seyrüsefer sistemi geliştirmiştir [21]. Robot çevreden aldığı her etkiye plan yapmadan bir tepki üretmektedir. Plan yapmaması tepkinin oluşma zamanını oldukça hızlandırmıştır. Bu mekanizmayı insanda refleks olarak yapılan kas hareketlerine benzetebiliriz.

Parikh vd., planlı seyrüsefer metodu kullanarak yürüme engelliler için tasarlanan bir tekerlekli sandalyenin hareketlerini planlanmışlardır. Hareket planlaması sırasında sandalyede oturan kişi, gidilecek noktaları sisteme girerek en üst seviyedeki planı oluşturmuş olur ve oluşturulan plan çerçevesinde tekerlekli sandalye hareket eder. Beklenmedik durumlarda, örneğin tekerlekli sandalyenin önüne aniden bir cisim çıkması halinde, çarpışmanın gerçekleşmemesi için tepkisel olarak çalışan bazı fonksiyonlar en alt seviyede hazır bulunurlar [22].

Zhang vd., su altında çalışan robotlar için bir yer imi sistemi geliştirmişlerdir. Görüntüler, sualtı robotunun üzerine monte edilmiş kamera yardımı ile alınmaktadır. Yapay yer iminin pozisyonu, dünya koordinat sistemine göre bilinmektedir. Çalışma iki adımdan oluşmaktadır: İlk adımda resimden kamera koordinat sistemine göre özellik noktaları oluşturulmakta ve ikinci adımda ise bu özellik noktalarının, dünya koordinat sistemine göre olan dönüşümleri bulunarak su altı robotu konumlandırılmaktadır. Yapılan deneylerde en yüksek 11,2 cm hata ile robot konumlandırılmıştır [23].

Luo vd., gezgin güvenlik robotunun kendi kendisini şarj edebilmesi için bir şarj ünitesi geliştirilmiş ve yapay yer imi, bu ünitenin üzerine yerleştirilmiştir. Gerilim seviyesi belli bir düzeyin altına inen robot, yapay yer imi sayesinde kendini şarj

ünitesine bağlayarak şarj olmasını sağlamıştır. Yapılan 100 deneyin 99'unda başarılı bir şekilde robot yer imini dolayısıyla şarj ünitesini başarı ile bulup şarj görevini tamamlamıştır [24].

Maosen vd., bio algılayıcı tabanlı ve akustik görüntülerin eşleştirmesi esasına dayanan mobil seyrüsefer sistemini ortaya koymuşlardır. Çalışmada kameradan alınan görüntüler yerine ses ile oluşturulan görüntülerin eşleştirilmesi kullanılmıştır. Buradaki amaç, yarasaların görme yapılarına benzer bir yapıyı kullanmak ve bu yapıyı gezgin robotlara uygulamaktır. Çalışmada doğal yer imi olarak üç adet aynı boyda yapay ağaçtan oluşturulan akustik görüntüler kullanılmıştır. Alınan bu görüntüler gezgin robot üzerinde yazılan program ile sınıflandırılmıştır [25].

Jang vd., farklı iki renge ve üç boyuta sahip bir yer imi kullanmışlardır. Çalışmada özel bir düzenek sayesinde 360 derece görüş alanı sağlayabilen kameradan alınan görüntüden, bakış açısından kaynaklanan bozulma ile gezgin robotun yönlenmesi ve şeklin boyutunun uzaklığa bağlı değişmesinden, yer imine olan uzaklığı bulmuşlardır. Elde edilen sonuçlar en fazla 7 cm hata ile gezgin robotun kendisini konumlandığı yönündedir ki bu sonuç, bina içi uygulamaları için oldukça yeterli bir sonuçtur [26].

Yapılan önceki çalışmalar ile bu tez çalışması arasında birçok benzerlik ve farklılıklar mevcuttur. Her şeyden önce buradaki çalışmada yapay yer imi kullanılmaktadır. Bu imlerin şekli, algılama usulü diğer çalışmalardan farklıdır. Çalışma sahası ya da güzergahı robotun hafızasına önceden yüklenmektedir. Robotun kontrol sistemi genel amaçlı olarak yapıp üzerine bağlanan ek sistemlerle kullanım amacı, istenilen şekilde ayarlanabilmektedir.

Literatüre geçen akademik çalışmaların yanında, piyasada ticari maksatla üretilmiş otonom kontrollü temizlik robotları da vardır. Electrolux TRILOBITE ZA 2 elektronik robot süpürge, Chinavasion G182 akıllı robot süpürge, Roomba ve Scooba otonom kontrollü temizlik robotları bunlardan sadece birkaçıdır. Bu robotlar daha çok rastgele ve tepkisel kontrol ile ortamda temizlik yapmaktadırlar.

## BÖLÜM 2

### OTONOM KONTROLLÜ GEZGİN ROBOTLAR

#### 2.1. OTONOM KONTROL DURUMLARI

Robotlar otonom durumuna göre üçe ayrılabilir [20].

Otonom olmayan robotlar: Tamamı ile insan tarafından sürülen robotlardır. Bu robotların zekası sadece insandan gelen emirleri uygulayacak kadardır.

Yarı otonom robotlar: Bu tür robotlar bazı durumlarda kendi kendilerine hareket edebilen bazı durumlarda da insanlar tarafından sürülebilen robotlardır.

Tam otonom robotlar: Tamamen kendi kendine, herhangi bir insana ihtiyaç duymadan görevlerini tamamlayabilen robotlardır. Bu tür robotların kendilerine ait zeka ve hareket kabiliyetleri bulunmaktadır.

Bu çalışma kapsamında geliştirilen robot, “Tam Otonom Robot” olarak tanımlanabilir.

#### 2.2. SEYRÜSEFER İŞLEMİ

Gezgin robotların doğaları gereği, endüstriyel sabit robotların aksine görevlerini tamamlayabilmek için çoğu zaman ortamda gezinmeleri gerekmektedir. Robot seyrüseferi denince, gezgin otonom robotun bir yerden bir yere konum değiştirmesi akla gelir. Gezgin robotun bu yer değiştirme görevini yerine getirmesi için aşağıdaki sorulara doğru cevap vermesi gerekmektedir [20].

- a) Ben neredeyim? Gezgin robot tam olarak nerede olduğuna doğru karar vermelidir. Gezgin robotun yerini tayin etme işine literatürde “robot lokalizasyonu” denir.
- b) Ben nereye gidiyorum? Gezgin robotun bir sonraki zaman diliminde ne yapacağını bilmesi gerekmektedir. Literatürde buna “hedef tanımlama” denilmektedir.
- c) Nasıl giderim? Gezgin robotun konumu ve görevi biliniyorsa, gidilecek yere nasıl gideceğine karar vermesi gerekmektedir. Literatürde hedef noktaya nasıl gideceğine karar verme işine “yol belirleme” denilmektedir.

Bu tez çalışmasında, yukarıda bahsedilen üç soruya cevap verebilen bir robot geliştirilmiştir.

### **2.3. LOKALİZASYON VE SEYRÜSEFER TİPLERİ**

Bu tip robotlarda kullanılan lokalizasyon (yer seçimi) ve seyrüsefer tipleri aşağıda olduğu gibi 8 başlık altında incelenebilir.

Lokalizasyon ve Seyrüsefer Tipleri:

- a) Enkoder Yardımı İle: Bu yöntemde tekerlerin dönüş miktarı enkoder yardımı ile alınarak sisteme aktarılır. Yöntemde karşılaşılabilecek en büyük sıkıntı, sistemden kaynaklanan hataların birbiri üzerine eklenerek büyümesidir. Bu hatanın düzeltilmesi için bir referans kaynak kullanılabilir.
- b) Aktif Yol Gösterici Yardımı İle: Aktif yol göstericileri kullanarak gezgin robotun tam olarak yeri saptanabilir. Bu metotta en az üç adet verici yol göstericiler yerleştirilmektedir. Bu yol göstericilerden alınan sinyaller işlenerek pozisyon bilgisi oluşturulmaktadır. Aktif yol göstericiler ışık ya da ses yayıcılar olabilir.



- c) Doğal Yer İmi Yardımı İle: Gezgin robot lokalizasyonunda doğal yer imi olarak ortamda bulunan çiçek, kapı, yer döşemesi, pencereler, tavadaki ışıklar, duvarların kesişim yerleri gibi nesnelere ve özellikleri kullanılabilir. Doğal yer imini kullanmanın en büyük artışı dışarıdan bir yer imi yerleştirmeden ortamda bulunan özellikleri kullanarak gezgin robotu konumlandırabilmek. Bu tür sistemlerin dezavantajı ise eğer ortamdaki çıkarılması gereken özellik doğru seçilmez ise ortamdaki yer imleri birbirine karıştırılabilir ve robotun pozisyonu doğru hesaplanmayabilir. Bir başka dezavantaj ise seçilecek özelliği bulacak olan bilgisayar fonksiyonu sisteme oldukça büyük hesaplama yükü getirebilir. Bu durumda robotun çalışması yavaşlayabilir ve istenmeyen sonuçlar ortaya çıkabilir.
- d) Yapay Yer İmi Yardımı İle: Yapay yer imleri insan tarafından tasarlanarak ortama konulduğu için ortamda bulunması oldukça kolaydır. Renk bilgisi, şekli ve boyutları tam olarak bilinir. Bu bilgiler kullanılarak gezgin robotun konumu tespit edilmeye çalışılır.
- e) Harita Tabanlı Konumlandırma: Bu yöntemde robotun üzerindeki algılayıcılardan alınan veriler bir harita ile karşılaştırılarak gezgin robot konumlandırılmaya çalışılır. Alınan veriler ile tespit edilen konum, harita üzerindeki veriler ile örtüşüyor ise gezgin robotun konumu doğru demektir. Harita tabanlı konumlandırmada iki yaklaşım vardır. Bunlardan ilki daha önceden var olan bir haritanın kullanılması, bir diğer yöntem ise robotun kendi haritasını oluşturmasıdır. Burada haritadan kastedilen, konum bilgisi sensör bilgilerinin tutulduğu bir dosyadır. Oluşturulan haritalar geometrik ve topolojik olarak ikiye ayrılabilir. Geometrik harita, robotun bulunduğu dünyadaki yerleri gerçek (x,y,z) değerleri ile gösterirken, topolojik haritalar ise robotun bulunduğu dünyayı düğüm ve yaylar şeklinde gösterir.
- f) Görüntü Temelli Lokalizasyon ve Hareket Etme: Gezgin robotlarda ulaşılması düşünülen noktalardan biri, robotun insanın yerini almasıdır. Bundan dolayı görüntüyü işleyebilmesi gerekmektedir. Gezgin robotlarda görüntü işleme konusu kendine literatürde oldukça geniş bir yer bulmuştur.

- g) Planlı Seyrüsefer: Planlı seyrüseferde robot algılayıcıları yardımıyla sürekli olarak çevreden bilgi toplar, alınan verileri değerlendirerek bir plan oluşturur ve bu oluşan plana göre hareket eder. Ortamda ya da robotun koşullarında, bir değişiklik olduğunda örneğin pozisyon bilgisinin değişmesi durumunda sistem yeniden tüm çevreyi algılamalı ve mevcut durum için yeni bir plan oluşturmalıdır. Bu planlamayı gerçek zamanda yapması, sisteme oldukça büyük bir iş yükü getireceği gözden kaçırılmamalıdır. [21].
- h) Tepkisel Seyrüsefer: Tepkisel seyrüsefer ilk kez Brooks tarafından ortaya atılan, kapsamı kontrol mimarisine dayandırılarak ortaya atılmıştır [21]. Tepkisel seyrüseferde iki aşama vardır: “Hisset” ve “Harekete Geç”. Robot çevreden aldığı her etkiye plan yapmadan bir tepki üretmektedir. Plan yapmaması, tepkinin oluşma zamanını oldukça hızlandırmıştır. Bu mekanizma insanda refleks olarak yapılan kas hareketlerine benzetilebilir. Bu yöntem sisteme işlem yoğunluğu bakımından oldukça avantaj getirirken karmaşık görevlerde yetersiz kalabilmektedir. Kai-Tai Song ve Charles C. Chang tarafından yapılan çalışmada, yapısal olmayan dinamik bir ortamda gezgin robot için tepkisel seyrüsefer metodu önerilmiştir. Gezgin robotun hareketi sırasında karşılaşılabileceği engeller için kamera ve ultrasonik algılayıcılar tarafından ortamdan bilgi alınmakta ve bu alınan bilgiler çevrimdışı olarak eğitilmiş olan yapay sinir ağı sistemine girdi olarak verilmektedir. Sinir ağının çıktısı da sisteme verilerek eğer ortamda bir engel var ise ondan kaçınacak şekilde çıktı üretmesi sağlanır. Yapılan deney ve testlerde yöntemin çalıştığı gözlenmiştir [12].

Bu tez çalışması kapsamında geliştirilen robot, yukarıda d, e, f, g maddelerinde bahsedilen tüm konuları içermektedir. Buna göre robot, yapay yer imlerinden aldığı görüntü ile konumunu hesaplamakta, elde edilen konum bilgisini hafızasındaki harita üzerine yerleştirmekte ve yüklenen görev bilgisi ışığında kendi seyrüsefer yolunu belirlemektedir.

## 2.4. KONTROL TIPLERİ

Gezgin robot verilen görevi yerine getirebilmek için mutlaka planlama yapmak zorundadır. Literatürde planlama tiplerine bakıldığında; davranış tabanlı, genetik algoritma tabanlı, bulanık mantık tabanlı, neuro-fuzzy tabanlı kontrol algoritmaları görülmektedir.

Literatürde kullanılan kontrol tipleri şu şekilde özetlenebilir;

- a) Davranış Tabanlı Kontrol: Davranış tabanlı kontrol aslında bir çeşit tepkisel planlamadır. Bu işlemde sistem, davranışın tetikleyicisi olan ortamdan bir dizi çıktı hareketi üretir. Sistemin çıktısı olan hareketleri; engellerden kaçma, duvarı takip etme, nesneyi tutma ya da bırakma, ortamda arama gibi basit davranışlar olabilir. Ancak bu basit davranışlar bir araya getirilerek oldukça karmaşık davranışlar oluşturmak da mümkündür. Temelinde tepkisel bir yöntem olduğu için oldukça hızlı sonuçlar vermektedir.
- b) Genetik Algoritma Tabanlı Kontrol: Genetik algoritmalar adını Darwin'in evrim teorisinden alır. Bu teoriye göre popülasyonu oluşturan bireylerden sadece iyi olanlar bir diğer popülasyona aktarılır, bu aktarılma sırasında popülasyonun amacına uygun olmayan bireyler elenir ve amaca uygun iyi bireyler bir sonraki nesle aktarılırlar. Bu aktarım sırasında geriye hep iyi kabul edilebilecek sonuçlar kalır. Bir süre sonra çözüm daha fazla iyileşmez ve bulunan en iyi değer çözüm olarak kabul edilir. Ancak bu yöntem iteratif bir yöntem olduğundan çözüm hem en iyi çözüm olmayabilir, hem de gerçek zamanlı uygulamalarda yavaş kalabilir. Bu yüzden literatürde genetik algoritmalar ve gezgin robotla ilgili çalışmalar daha çok rota planlama problemlerine çözüm getirmek için kullanılmıştır.
- c) Bulanık Mantık Tabanlı Kontrol: Boolean mantığa göre, bir olgu var ya da yok olabilir. Örneğin bir renk ya siyahtır ya da beyaz. Arada olan tonları bir çözüm olarak kabul etmez. Bulanık mantıkta ise çözüm siyah ve beyaz arasındaki tonlar şeklindedir. Bulanık mantık çözümlerini, "Eğer-O Zaman"

kural cümleciklerine göre çözer. Bulanık mantıkla daha önceki yapılan çalışmalarda kızıl ötesi algılayıcılar kullanarak hedef takip sistemi, gezgin robotun yönelme açısının hesaplanması, seyrişefe esnasında hız ve dönme açısı parametrelerine karar verilmesi gibi durumlarda kullanılmıştır. Kısaca gezgin robotlarda bulanık kontrol merkezi girdi olarak çeşitli algılayıcı bilgilerini alır ve çıktı olarak da söz edilen hız ve dönme açı değerlerini hesaplamada kullanılmıştır.

- d) Neuro-Fuzzy Tabanlı Kontrol: Problem çözümlerinde, bulanık mantık ve yapay sinir ağı metotlarının birleşmesinden ortaya çıkmıştır. Bu melez yöntem her iki metodun da avantajlarına sahiptir. Örneğin; gezgin robotun park esnasında karar vermesi ve kinematik hesaplarının yapılması bu yöntemle yaptırılabilir.

Yapılan bu tez çalışmasında, robotun ortamdaki statik ve dinamik engellere karşı dinamik davranış sergilemesi sağlanmaktadır. Robot, bir noktadan diğere bir noktaya rota takibi yaparken, hafızaya daha önceden yüklenen rota ile yolunu belirlemektedir. Buna göre robotun hareketi davranış tabanlı olarak kabul edilebilir.

## BÖLÜM 3

### OTONOM KONTROLLÜ GEZGİN ROBOTUN TASARIMI

#### 3.1. ROBOTUN MEKANİK TASARIMI

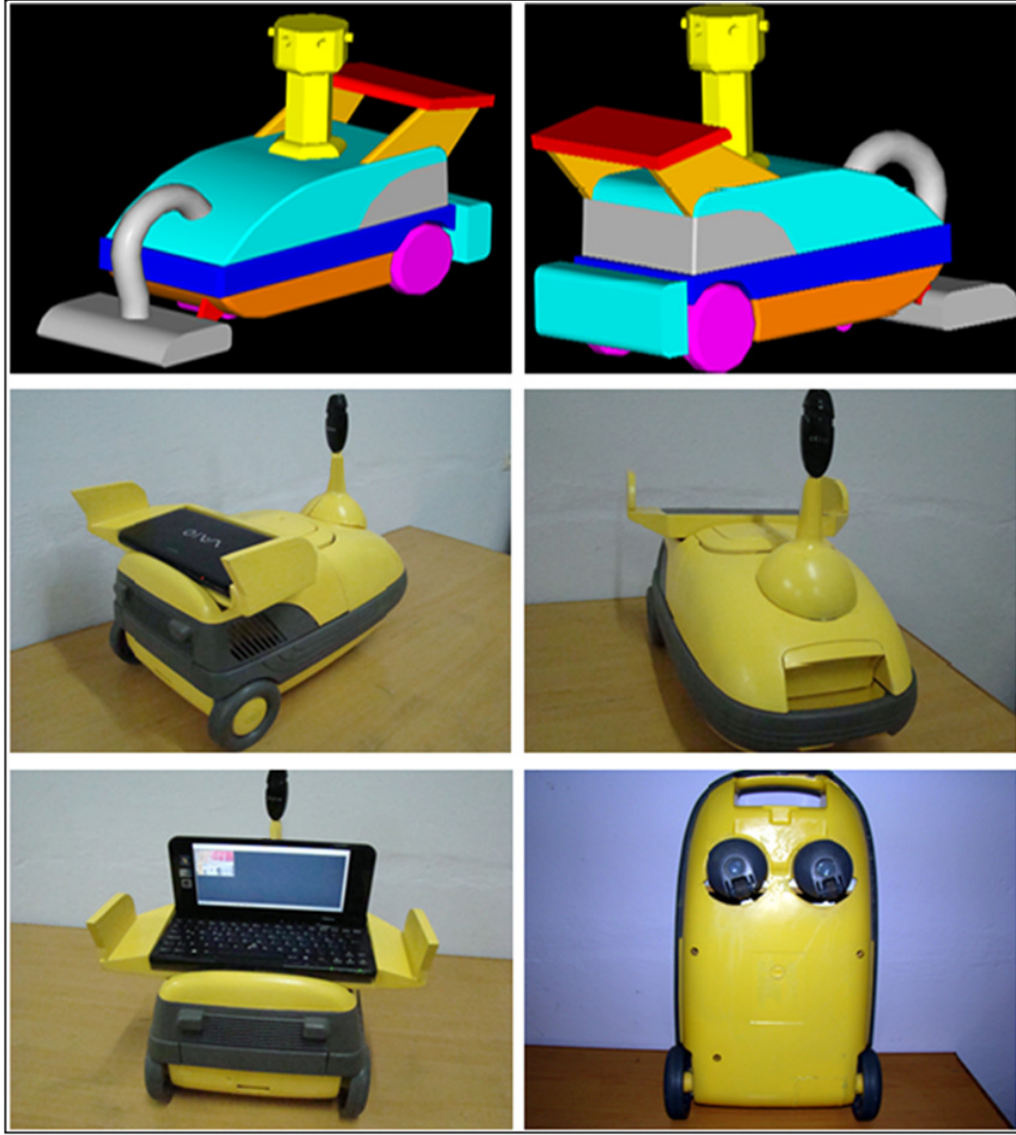
Robotun mekanik tasarımı, şu görevleri yerine getirecek şekilde tasarlanmıştır;

- a) Belirlenen alan içerisindeki tüm alanı tarayarak gezme (Alan Tarama).
- b) Bir noktadan başka bir noktaya malzeme taşıma (Rota Takibi).

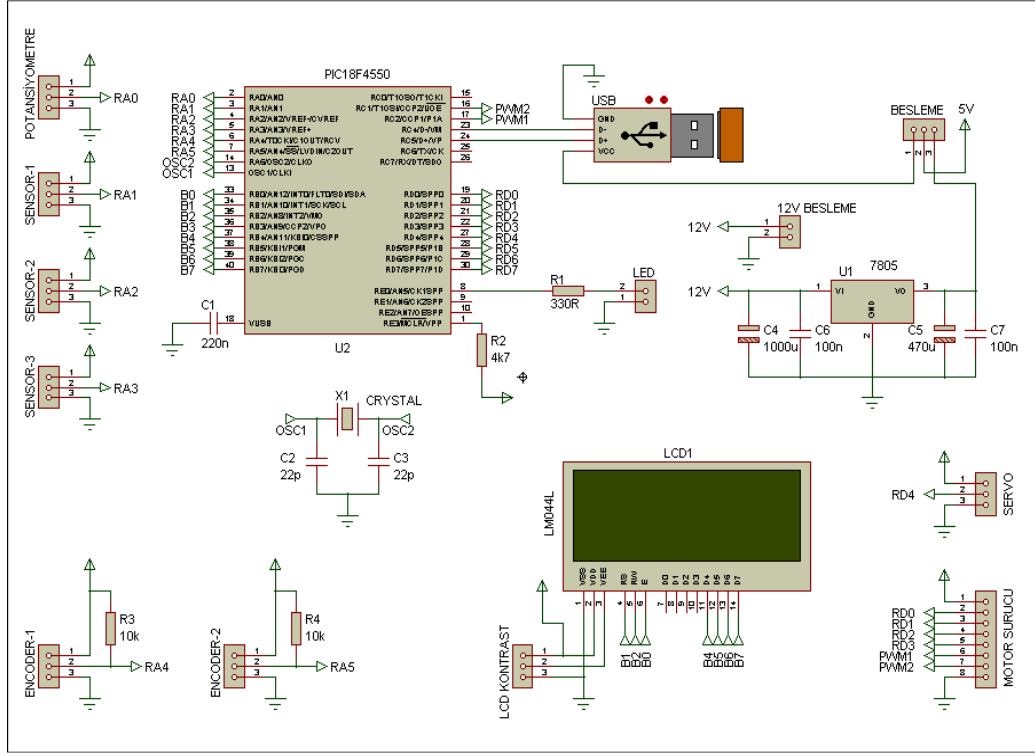
Tasarlanan robotun üzerinde; temizlik görevini yerine getirmek için aparatlar, taşıma işlemi içinse taşıma kabı konulabilir. Robotun görevlerini yerine getirebilmesi için boyutları en optimum şekilde tasarlanmıştır. Robotun tahriki, 2 adet dc (Direct Current) motora bağlı arka tekerler ile, yön tayini ise öndeki servo motora bağlı tekerler ile sağlanmaktadır. Robotun kontrolü sağlayabilmesi için, bir adet bilgisayar ve etraftaki yer imlerinin görüntülerini alabilmek için 1 adet 270<sup>0</sup> dönebilen kamera kullanılmıştır (Şekil 3.1).

#### 3.2. ROBOTUN KONTROL TASARIMI

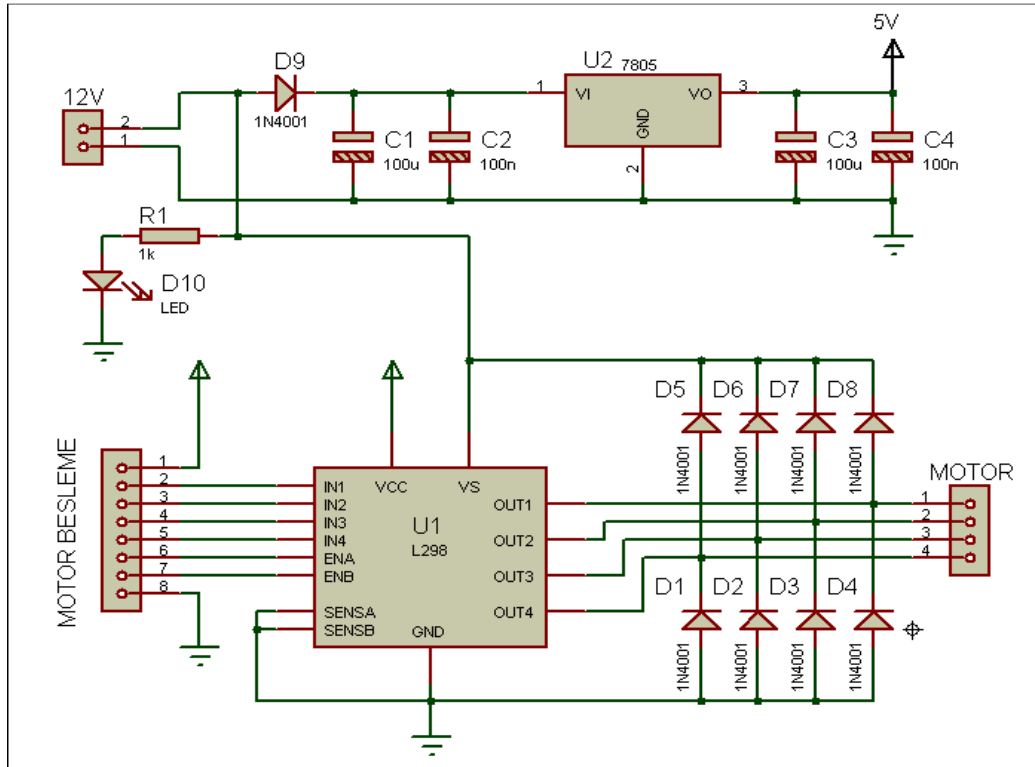
Robot içerisinde hareketi sağlamak için iki adet dc motor, yönlendirme için ise bir adet servo motor kullanılmıştır. Motorların sürücü devresi ve bilgisayarla iletişimi sağlayabilmesi için mikrodenetleyici devresi tasarlanmıştır (Şekil 3.2, 3.3). Aynı zamanda mesafe sensörleri de kullanılarak, robotun sabit ve dinamik cisimlere çarpması engellenmiştir. Şekil 3.4'te ise robotun iç elektro-mekanik sistemleri gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Robotun genel tasarım ve görünümleri.



Şekil 3.2. Bilgisayarla iletişimi sağlayacak mikrodenetleyici devresi.



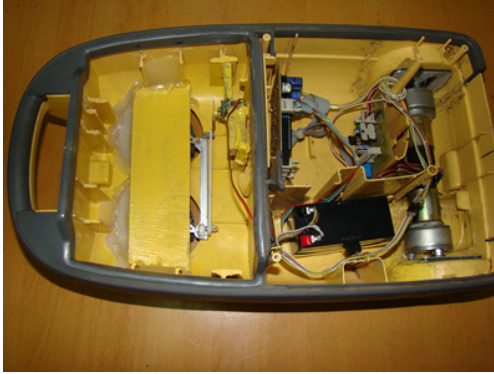
Şekil 3.3. DC motor sürücü devresi.



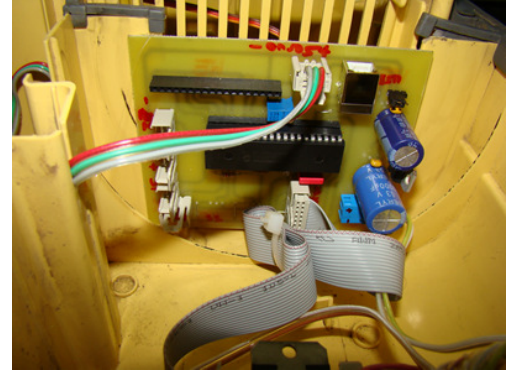
(a)



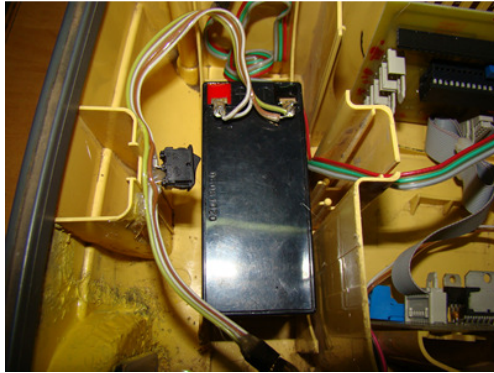
(b)



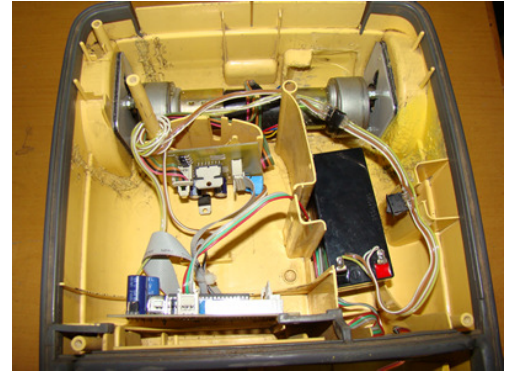
(c)



(d)



(e)



(f)

Şekil 3.4. Robotun iç elektro-mekanik sistemleri: a) Kamerayı otomatik döndürme ve potansiyometre sistemi. b) Yönlendirmeyi sağlayan servo motor sistemi. c) Robotun iç kısmının genel görünümü. d) USB arabirim devresi. e) Batarya ve bağlantıları. f) Hareketi sağlayan redüktörlü dc motorlar ve sürücü devresi.

Bilgisayar, kameradan alınan görüntüleri işleyip hareket bilgilerini üretmek, bu bilgileri USB (Universal Serial Bus) aracılığı ile mikrodenetleyici devresine,



mikrodenetleyici de hareket ve yön bilgisi sinyallerini robotun dc motor sürücü devresine ve servo motora göndermektedir.

USB arabirim devresinde, mikrodenetleyici olarak Microchip firmasının ürettiği PIC18F4550 entegresi, motor sürücü olarak da L298 entegresi kullanılmıştır. Bu devrede bulunan mikrodenetleyicinin programlanabilmesi için gerekli olan kodlar, CCS (Custom Computer Service) PIC (Peripheral Interface Controller) C dilinde yazılmıştır [27]. USB arabiriminde kullanılan mikrodenetleyici için özel USB iletişim kodları kütüphane olarak programa eklenmiştir.

### **3.2.1. PIC Mikrodenetleyiciler**

Microchip Technology firması tarafından üretilen mikrodenetleyici yongaları, PIC “Çevresel Arabirim Denetleyicisi” olarak adlandırılmaktadır ve programlanabilen arabirim kontrolörü olarak görev yapmaktadır.

PIC mikrodenetleyiciler hızlı çalışmaları amacıyla RISC (Reduced Instruction Set Computer) işlemciler olarak tasarlanmışlardır. Bu mimari biçiminde program kodları ve veriler farklı bellek blokları içerisinde bulunmaktadır. Her bir komut çevriminde hem program hem de veri hücrelerine erişilebilmektedir. Bu nedenle işlem hızı yüksektir. RISC işlemcilerde bir komutun icra edilmesi için bir dahili saat çevrimi gerekir. Yazılan programların verileri işlemesi için çok az sayıda komut gerekir [28].

Bu tezde kullanılan PIC18F4550, Microchip Technology firması tarafından üretilen en gelişmiş mikrodenetleyicilerden biridir. PIC18F4550 mikrodenetleyicisi, PIC18F “Tam Hız Ailesi” olarak adlandırılan gruptaki PIC18F2455/2550/4455/4550 mikrodenetleyicilerden biri olup, birçok özelliğiyle kendi üretim grubundaki mikrodenetleyicilerden de üstündür. PIC18F mikrodenetleyicileri ailesi çok geniş bir kullanım alanına sahiptir:

- a) Endüstriyel uygulamalar (üretim cihazları, veri günlükleyicileri, tarayıcılar, akıllı göstergeler, mikro yakıt pilleri, robot kontrolör arabirimleri, endüstriyel zamanlayıcılar, kablo-test cihazları, gaz-akış analizörleri vb.),

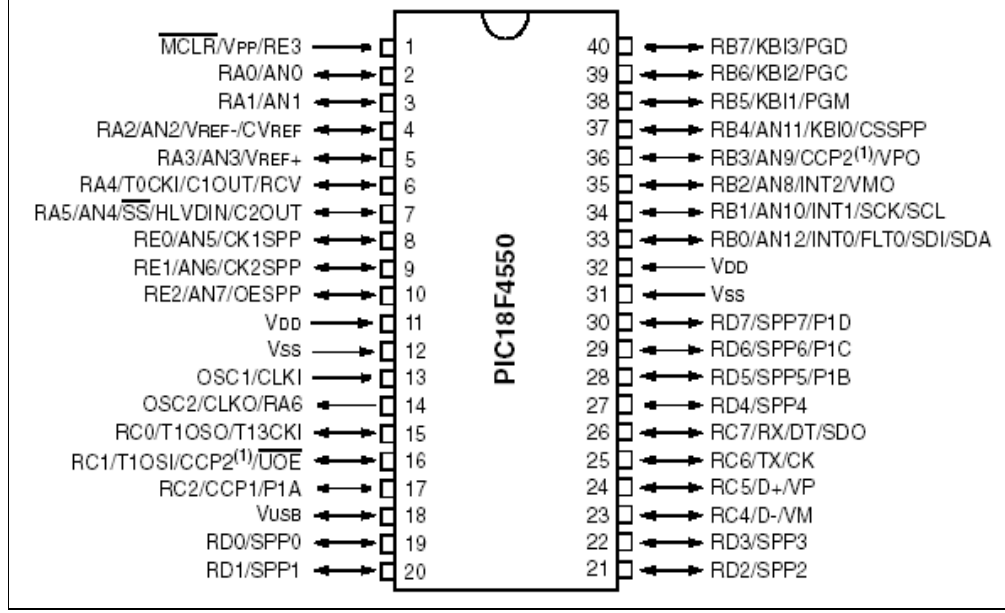
- b) Medikal uygulamalar (sese duyarlı uygulamalar, gelişmiş tekerlekli sandalyeler, araştırma cihazları otomasyonu vb.),
- c) Otomotiv uygulamaları (araç arıza tanıma sistemleri, kara kutu uygulamaları, ultrasonik uygulamalar),
- d) Pille çalışan aletler (portatif aletler, sensörler, güvenlik uygulamaları, uzaktan kumanda kontrol sistemleri, ev otomasyonu),
- e) Tüketici elektroniği (elektronik kartvizit tarayıcılar, ses kaydediciler, UPS (Uninterruptible Power Supply) sistemler, MP3 çalarlar, yangın alarm sistemi, güvenlik sistemi programlayıcısı).

USB aracılığıyla veri toplama için elektronik piyasasına sürülen PIC18F4550, 48 MHz'lik hızıyla diğer mikrodenetleyicilere göre öne çıkmaktadır. Bunun yanı sıra PIC18F4550'nin USB desteği, çalışma frekans aralığı, haberleşme hızı, hafıza desteği, güç tüketimi, osilatör özellikleri, Analog/Dijital çevirici desteği gibi avantajları vardır.

Piyasada USB kullanılarak veri toplamak için başka mikrodenetleyiciler de vardır. Atmel AVR-USB, Cypress EZ-USB, Cypress EnCoRe II, Freescale MC68HC908JB16, Freescale MCF5482 ColdFire, Microchip 16C745/765 ve Texas Instruments, Silicon Laboratories firmalarının üretmiş olduğu birçok mikrodenetleyici mevcuttur. Ancak bunlardan bazıları USB 2.0 versiyonunu desteklememekte, bazıları hız açısından yetersiz kalmakta, bazıları nispeten pahalı veya PIC kadar yaygın kullanılmayan ürünlerdir.

PIC18F4550'nin avantajları göz önünde bulundurularak, proje için uygun bir mikrodenetleyici olduğu sonucuna varılmıştır.

Şekil 3.5'te gösterildiği gibi PIC18F4550, 5 adet giriş/çıkış portuna sahiptir. Mikrodenetleyici portlarının hangi amaç için kullanılacağına bağlı olarak, bacakları oraya yönlendiren multiplexer (çoklayıcı) bulunmaktadır. Giriş/çıkış portlarının bazı bacakları, kullanılan çevrebirimin özelliklerine göre alternatif bir fonksiyonla çoklanabilir. Genel olarak, bir çevrebirim seçilir kılındığında, mikrodenetleyicinin ilgili bacağı artık sadece genel amaçlı bir giriş/çıkış bacağı olmayacaktır [29].



Şekil 3.5. PIC18F4550 bacak yapısı.

PIC18F4550, diğer tüm PIC18 ailesi mikrodenetleyicilerinin sahip olduğu ucuz olmasının yanında yüksek hesaplama performansına, yüksek dayanıklılığa ve geliştirilmiş flash program hafızasına sahiptir. Aynı zamanda PIC18F4550'nin tasarımında yapılan geliştirmelerle, yüksek performanslı ve güç hassasiyetli uygulamalarda seçilmesi sağlanmıştır [29].

### 3.2.2. L298 Motor Sürücü Entegresinin Kullanımı

L298, bir motor sürücü entegresidir. 2 A'lık akıma karşı dayanıklıdır. 2 adet H köprüsü bulunur. H köprüsü dc motoru iki yönde de sürmeye yarayan faydalı bir yöntemdir. 4 adet transistör ile anahtarlama yöntemi kullanılarak yapılır. Yapısı gereği H harfine benzediğinden dolayı böyle adlandırılır. Bu entegrede toplam 15 adet bacak bulunmaktadır. Bunlardan IN1, IN2, OUT1, OUT2, ENA, SENSA bacakları A köprüsü için; IN3, IN4, OUT3, OUT4, ENB, SENSB ise B köprüsü içindir.

IN1, IN2 (5,7): Bu bacaklar A köprüsü için olan girişlerdir. +5V ile çalışır. Eğer IN1'e 5V, IN2'ye 0V verince motor ileri dönerse, tam tersini verdiğimizde geri

dönecektir. Her iki bacağa da aynı değeri verirsek (0V-0V veya 5V-5V) motor dönmez.

IN3, IN4 (10,12): Bu bacaklar B köprüsü için olan girişlerdir. A köprüsüyle aynı şekilde çalışır.

OUT1, OUT2 (2,3): A köprüsü için çıkış bacaklarıdır. Bu çıkışlar motorun iki ucuna bağlanır. Motorların herhangi bir zorlanma durumunda oluşacak olan ters akımın entegreye zarar vermemesi için çıkışlar ile motor arasına ikişer adet diyot bağlanır. Bu diyotların birisinin yönü topraktan çıkışa doğru, diğeri de çıkıştan VS'ye doğru olmalıdır.

OUT3, OUT4 (13,14): B köprüsü için çıkış bacaklarıdır. A köprüsüyle aynı şekilde çalışır.

ENA, ENB (6,11): A ve B köprülerini etkinleştirmek için bu bacaklara +5V bağlanır.

SENSA, SENSB (1,15): A ve B köprülerinin çalışması için bu bacaklar toprağa çekilmelidir. Bu bacaklarla toprak arasına bağlayacağımız direnç sayesinde çıkış akımını kontrol edebiliriz, fakat direnç bağlamadan da çalışır.

VS (4): Çıkışlardan kaç volt almak istiyorsak bu bacağı o voltaja bağlıyoruz. En fazla 46V verebiliriz, biz genelde 12V kullanıyoruz. Ayrıca dc üzerindeki küçük salınımları yok etmek için bu bacakla toprak arasına 100nF'lık kondansatör bağlanabilir.

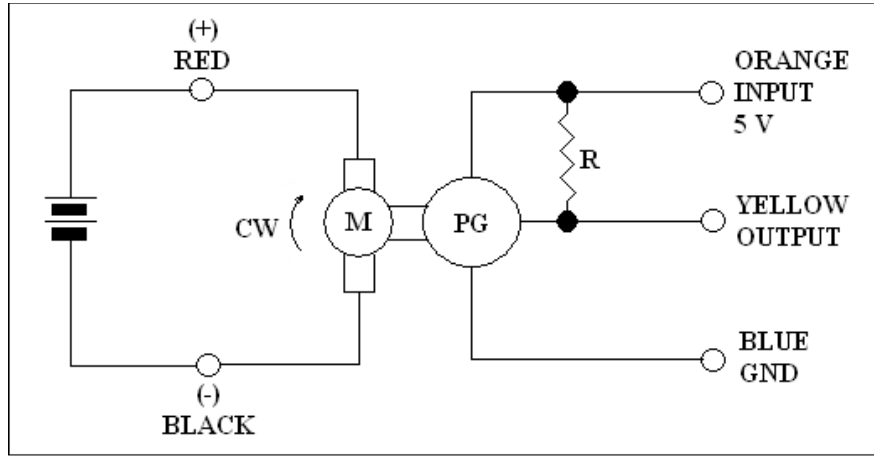
VCC (9): Bu bacak, L298'in çalışması için +5V'a bağlanır. Yine küçük salınımları yok etmek için VCC ile toprak arasına 100nF'lık kondansatör bağlanabilir.

GND (8): Bu bacak, L298'in çalışması için toprağa bağlanır.

### 3.2.3. DC Motor Kontrolü

Gidilen yol bilgisi, enkoder ile alınabileceği ve robotun ağırlığını kaldırması açısından JAPAN firmasının DME34BE50G model enkoder ve redüktörlü dc motoru çalışmamızda kullanılmıştır. Alınan motorlar 12V'luktur ve 0.6A akım çekmektedirler.

Şekil 3.6.'da enkoder bağlantısı gösterilmiştir. Çıkış ile giriş arasında 10 K $\Omega$ 'luk bir direnç bağlanmıştır. Sarı renkli çıkış ucundan 0-5V kare dalgalar alınmaktadır. Yapılan deneyler sonucunda 1 devirde 1200 darbe çıktığı gözlenmiştir.



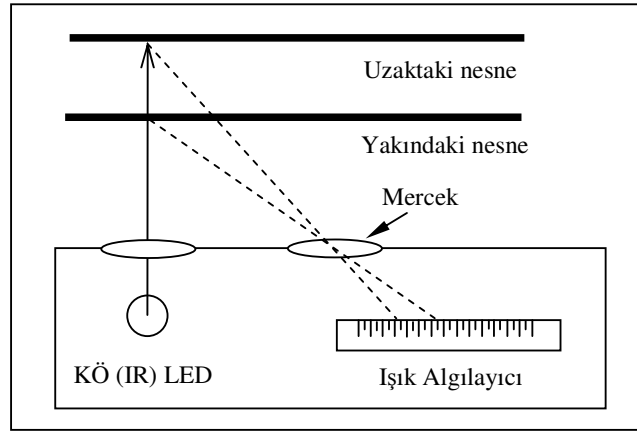
Şekil 3.6. Enkoder bağlantı şekli.

Kullanılan motor redüktörlü dc motordur. Redüktör yapısı iç içe geçmiş dişlilerden oluşmaktadır. Kullanım amacı ise motorun hızını azaltıp, çıkış momentini arttırmaktır. Hızın düşük olması motorun kontrolünü de kolaylaştırmaktadır. Düşük hız, gerilim kesildikten sonra motorun durması için geçen süreyi azaltmaktadır.

### 3.2.4. Uzaklık Sensörü

SHARP GP2D12 uzaklık sensörü, çalışmada engelleri algılamak için kullanılmıştır. Sensörün üzerinde kızılötesi ışık yollayan ve alan iki yapı bulunmaktadır. Yansıyan ışığın geliş açısına göre, basit trigonometrik hesaplarla uzaklık tayin edilmektedir.

Sharp GP2D12 mesafe algılayıcı birimi, robotik uygulamalarda ve projelerde en çok tercih edilen mesafe algılayıcı birimidir. Algılayıcı sürekli olarak mesafe okuması alır ve aldığı mesafe okumasını analog voltaj değeri olarak iletir. Ölçüm aralığı 10-80 cm olan algılayıcı, 5V besleme voltajı ve 33-50 mA çalışma akım seviyesine sahiptir. GP2D serisi algılayıcıların temel çalışma mantığı, farklı mesafelerden yansıyan kızılötesi ışık, algılayıcıda mercek üzerinden kırılarak ışık algılayıcı yüzeyde farklı noktalara düşmektedir. Burada ışığın düştüğü noktanın mesafe bilgisi, hedef yüzeyin mesafe bilgisiyle orantılı bir elektriksel işarete dönüştürülür (Şekil 3.7).



Şekil 3.7. Sharp GP2D serisi algılayıcıların genel çalışma mantığı.

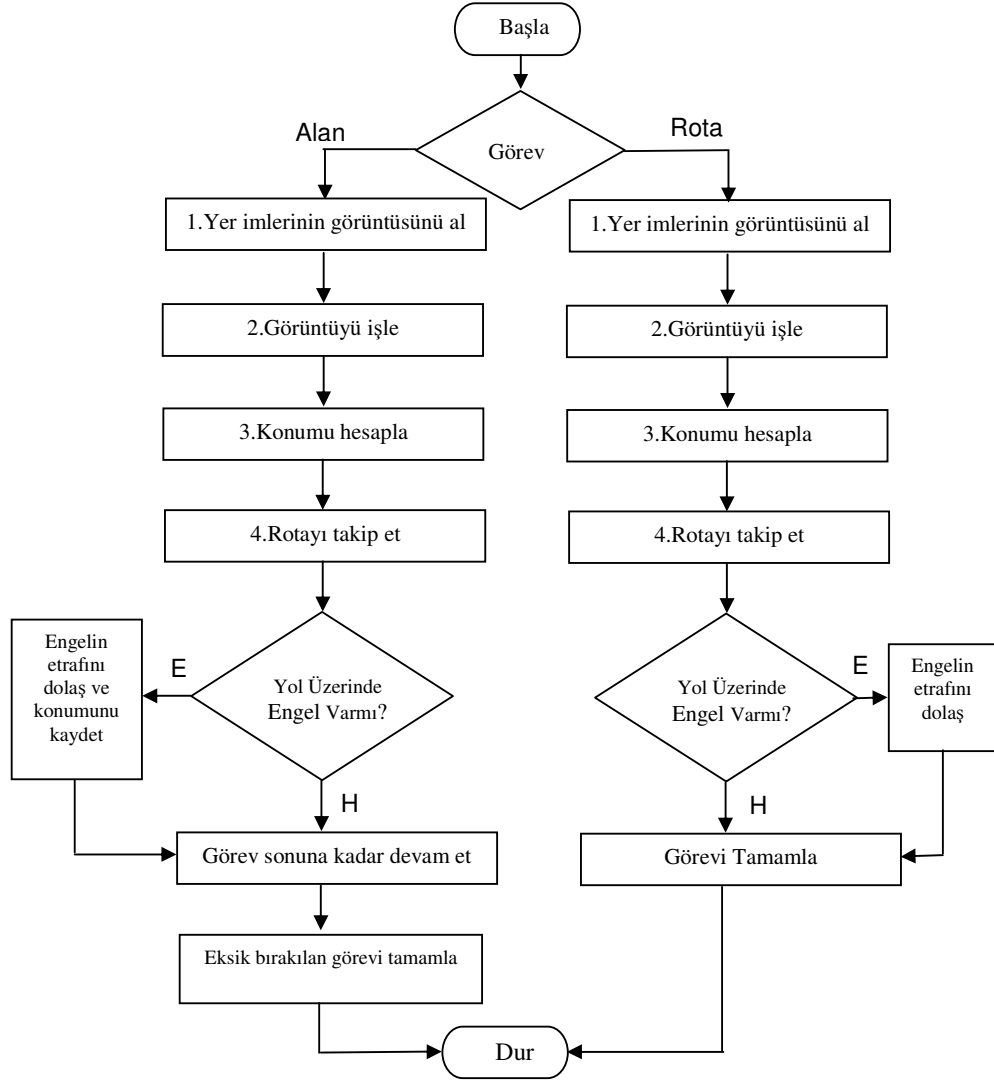
### 3.3. ROBOTUN YAZILIM TASARIMI

Robotun yazılım algoritması, Şekil 3.8'de görüldüğü gibi 4 ana kısımdan oluşmaktadır. Bunlar;

- Yer imlerinin görüntüsünü al.
- Görüntüyü işle.
- Konumu hesapla.
- Rotayı takip et.

Bu işlemlere başlamadan önce yazılımın kullanılabilmesi için ek algoritmalar da eklenmiştir. Bunlar;

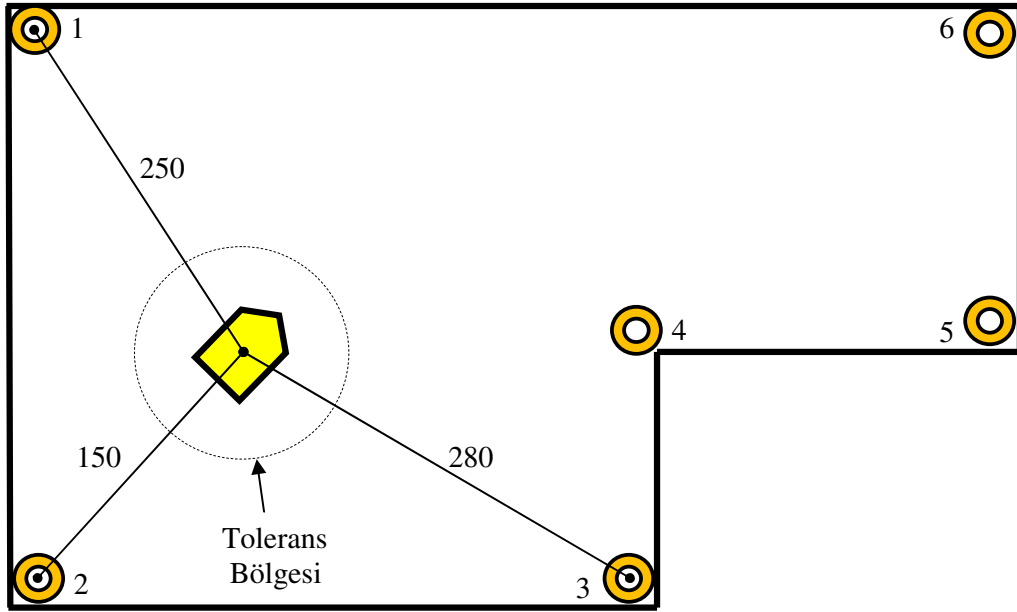
- a) Taranacak alanın çizilmesi, yer imlerinin ve adreslerin konulması işlemi.
- b) Taranacak alanın rota yollarının “Cep İşleme Algoritması” ile çıkarılması.
- c) Rota takibi için gidilecek yolların ve adreslerin kullanıcı tarafından çizilerek belirlenmesi.
- d) Görev başladıktan sonra gidilen yolların ve adreslerin kayıtlarının tutulması ve kullanıcıya eş zamanlı gösterilmesi.



Şekil 3.8. Yazılım algoritmasının genel yapısı.

### 3.3.1. Yer İmlerinin Görüntü İşleme İle Algılanması

Robotun konumunu hesaplayabilmesi için, çalıştığı alanın değişik noktalarına yapay yer imleri konulmuştur. Ortama yerleştirilen bu yer imlerinin kamera ile algılanması gerekmektedir. Algılanan yer iminin hangi yer imi olduğu ve üzerindeki işaretlerin eksiksiz tam olarak tespit edilmesi gerekir. Böylelikle robot, gezindiği alanda konum kontrolünü doğru bir şekilde belli bir toleransla hesaplayabilecektir (Şekil 3.9).



Şekil 3.9. Robot konumunun belli bir toleransla yer imi kullanarak hesaplanması.

Yer imleri üzerinde şekilsel işaretler kullanılmıştır. Bu işaretler yer iminin numarasını vermektedir. Projeksiyon hesaplamalarında yer iminin yükseklik değeri kullanıldığı için yer iminin yüksekliğinin genişliğine oranı daha fazla tutulmuştur. Yer iminin ortamdan kolay bir şekilde algılanabilmesi için ışığı geri yansıtan turuncu renkli boya kullanılmıştır.

Kameradan alınan yer imi görüntüleri geliştirilen yazılım ile işlenerek, yer iminin numarası, mesafesi hesaplanmaktadır. Kameradan alınan görüntülerin çözünürlüğü ne kadar yüksek olursa resmi işleme hassasiyeti o kadar artar. Fakat bu işlem hem resmin kameradan okunma zamanını hem de bilgisayarda işleme zamanını artırır. Bunun için alınan görüntülerin boyutlarının ne olacağı deneysel çalışmalarla ortaya



çıkıştır. Kameradan 10 metre uzaklıktaki yer iminin görüntüsünü doğru bir şekilde işleyip 10 cm'lik bir hata payı ile hesaplama yapılmasını sağlayacak çözünürlükteki resim yeterli kabul edilmiştir. Buna göre kameradan alınan görüntünün boyutları 400x300 piksel olarak işlenmiştir.

Yer imleri normalde duvar üzerine yapıştırılmış bir levha şeklinde ya da üçgen prizma şeklinde yapılabilir. Bunun dışında bir taban üzerine bağlanmış silindir de kullanılabilir. Böylece silindirin etrafına sarılmış çizgiler her yönden görülebilecektir. Deneysel çalışmalarda bu tip yer imleri kullanılmıştır (Şekil 3.10). Bu yer imlerinin bir diğer avantajı da açık arazi ve büyük kapalı mekanlarda da kullanılabilir olmasıdır.



Şekil 3.10. Kullanılabilecek yer imi tipleri.

Ortamda kullanılan yer imlerinin boyu 65 cm olacak şekilde ayarlanmıştır. Yer imi üzerinde 13 adet turuncu ve siyah 5 cm'lik bölgeler olup, üst ve alt sınırdaki kısımlar 2 birimlik eşit boyutta turuncu bölgeden, ara kısımlar ise 4 adet 1 birimlik turuncu ve siyah bölgelerden oluşur. Aradaki bu 4 adet turuncu bölge, yer iminin numarasını meydana getirir. Bu numaralandırma 4 bitlik ikili sayı sistemine göre yapılmıştır. Bu sayı sisteminde 0 ve 15 rakamları kullanılmamıştır. Böylece 1'den 14 kadar olan sayılar kullanıldığı için, ortamda en fazla 14 adet yer imi bulundurulmuştur. İkili sayı sistemine göre kodlama, Şekil 3.11'de gösterildiği gibi yapılmıştır.

iptal	0	0	0	0	<b>0</b>
	0	0	0	1	<b>1</b>
	0	0	1	0	<b>2</b>
	0	0	1	1	<b>3</b>
	0	1	0	0	<b>4</b>
	0	1	0	1	<b>5</b>
	0	1	1	0	<b>6</b>
	0	1	1	1	<b>7</b>
	1	0	0	0	<b>8</b>
	1	0	0	1	<b>9</b>
	1	0	1	0	<b>10</b>
	1	0	1	1	<b>11</b>
	1	1	0	0	<b>12</b>
	1	1	0	1	<b>13</b>
iptal	1	1	1	1	<b>15</b>

Şekil 3.11. Yer imlerinin şeklini oluşturmada kullanılan 4 bitlik ikili sayı sistemi.

Yer imi üzerindeki turuncu ve siyah bölgeler bir sayı dizisi ile ifade edilmiştir. Turuncu bölgeler “1” rakamı, siyah bölgeler ise “0” rakamı ile temsil edilmiştir. Bu rakamların oluşturduğu string ifade yer iminin numarasını tespit etmekte kullanılmıştır (Şekil 3.12).

Yer imi bölgeleri	Yer imi string dizileri
	YerImiDizi[1] = “1101000000011”
	YerImiDizi[2] = “1100010000011”
	YerImiDizi[3] = “1101010000011”
	YerImiDizi[4] = “1100000100011”
	YerImiDizi[5] = “1101000000011”
	YerImiDizi[6] = “1100010100011”
	YerImiDizi[7] = “1101010100011”
	YerImiDizi[8] = “1100000001011”
	YerImiDizi[9] = “1101000001011”
	YerImiDizi[10]= “1100010001011”
	YerImiDizi[11]= “1101010001011”
	YerImiDizi[12]= “1100000101011”
	YerImiDizi[13]= “1101000101011”
	YerImiDizi[14]= “1100010101011”

Şekil 3.12. Yer iminin boyutu ve grafiksel dizinin string gösterimi.

Yer imleri üzerindeki turuncu renkler çıkarılırken kural tabanlı algoritma kullanılmıştır. Robotun çalışacağı ortamdaki ışık ve tonlamalara bakarak kullanılan turuncu rengin renk kod aralıkları belirlenmiş ve buna göre renkler çıkarılmıştır. Çıkarılan renkler daha sonra sabit bir turuncu renk ile gösterilmiştir (Şekil 3.13).

Resim üzerindeki turuncu renkleri çıkarırken, renkler RGB (Red, Green, Blue) kodlarına ayrıştırılmış ve bu kodlar üzerinde şu kurallar uygulanmıştır;

- a) Kırmızı Renk 60-255 arasında olmalıdır.
- b) Yeşil Renk 0-155 arasında olmalıdır.
- c) Mavi renk 0-100 arasında olmalıdır.
- d) Kırmızı daima mavinin 1.5 katından fazla olmalıdır.

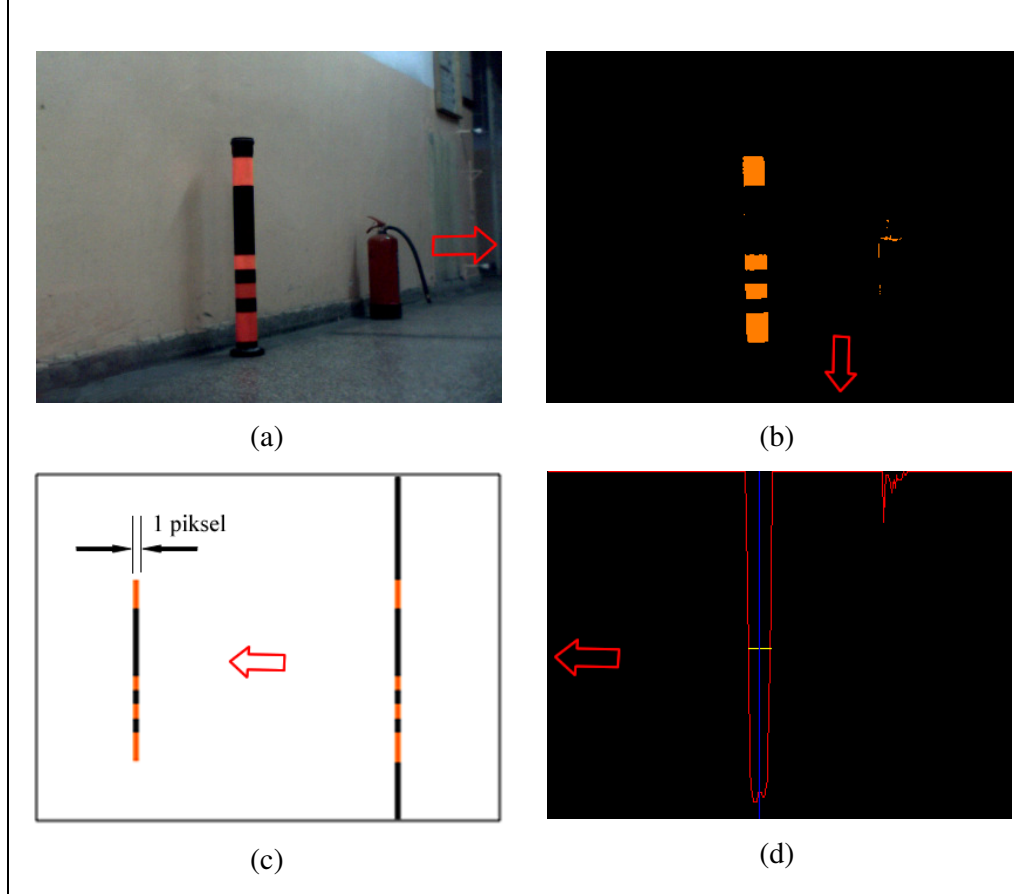
Eğer bu kurallar geçerli ise okunan piksel renk (RGB=255,125,0) kodlu turuncu ile boyanmaktadır. Geri kalan noktalar siyah renge (RGB=0,0,0) boyanmaktadır (Şekil 3.13.b).

Daha sonra resmin yatay ekseninde (x ekseni) gidilerek dikey eksenindeki (y ekseni) tüm turuncu renklerin toplamları histogram haline getirilerek turuncu renklerin yoğunlaştığı x eksenindeki grafik çizilmektedir (Şekil 3.13.d). Eğer bu grafikte y değerleri ekseninin yarısından daha fazla bir değere sahipse burada yer iminin olabileceği kabulü yapılmıştır. Buna göre grafiğin çıkış ve iniş değerleri incelenerek yer iminin bulunabileceği x aralığı tespit edilmiştir. Daha sonra bu x aralığının orta noktasından bir dikme çıkılarak bu dikmenin olduğu yerde yer iminin bulunacağı varsayılmıştır. Resmin bu kısmı bir piksel genişlikte ve tam resim yüksekliğinde olacak şekilde okunarak bir şerit çıkarılmıştır (Şekil 3.13.c). Bu şerit içerisinde yer imi bulunacağı ihtimaliyle tekrar bir başka kontrole geçilmiştir.

Çıkarılan şerit üzerindeki turuncu bölgelerin kontrolü için şu kurallar işletilmiştir;

- a) Uç kısımlarda 2 birim uzunlukta mutlaka turuncu bölge bulunmalıdır.
- b) İç kısımlardaki turuncu bölgeler 1 birim uzunlukta olmalıdır.
- c) İç kısımda en az bir 1 birimlik turuncu bölge olmalıdır.

- d) Geçerli bir yer imi varsa oluşan şeklin temsil ettiği sayı, bu şekillere karşılık gelen dizilerin içinde olmalıdır. Dizide karşılığı varsa yer imi bulunmuş demektir.



Şekil 3.13. Kameradan alınan görüntüden yer imi tespiti: a) Kameranın çektiği resim. b) Tespit edilen yer iminden turuncu renklerin çıkarılması. c) Yer iminin 1 piksellik şerit görüntüsü. d) Yer iminin histogramının alınması.

### 3.3.2. Robotun Konumunun Hesaplanması

İki boyutlu uzayda bir cismin konumunu belirlemek için, en az üç noktadan görüntü almak gerekir. Eğer kameranın yer imlerine olan bakış açısı biliniyorsa, iki noktadan görüntü almak da yeterli olacaktır. Eğer robotun belli bir zaman öncesine ait konumu, hareket vektörü ve kameranın yer imlerine olan bakış açısı biliniyorsa, tek bir yer iminden alınan görüntü de konum hesaplama için yeterli olacaktır. Bu konular aşağıdaki başlıklarda detaylandırılmıştır.

### 3.3.2.1. Üç Adet Yer İmi Kullanılarak Konumun Hesaplanması

Aşağıdaki formüller kullanılarak kamera ile yer imi arasındaki mesafe hesaplanabilir (Şekil 3.14).

$$\frac{P_1}{k} = \frac{P_2}{m} \quad (3.1)$$

$$P_1 m = P_2 k \quad (3.2)$$

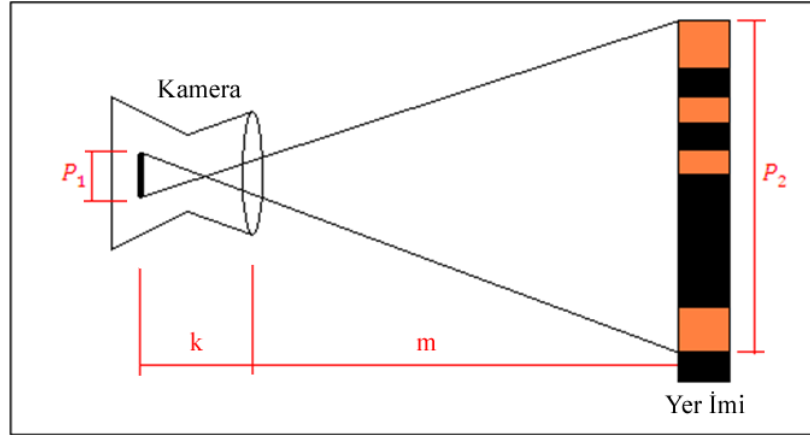
$$m = \frac{k P_2}{P_1} \quad (3.3)$$

$P_1$  = Yer iminin kamera içindeki görüntüsünün boyu.

$P_2$  = Yer iminin gerçek boyu.

$k$  = Kameranın deneysel olarak bulunmuş projeksiyon sabiti. Aynı zamanda kamera içindeki görüntünün objektife uzaklığını temsil eder.

$m$  = Kamera ile yer imi arasındaki hesaplanacak mesafe.

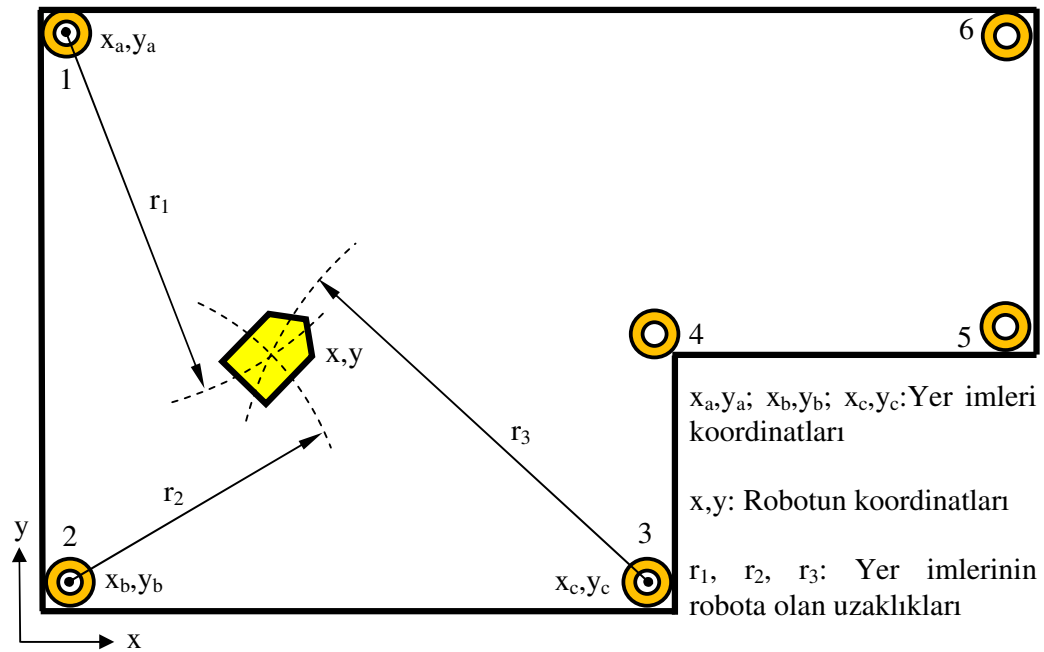


Şekil 3.14. Projeksiyon oran sabiti kullanılarak mesafenin ölçülmesi.

Yer iminden alınmış olan kamera içindeki görüntünün, objektife uzaklığı olan projeksiyon oran sabiti “ $k$ ” (birimsiz değer), deneysel çalışmalar sonucunda bulunmuştur. Örneğin 300 cm uzaklıkta bulunan bir yer iminin boyu kamerada 130 piksel görüntü versin. Yer iminin gerçek boyu 65 cm olduğuna göre kullanılacak  $k$  projeksiyon oran sabiti değeri şu şekilde hesaplanır.

$$\left. \begin{array}{l} P_1 = 130 \text{ piksel} \\ P_2 = 65 \text{ cm} \\ m = 300 \text{ cm} \end{array} \right\} k = \frac{mP_1}{P_2} \Rightarrow k = \frac{300 \cdot 130}{65} = 600 \text{ sabit değeri bulunur.}$$

Üç adet yer iminden alınan görüntü işlenerek, robotun her bir yere olan mesafesi, Eşitlik 3.3 kullanılarak hesaplanır. Hesaplanan üç adet mesafe ile robotun alan üzerindeki konumu aşağıdaki eşitlikler kullanılarak bulunur (Şekil 3.15).



Şekil 3.15. Robotun konumunun hesaplanması.

Robotun görüntü almış olduğu üç adet yer imi etrafında oluşan dairelerin denklemleri yazılırsa şu eşitlikler ortaya çıkar;

$$(x - x_a)^2 + (y - y_a)^2 = r_1^2 \quad (3.4)$$

$$(x - x_b)^2 + (y - y_b)^2 = r_2^2 \quad (3.5)$$

$$(x - x_c)^2 + (y - y_c)^2 = r_3^2 \quad (3.6)$$

Bu eşitliklerin açılımıyla aşağıdaki eşitlikler elde edilir;

$$x^2 - 2x_a x + x_a^2 + y^2 - 2y_a y + y_a^2 = r_1^2 \quad (3.7)$$

$$x^2 - 2x_b x + x_b^2 + y^2 - 2y_b y + y_b^2 = r_2^2 \quad (3.8)$$

$$x^2 - 2x_c x + x_c^2 + y^2 - 2y_c y + y_c^2 = r_3^2 \quad (3.9)$$

Eşitlik 3.7 ile Eşitlik 3.8 kullanılarak Eşitlik 3.10; Eşitlik 3.8 ile Eşitlik 3.9 kullanılarak da Eşitlik 3.11 elde edilir.

$$2x(x_a - x_b) - x_a^2 + x_b^2 + 2y(y_a - y_b) - y_a^2 + y_b^2 + r_1^2 - r_2^2 = 0 \quad (3.10)$$

$$2x(x_b - x_c) - x_b^2 + x_c^2 + 2y(y_b - y_c) - y_b^2 + y_c^2 + r_2^2 - r_3^2 = 0 \quad (3.11)$$

x ve y değerleri bu denklemlerden aşağıdaki formüllerle çekilirse, robotun konumu bulunmuş olur.

$$A = -x_a^2 + x_b^2 - y_a^2 + y_b^2 + r_1^2 - r_2^2 \quad (3.12)$$

$$B = x_a - x_b \quad (3.13)$$

$$C = y_a - y_b \quad (3.14)$$

$$D = -x_b^2 + x_c^2 - y_b^2 + y_c^2 + r_2^2 - r_3^2 \quad (3.15)$$

$$E = x_b - x_c \quad (3.16)$$

$$F = y_b - y_c \quad (3.17)$$

$$y = \frac{(A * E - D * B)}{2 * (F * B - C * E)} \quad (3.18)$$

Eğer B = 0 ise x için şu formül kullanılır;

$$x = \frac{(-2y * F - D)}{2E} \quad (3.19)$$

Şayet E = 0 ise x için şu formül kullanılır;

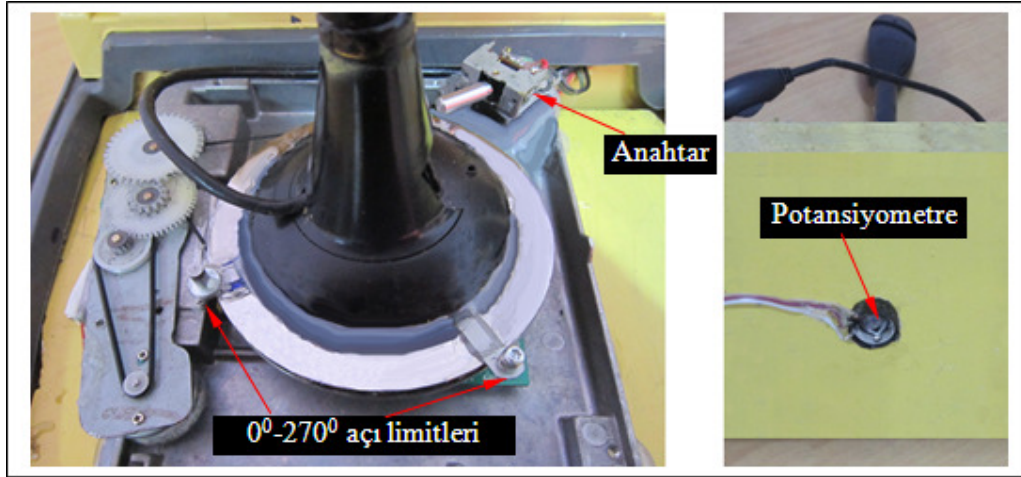
$$x = \frac{(-2y \cdot C - A)}{2B}$$

(3.20)

### 3.3.2.2. İki Adet Yer İmi Kullanılarak Konumun Hesaplanması

Yapılan çalışmalar doğrultusunda yer iminin görüntüsü alınırken aynı zamanda kameranın bakış açısı da bulunabilirse, iki noktadan (iki adet yer iminden) alınan görüntünün konum hesaplama için yeterli olacağı görülmüştür.

Bu amaçla kameranın altına dönüş açılarını hesaplamak için potansiyometre bağlanmıştır. Kamera döndükçe potansiyometrenin direnç değerindeki değişimin sebep olduğu voltaj değişimi işlemci tarafından okunmaktadır. Elde edilen voltaj değişimi kameranın dönüş açısı ile doğrusal bir grafik çizdiğinden, buna bağlı olarak açı değerleri hesaplanabilmektedir. Potansiyometrenin maksimum dönüş açısı  $270^0$  olduğundan kamera da  $270^0$  açı ile dönecek şekilde ayarlanmıştır. Kameranın dönüşü, hızı düşürülmüş dc bir motor tarafından sağlanmaktadır. Sağa ve sola dönüş işlemleri otomatik olarak yaptırılmış ve anahtarlama ile motorun kutupları değiştirilerek yön değişimleri sağlanmıştır (Şekil 3.16).

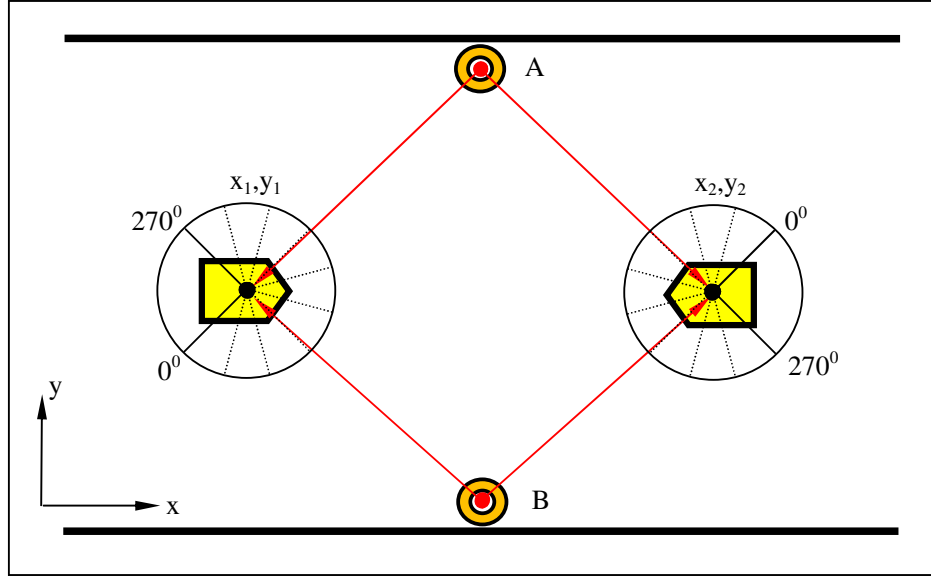


Şekil 3.16. Kamera açısının tespiti için kullanılan potansiyometre bağlantıları.

Şekil 3.17’de olduğu gibi A ve B noktalarındaki yer imlerinden konum hesaplamaya çalışan robot için, düzlemde  $(x_1, y_1)$  ve  $(x_2, y_2)$  olmak üzere iki adet çözüm kümesi vardır. Eğer robot  $(x_1, y_1)$  noktasında ise bu durumda A noktasındaki yer imini



görüntülerken potansiyometreden  $180^0$ , B noktasındaki yer imi için ise  $90^0$  okumuş olması gerekir. Robot şayet  $(x_2,y_2)$  noktasında olsaydı bu değerler A noktası için  $90^0$ , B noktası için  $180^0$  olacaktır. Böylece alınan görüntünün potansiyometre ile hangi açıda çekildiği bilgisi uzayda konum hesaplama için iki adet noktanın (yer iminin) yeterli olduğunu göstermiş olmaktadır.



Şekil 3.17. İki adet yer imi ve kamera açısı kullanılarak yön tayini.

Robotun bulunabileceği  $(x_1,y_1)$  ve  $(x_2,y_2)$  noktaları, A ve B noktalarına yerleştirilmiş iki dairenin kesişim kümesi hesaplanarak bulunmuştur (Şekil 3.18).

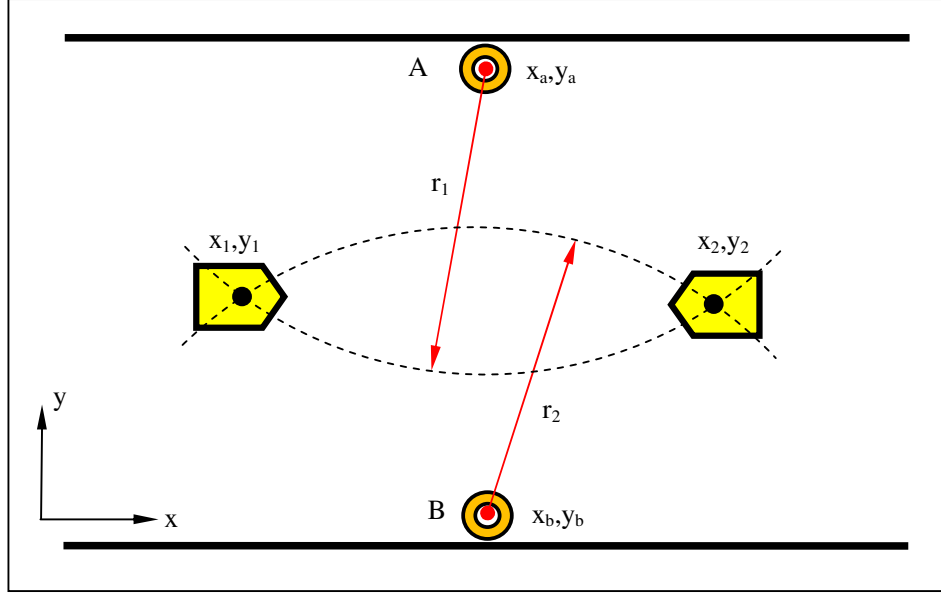
$$(x_1 - x_a)^2 + (y_1 - y_a)^2 = r_1^2 \quad (3.21)$$

$$(x_1 - x_b)^2 + (y_1 - y_b)^2 = r_2^2 \quad (3.22)$$

$$(x_2 - x_a)^2 + (y_2 - y_a)^2 = r_1^2 \quad (3.23)$$

$$(x_2 - x_b)^2 + (y_2 - y_b)^2 = r_2^2 \quad (3.24)$$

$$d = \sqrt{(x_b - x_a)^2 + (y_b - y_a)^2} \quad (3.25)$$



Şekil 3.18. İki dairenin kesişim noktalarının koordinatlarının hesaplanması.

Dairenin denklemini aşağıdaki gibidir;

Denklemlerin çözümünden kesişim noktaları ise aşağıdaki gibi bulunur;

$$A = \frac{(x_a + x_b)}{2} + \frac{(x_b - x_a)(r_1^2 - r_2^2)}{2d^2} \quad (3.26)$$

$$B = \frac{(y_b - y_a)}{2d^2} \sqrt{((r_1 + r_2)^2 - d^2) (d^2 - (r_2 - r_1)^2)} \quad (3.27)$$

$$\boxed{x_1 = A + B} \quad (3.28)$$

$$\boxed{x_2 = A - B} \quad (3.29)$$

$$C = \frac{(y_a + y_b)}{2} + \frac{(y_b - y_a)(r_1^2 - r_2^2)}{2d^2} \quad (3.30)$$

$$D = \frac{(x_b - x_a)}{2d^2} \sqrt{((r_1 + r_2)^2 - d^2) (d^2 - (r_2 - r_1)^2)} \quad (3.31)$$

$$y_1 = C - D \quad (3.32)$$

$$y_2 = C + D \quad (3.33)$$

Eşitlik 3.28 ve Eşitlik 3.32 kullanılarak  $(x_1, y_1)$  noktaları, Eşitlik 3.29 ve Eşitlik 3.33 kullanılarak da  $(x_2, y_2)$  noktaları bulunmuş olur. Bu noktalardan hangisinin robotun bulunduğu gerçek konum olduğu potansiyometreden açı kontrolü ile belirlenir.

### 3.3.2.3. Bir Adet Yer İmi Kullanılarak Konumun Hesaplanması

Robot bulunduğu konumda harekete başlamadan önce, ilk koordinatının ve duruş açısının (yön vektörü) hesaplanması gerekir. Bu işlem için yukarıda anlatılan üç nokta ya da iki nokta ile konum hesaplama formülleri kullanılabilir. Her iki işlem sonunda robotun başlangıç koordinat ve yön vektörü hesaplanmış olacaktır.

Daha sonra robot harekete başladığında etraftaki yer imlerinden alınan tek seferlik görüntüler robotun yeni konumlarının hesaplanması için yeterli olacaktır. Bu işlemin nasıl yapıldığı aşağıdaki iki başlık altında açıklanmıştır. Her hesaplamada tek yer iminin kullanılması daha kısa adımlarla konum hesaplamasını sağlamaktadır.

### Doğrusal Hareket Durumunda Bir Adet Yer İmi Kullanılarak Konumun Hesaplanması

Şekil 3.19'daki gibi robot,  $(x_1, y_1)$  noktasında duruyorken konumunu A ve B noktalarındaki yer imlerinden görüntü alarak hesaplayabilir. Bu durumda  $v_1$  vektörünün açısı potansiyometre kullanılarak, şiddeti de geçen zaman ve robotun ilerleme hızı kullanılarak hesaplanabilir. Robot  $(x_2, y_2)$  noktasına geldiğinde A noktasındaki yer iminden tekrar bir görüntü alsın. Bu esnada okunan mesafe ile bir önceki hesaplamada bulunan  $v_1$  vektörünün kesişim noktası bize  $(x_2, y_2)$  noktasını



$$(x_2 - x_a)^2 + (y_2 - y_a)^2 = r_3^2 \quad (3.34)$$

$(x_1, y_1)$  noktasından  $(x_2, y_2)$  noktasına robot giderken oluşan vektörün denklemi de şu şekilde bulunur;

$$\text{Eğim} = m = \text{Tg}\alpha = \frac{(y_2 - y_1)}{(x_2 - x_1)} \quad (3.35)$$

Eğer bu denklemde doğrultu vektörünün x ile yaptığı  $\alpha$  açısı bulunursa, robotun hızından ve geçen süreden doğrultu vektörünün boyu bulunabilir. Bu  $\alpha$  açısının bulunmasını,  $v_1$  vektörünün duruşunu biraz değiştirerek Şekil 3.20 üzerinde anlatalım;

$\alpha$  = x eksenine ile doğrultu vektörü arasındaki açı.

$\beta$  = Yer iminin potansiyometreden okunan açısı.

$\gamma$  = x eksenine ile yer imi doğrultusu arasındaki açı.

$\theta$  = Robotun doğrultu vektörü ile yer imi doğrultusu arasındaki açı.

$\varepsilon$  = Yer imi doğrultusu ile potansiyometrenin son açısı arasında kalan açıdır.

$$\varepsilon = 270 - \beta \quad (3.36)$$

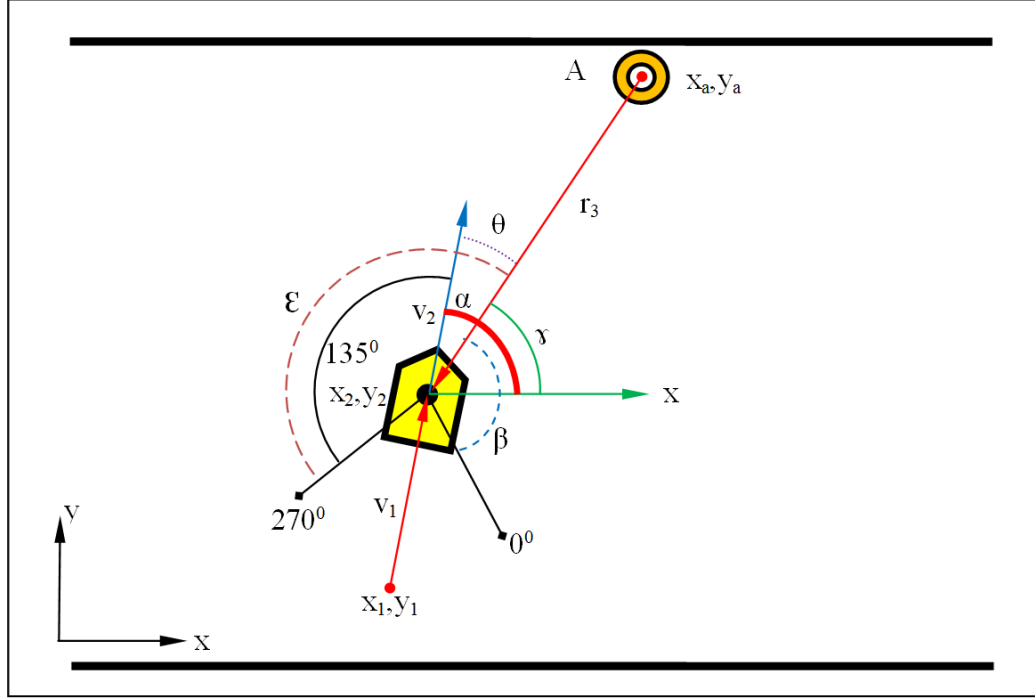
$$\theta = \varepsilon - 135 \quad (3.37)$$

$$\gamma = \text{Arctan} \frac{(y_a - y_2)}{(x_a - x_2)} \quad (3.38)$$

$$\alpha = \theta + \gamma \quad (3.39)$$

$\alpha$  açısı bulunduktan sonra doğrultu vektörünün boyunu da hesaplırsak, vektörün denklemini bulmuş oluruz. Doğrultu vektörünün boyu ( $v_1$ ) robotun ilerleme hızı ( $v_r$ ) ile geçen süreden ( $t$ ) hesaplanabilir.

$$v_1 = v_r * t \quad (3.40)$$



Şekil 3.20. Robotun doğrultu vektörününün bulunması.

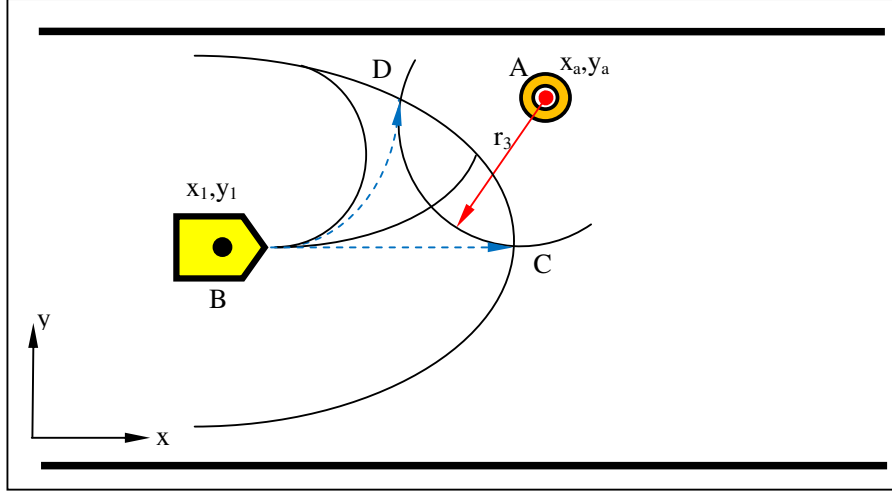
Eşitlik 3.34 ve Eşitlik 3.35 kullanılarak  $v_1$  doğrultu vektörü ile  $r_3$  yer imi uzaklığının oluşturduğu dairenin çözüm kümesi hesaplanabilir.

$$(x_2 - x_a)^2 + (y_2 - y_a)^2 = r_3^2 \quad (3.34) \text{ eşitliği ile } \text{Tg} \alpha = \frac{(y_2 - y_1)}{(x_2 - x_1)} \quad (3.35) \text{ eşitliği kullanılarak}$$

$(x_2, y_2)$  koordinatları bulunmuş olur.

### **Dönme Hareketi Durumunda Bir Adet Yer İmi Kullanılarak Konumun Hesaplanması**

Eğer robot ilk harekete başladıktan sonra ya da herhangi bir konum hesabından sonra, doğrusal gitmeyip sağa ya da sola dönerse hesaplamaların yapılabilmesi için tekerlerin dönme merkezi etrafındaki yörüngelerinin hesaplanıp, gidilen süre içerisinde bulunacağı konumların tespit edilmesi gerekir. Buna göre ön tekerlerin sağa ya da sola kırılma açıları bilinmelidir. Bunu yapabilmek için ise robotun ön tekerlerinin hangi açılarda döndürüldüğü bilgisi alınmalıdır. Bu tez çalışmasında bu konuya girilmemiştir. Konunun anlatımı aşağıdaki şekildedir (Şekil 3.21).



Şekil 3.21. Robotun dönmesi durumunda bir yer imi kullanarak konumun hesaplanması.

Burada B noktasından harekete başlayan robot eğer düz giderse C noktasına, sola dönme hareketi yaparsa D noktasına varacaktır. Eğer tekerlerin açısı daha farklı açılarda olursa elips üzerinde oluşan herhangi farklı bir noktaya varacaktır. Buna göre robotun tüm açılar için geçen süreye bağlı olarak bulunabileceği çözüm kümeleri bir fonksiyon haline getirilirse, bu bize bir elips görünümlü yörünge verecektir. Robot sonuçta bu yörünge üzerindeki bir noktada bulunacaktır. Bu yörünge fonksiyonu ile  $r_3$  yarıçaplı dairenin denklemi ortak olarak çözülürse, C ve D gibi iki noktayı bize çözüm olarak verecektir. Eğer direksiyonun kırılma açısı biliniyorsa direk olarak bu çözümlerden D'nin doğru çözüm olacağını söyleyebiliriz. Şayet robotun dönme açısı bilinmez ise aynı kontrolü bu sefer kamera açısı ile de yapmak mümkündür. Çünkü C noktasında iken okunan kamera açısı ile D noktasında okunan kamera açısı farklıdır. Bu gibi dönme hareketleri için robotun bulunabileceği yörünge fonksiyonu çıkarılmış olursa, kamera açısı ile doğru konum hesaplaması yapılabilmiş olacaktır.

### 3.3.3. Robotun Seyrüsefer Planlamasının Yapılması

Tasarlanan robotun seyrüsefer işlemi iki şekilde planlanmıştır. Birincisi; robotun belirlenen alan içerisinde tüm alanı tarayacak şekilde gezmesi (temizlik, ilaçlama,

boyama gibi işlemler için), ikincisi; bir noktadan başka bir noktaya rota takibinin yapılması (belirlenen noktalara malzeme taşıma, servis yapma için) şeklindedir.

### **3.3.3.1. Robotun Alan Tarama İçin Seyrüsefer Planlamasının Yapılması**

Alan tarama işlemini gerçekleştirmek için, imalat işlemlerinde kullanılan cep işleme algoritmaları kullanılmıştır. Bu algoritmalar kapalı çerçevenin içerisini en optimum şekilde taramak için kullanılmaktadır.

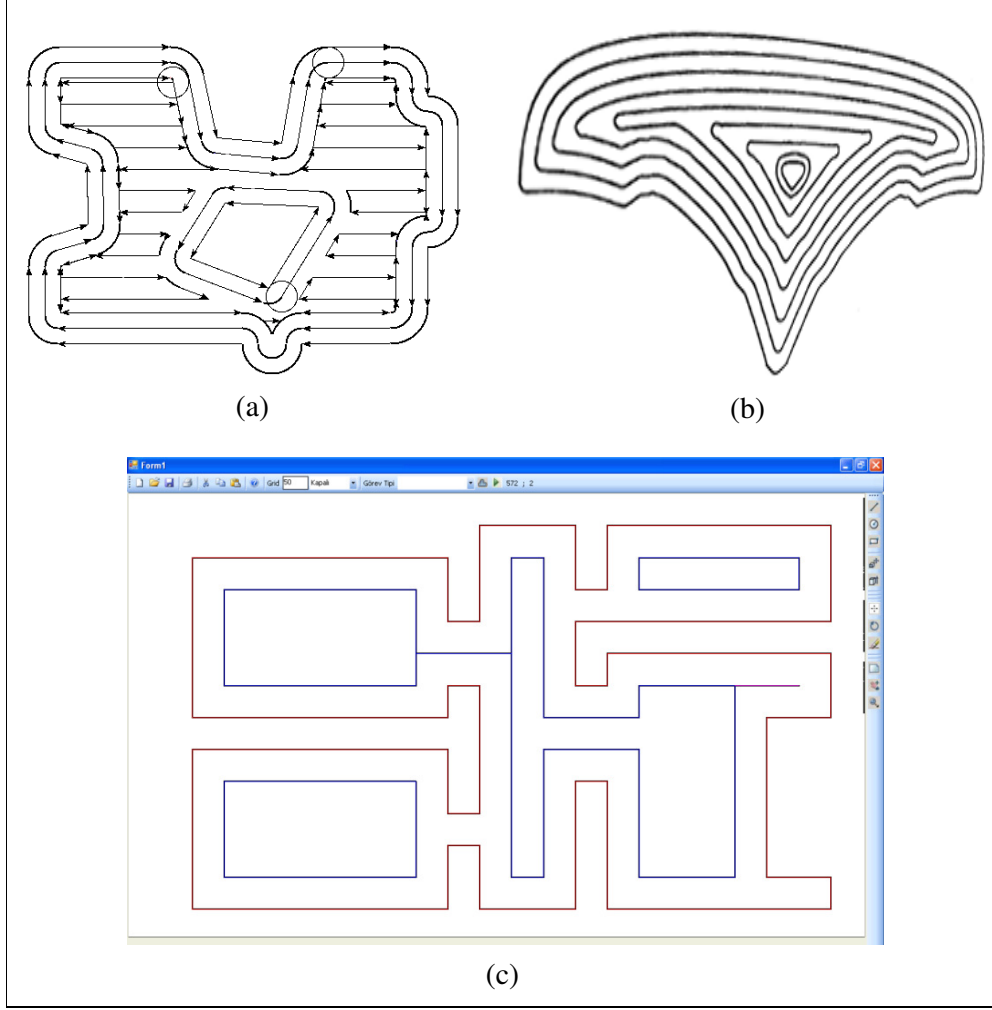
Bu tez çalışmasında alan tarama için [30-32] numaralı referanslarda anlatılan analitik kurallar, robot için uyarlanarak uygulanmıştır. Robotun takip edeceği rotaları tespit ederken, duvarlar en dışından içeri doğru belli bir mesafe ofset atılarak, iç içe rota yollar oluşturulmaktadır. Daha sonra bu yollar bir birine bağlanmakta, başlangıç ve bitiş noktaları tespit edilmektedir. Taranan alan da bir çok bölgeden oluşup dar geçitlerden oluşuyor ise (bir katta birbirine kapılarla bağlanan odalar gibi), her alan kendi içinde taranmaktadır (Şekil 3.22).

### **3.3.3.2. Robotun Rota Takibi İçin Seyrüsefer Planlamasının Yapılması**

Robotun görev alanı içerisinde bir çok noktaya uğraması ve buralara giderken en kestirme yolları takip etmesi isteniyorsa, bu tip bir görevin gidilecek yolları kullanıcı tarafından belirlenmektedir. Daha gelişmiş algoritmalar gelecek çalışmalar için yazılacak olursa, gidilecek yolların tespiti program tarafından yapılabilir ve en kısa yol genetik algoritma yöntemleriyle belirlenebilir.

Bu tez çalışmasında gidilecek yollar ve uğranacak adresler manuel olarak programa girilmektedir. Bu amaçla iki boyutlu ortamda çizim yapma programlarının benzeri uygulamaları; çizimi kolaylaştıran snap ve grid uygulamaları, çizerken mousun sol tuşu ile koordinatı tespit etme, sağ tuşla komutu iptal etme, pan ve zoom komutları gibi temel birçok iki boyutlu çizim komutları programa eklenmiştir.





Şekil 3.22. Cep işleme algoritması uygulamaları ve geliştirilen iki boyutlu çizim algoritma programı.

### 3.3.3.3. Robotun Rota Takip Kontrolünün Yapılması

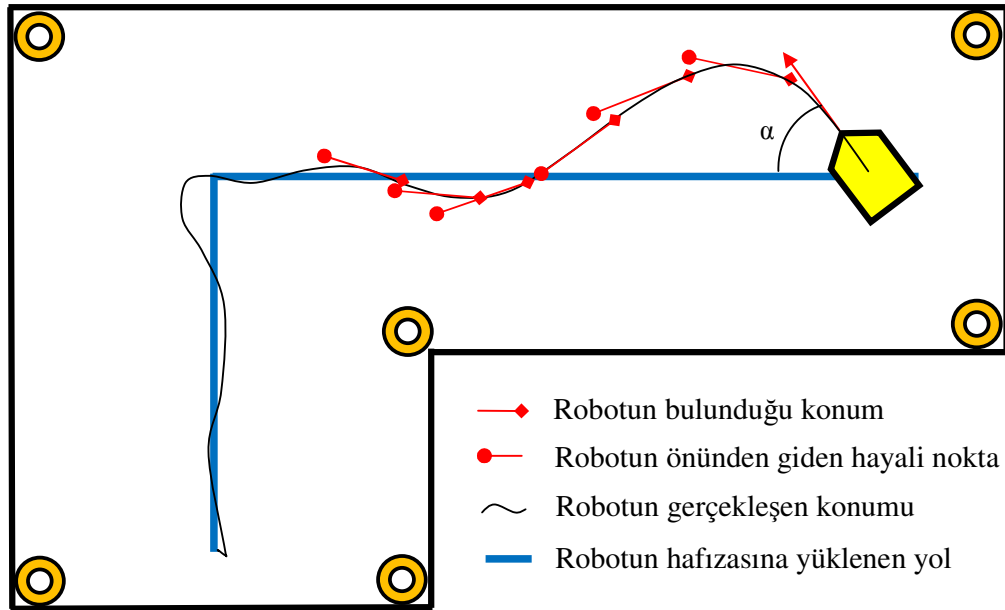
Robot, yer imlerinden elde ettiği görüntüleri işledikten sonra bulunduğu ortamdaki konumunu, verilen referans noktasına göre bulmaktadır. Bu işlemin yapılabilmesi için, çalışacağı ortamın duvarlarının şekli, ortama konulacak yer imlerinin konumları ve numaraları veritabanına kaydedilmiş, bunun yanında gerek hesaplamayla tespit edilen, gerekse kullanıcı tarafından elle giriş yapılan gidilecek yollar ve adresler belirlenmiş olmalıdır. Bu veriler hazır olduktan sonra robot çalıştırılabilecektir.

Robot çalıştırıldıktan sonra gideceği yönü belirlerken, ilk olarak kendi konumunu tesbit edecek ardından doğrultu vektörünü hesaplayacaktır. Bundan sonra hangi

tarafa doğru yöneleceğini, doğrultu vektörüne ve hafızasında bulunan rota yollarına bakarak belirleyecektir.

Eğer doğrultu vektörü ile rota yolu arasındaki açı belli bir toleransdan fazla ise ( $10^0$  alınmıştır), o zaman bu açı farkını kapatmak için servo motora, uygun dönüş açısına dönmesi için komut gönderecektir. Burada servo motorun dönüş açıları için 5 adet kademe kullanılmıştır. 5 kademe dönüş gönderildiğinde servo motor, ön tekerleri  $45^0$  açı ile döndürmektedir. Ne kadar açı döndürüleceği, doğrultu vektörü ile rota yolu arasındaki açının büyüklüğüne bağlıdır.

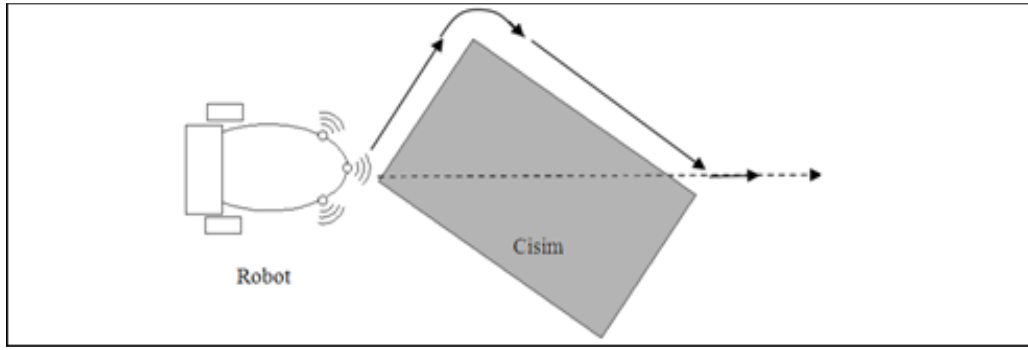
Robot istenen açıda ön tekerleri döndürdükten sonra tekrar rota yolu üzerine gelmeye çalışırken, bu sefer yolu geçip karşıya doğru yönelmektedir. Bunu engellemek için robot ilerlerken kendi boyu kadar (50 cm) önde gittiği varsayılarak program hesaplama yapmaktadır. Henüz daha robotun kendisi, rota çizgisi üzerine gelmemiş olsa bile, kendinden önde giden hayali nokta çizgiyi geçtiği ve hesaplamalar da o noktaya göre yapıldığından robotun tekerleri düzeltilmesi için zaman kazandırılmaktadır. Bu durumda robot, çizgi üzerinde daha iyi kararlılık göstererek yol üzerinde kalmaktadır (Şekil 3.23).



Şekil 3.23. Robotun rota üzerinde takip ettiği yollar.

### 3.3.4. Engellere Karşı Dinamik Davranışın Belirlenmesi

Robot, hafızasına yüklenen görevleri yerine getirirken, ortamdaki dinamik durumlardan dolayı engellerle karşılaşabilir. Ortamdaki insanlar ya da hafızada kaydı bulunmayan bir cisim robot için dinamik engellerdir. Bu engelleri aşmak için, robotun önüne mesafe sensörleri yerleştirilmiştir. Eğer bir cisimle karşılaşırse refleks hareket yaparak sola dönüp 2 saniye kadar sola dönmüş olarak hareketine devam eder ve konumunu hesaplayıp tekrar hafızadaki rotaya yönelir. Bu şekilde önündeki engelden kurtulana kadar refleks hareketlerine devam eder (Şekil 3.24). Bu esnada cismin etrafını dolaşırken, izlediği yolu kayıt altına alır, verilen görev alan tarama işlemi ise tüm görev bittikten sonra taranamayan bu kısımları tekrar elden geçirir.



Şekil 3.24. Robotun beklenmedik engellerden kaçması.

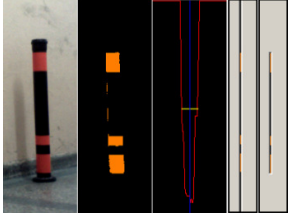
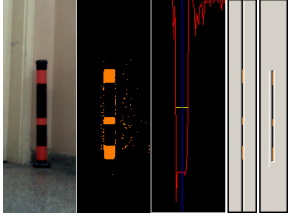
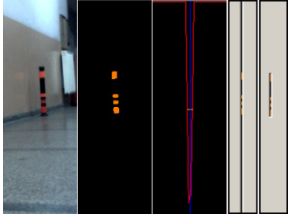
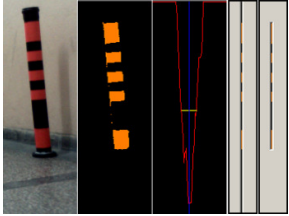
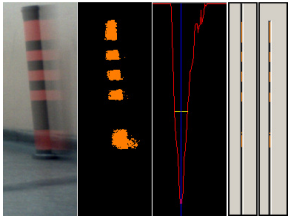
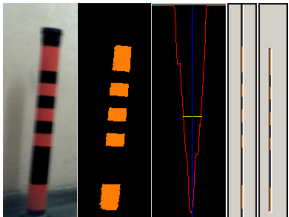
## BÖLÜM 4

### DENEYSEL ÇALIŞMALAR

#### 4.1. YER İMİ MESAFE ÖLÇÜMLERİ

Şekil 4.1’de 6 adet örnek yer iminden alınan görüntülerden çıkarılan mesafe sonuçları ile gerçekte var olan mesafe ölçümleri verilmiştir. Robot, etrafındaki yer imlerinden ölçüm yaparken bazen bulunduğu düzlemin eğriliğinden, bazen de cismi görüntülerken perspektif açı kaymaları nedeniyle yer imleri hafif eğri görüntülenmektedir. Bu eğrilik eğer yer iminin çapından daha fazla bir eğriliğe sahipse görüntüden mesafe hesaplanamamaktadır. Bu nedenle alınan görüntülerde yer imleri en fazla  $7^0$  eğime sahip olmalıdır. Ayrıca kameranın dönüş hızı nedeniyle görüntüler bulanık çıkmaktadır. Bu durumu engellemek için kamera bir dönüşünde yaklaşık 6 defa durdurularak görüntü alması sağlanmıştır. Durdurma işlemleri için flip-flop devresi kullanıldığından, zamana bağlı olarak kamera farklı noktalarda durmaktadır. Böylece görüntülerin değişik açılardan alınmasını sağlamıştır.

Deney sonuçları incelendiğinde, yaklaşık 2 metre mesafeden 8 metre mesafeye kadar yapılan denemelerde % 1’den az hataya rastlanmıştır. Buna, gerçek ölçümlerin alınması esnasında yapılabilecek (lazer metre ile ölçülmüştür) hatalar da hesaba katılırsa, kamera ile ölçümün hatasız olduğu gözükmemektedir. 8 metreden sonraki ölçümlerde yer imi üzerindeki turuncu ve siyah çizgiler arası mesafe çok yakın olduğundan okuma hatası yapmaktadır. Bu nedenle yazılan görüntü işleme programı, uzak mesafelerden çekilen resimdeki yer iminin kaç numaralı yer imi olduğunu çözememekte, buna bağlı olarak da robot ile yer imi arasındaki mesafe ölçümünü yapamamaktadır.

Sıra No	Program Ölçüm Resimleri	Deney Sonuçları
1		Yer İmi No: 8 (okumuştur) Kamera ölçüm mesafesi: 254 cm Gerçek ölçüm mesafesi: 255 cm Hata miktarı: %1den az
2		Yer İmi No: 4 (okumuştur) Kamera ölçüm mesafesi: 339 cm Gerçek ölçüm mesafesi: 340 cm Hata miktarı: %1den az
3		Yer İmi No: 12 (okumuştur) Kamera ölçüm mesafesi: 724 cm Gerçek ölçüm mesafesi: 730 cm Hata miktarı: %1den az
4		Yer İmi No: 7 (okumuştur) Kamera ölçüm mesafesi: 240 cm Gerçek ölçüm mesafesi: 237 cm Hata miktarı: %1.2
5		Yer İmi No: okuyamamıştır Kamera ölçüm mesafesi: Ölçülememiştir Gerçek ölçüm mesafesi: 237 cm Hata miktarı: %100 (Geçersiz)
6		Yer İmi No: 7 (okumuştur) Kamera ölçüm mesafesi: 194 cm Gerçek ölçüm mesafesi: 191 cm Hata miktarı: %1 den az

Şekil 4.1. Yer imleri üzerinde yapılan değişik ölçümlerin deney sonuçları.

## BÖLÜM 5

### SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında gerçekleştirilen otonom kontrollü gezgin robot, bomba ve mayın gibi patlayıcıların tespit ve imhası, askeri alanlarda keşif yapma, tarımsal alanlarda tohum ekme ve ilaçlama, ev ve büyük binaların temizlik işleri, müze rehberlik hizmetleri, hastanelerde yemek dağıtımı vb. gibi birçok alanda kullanılabilir.

Geliştirilen bu otonom kontrollü gezgin robot, bir çok alanda elle yapılan işlemleri otomatik olarak kendisi yapabilecek kapasitede, genel amaçlı yapılmış bir robottur. Robota bağlanacak olan ekipmanlar ile, istenen görevde kullanılabilirliği sağlanmıştır. Bu amaçla robota; sınırları belli bir alan içerisinde tüm alanı tarayacak şekilde dolaşabilecek ve belli bir mekan içerisinde gideceği adresler tanımlanarak, en kısa yolu kullanacağı özellikler kazandırılmıştır.

Bunun yanı sıra geliştirilen robot, bazı alanlarda sınırlı kalmaktadır. Bu konular geliştirmeye açık olup, yapılabilecek geleceğe yönelik çalışmalarla birlikte şu şekilde özetlenebilir;

- a) Robotun mekanik tasarımı, ev ve benzeri alanlarda kullanılabilir yapıda tasarlanmıştır. Bu tasarım geliştirilerek arazi, fabrika vb. ortamlarda kullanılacak şekilde daha büyük ve güçlü yapıda tasarlanabilir.
- b) Sonraki çalışmalara ışık tutması açısından, robotun üzerine konulan bilgisayar yerine içine mikroişlemci modül yerleştirilebilir.
- c) Kullanılan kamera, uzak mesafelerden alınan görüntülerde yetersiz kalmış, bu nedenle uzaktan çekilen resim karesindeki yer imlerini tespit edemediğinden kısa aralıklarla daha çok yer imi kullanılmasını gerektirmiştir. Buna göre daha yüksek hız ve çözünürlükte, aynı zamanda kablosuz kamera seçimi yapılabilir.

## KAYNAKLAR

1. Gürel,U., “Gezgin robotlar için seyrüsefer ve kamera takip sistemi”, Yüksek Lisans Tezi, *Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Eskişehir, 1-4 (2006).
2. Durieu, C., Clergeot, H. and Monteil, F., “Localization of a mobile robot with beacons taking erroneous data into account”, *IEEE International Conference on Robotics and Automation*, Scottsdale, AZ , USA, 1062-1068 (1989).
3. Frohn, H. and Von Seelen, W. V., “VISOCAR: an autonomous industrial transport vehicle guided by visual navigation”, *IEEE International Conference on Robotics and Automation*, Scottsdale, AZ , USA, 1155-1159 (1989).
4. Kleeman, L., “Optimal estimation of position and heading for mobile robots using ultrasonic beacons and dead-reckoning”, *IEEE International Conference on Robotics and Automation*, Nice, France, 2582-2587 (1992).
5. Jenkin, M., Milios, E., Jasiobedzki, P., Bains, N. and Tran, K., “Global navigation for ARK”, *Proceedings of the 1993 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robotics and Systems*, Yokohama, Japan, 2165-2171 (1993).
6. Borenstein, J., Everett, B. and Feng, L., “Navigating mobile robots: systems and techniques”, *A. K. Peters, Ltd.*, Wellesley, Mass, 206-208 (1996).
7. Park, K., Chung, H., Choi, J.and Lee, J.G., “Dead reckoning navigation for an autonomous mobile robot using a differential encoder and a gyroscope”, *Sch. of Electr. Eng., Seoul Nat. Univ., ICAR '97. Proceedings, 8th International Conference on*, Monterey, CA, 441-446 (1997).
8. Kubitz, O., Berger, M. O., Perlick, M. and Dumoulin, R., “Application of radio frequency identification devices to support navigation of autonomous mobile robots”, *Vehicular Technology Conference, IEEE 47th*, Phoenix, AZ , USA, 1: 126-130 (1997).
9. Arsenio, A. and Ribeiro, M.I., “Absolute localization of mobile robots using natural landmarks”, *IEEE International Conference on*, Lisboa, Portuguese, 2: 483-486 (1998).
10. Feng-Ji, Z., Hai-Jiao, G. and Abe, K., “Mobile robot localization using two sonar sensors and one natural landmark”, *SICE '98. Proceedings of the 37th*

*SICE Annual Conference. International Session*, Chiba , Japan, 893-898 (1998).

11. Araiujo, R. and Almeida, A.T., “Learning sensor-based navigation of a real mobile robot in unknown worlds”, *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, Part B, 29 (2): 164-178 (1999).
12. Song, K.T. and Chang, C.C., “Reactive navigation in dynamic environment using a multisensor predictor”, *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, Part B: Cybernetics, 29 (6): 870-880 (1999).
13. Lee, J., Choi S., Lee, Y. and Lee, K.S., “A study on recognition of road lane and movement of vehicles using vision system”, *Proceedings of the 40th SICE Annual Conference. International Session Papers*, Nagoya , Japan, 38-41 (2001).
14. Piaggio, M., Sgorbissa, A. and Zaccaria, R., “Autonomous navigation and localization in service mobile robotics”, *Proceedings of the IEEE/RSJ International Conference*, Maui, HI, 4: 2024-2029 (2001).
15. Venet, T., Capitaine, T., Hamzaoui, M. and Fazzino F., “One active beacon for an indoor absolute localization of a mobile vehicle”, *Proceedings of the ICRA '02, IEEE International Conference*, Washington, DC, 1: 1-6 (2002).
16. Carelli, R. and Freire, E.O., “Corridor navigation and wall-following stable control for sonar-based mobile robots”, *Robotics and Autonomous Systems*, 45: 235-247 (2003).
17. Carelli, R., Soria C., Nasisi O. and Freire E., “Stable AGV corridor navigation with fused vision-based control signals”, *IECON 02, Industrial Electronics Society, 28th Annual Conference*, San Juan, Argentina, 3: 2433-2438 (2002).
18. Pantofaru, C., Unnikrishnan, R. and Hebert, M., “Toward generating labeled maps from color and range data for robot navigation”, *2003 IEEE, Proceedings of the RSJ International Conference*, Pittsburgh, PA, USA, 2: 1314-1321 (2003).
19. Souma, M.A.A., “Technologies for autonomous navigation in unstructured outdoor environments”, PhD Thesis, *University of Cincinnati*, Ohio, USA, 239-243 (2003).
20. Negenborn, R., “Robot localization and Kalman filters on finding your position in a noisy world”, *M.S. Thesis, Utrecht University*, Utrecht, Netherland, 155-158 (2003).
21. Xiaochuan, W., “Developing reactive controllers for mobile robots navigation in unknown environments using infrared range sensors”, *M.S. Thesis, The University of Guelph*, Ontario, Canada, 156-160 (2004).



22. Parikh, S.P., Grassi V.J., Kumar V. and Okamoto J.J., “Incorporating user inputs in motion planning for a smart wheelchair”, *ICRA '0, Proceedings of the International Conference*, Pennsylvania, USA, 2: 2043-2048 (2004).
23. Zhang, P., Milios, E.E. and Gu J., “Underwater robot localization using artificial visual landmarks”, *ROBIO 2004, International Conference*, Shenyang, China, 705-710 (2005).
24. Luo, R.C., Liao, C.T., Su, K.L. and Lin, K.C., “Automatic docking and recharging system for autonomous security robot”, *IROS 2005, IEEE/RSJ International Conference*, Taiwan, 2953-2958 (2005).
25. Maosen, W., Hashem, T. and Zell, A., “Robot navigation using biosonar for natural landmark tracking”, *CIRA 2005, Proceedings of the IEEE International Symposium*, Germany, 3-7 (2005).
26. Jang, G., Kim, S., Kim, J. and Kweon, I., “Metric localization using a single artificial landmark for indoor mobile robots”, *IROS 2005, IEEE/RSJ International Conference*, Daejeon, South Korea, 2857-2862 (2005).
27. Çiçek S., “CCS C ile PIC Programlama”, *Altaş Yayınları*, 15-33 (2007).
28. Şahin, C., Dayanık, A. ve Altınbaşak, C., “PIC Programlama Teknikleri ve PIC16F877A”, *Altaş Yayınları*, 526-528 (2006).
29. Microchip Technology Inc., “DS39632B, PIC18F2455/2550/4455/4550 Data Sheet”, *Microchip Technology Incorporation*, (2004).
30. Göktaş, M., Dilipak, H. ve Gültaş, A., “Ofsetleme ve cep frezeleme işlemlerinde analitik yaklaşım”, *5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09)*, Karabük, 98-109 (2009).
31. Göktaş, M., Dilipak, H. ve Gültaş, A., “İki boyutlu profillerin işlenmesinde takım yolu ve ofsetleme için yeni bir algoritma geliştirilmesi”, *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 25 (1): 179-187 (2010).
32. Göktaş, M., Dilipak, H. ve Gültaş, A., “Yaylar için ofsetleme algoritması”, *e-Journal of New World Sciences Academy: Technological Applied Sciences*, 5 (3), 212-219 (2010).

## **ÖZGEÇMİŞ**

Orhan DEMİREL 1977 yılında Zonguldak Ereğli’de doğdu. İlk ve orta öğrenimini aynı şehirde tamamladı. Lise öğrenimini Zonguldak Ereğli Teknik ve Endüstri Meslek Lisesi Elektronik Bölümü’nde tamamladı. 1996 yılında Sakarya Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Elektronik ve Bilgisayar Eğitimi Bölümü’nde lisans öğrenime başlayıp 2000 yılında mezun oldu. Aynı yıl Karabük Merkez Teknik ve Endüstri Meslek Lisesi Elektronik Bölümü’nde Teknik Öğretmen olarak göreve başladı. 2003 yılında kısa dönem olarak askerlik vazifesini yaptı. 2008 yılında Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektronik ve Bilgisayar Eğitimi Anabilim Dalı’nda yüksek lisans öğrenimine başladı. Halen Karabük Merkez Teknik ve Endüstri Meslek Lisesi Elektronik Bölümü’nde Teknik Öğretmen olarak görev yapmakta ve lisansüstü öğrenimine Karabük Üniversitesi’nde devam etmektedir.

### **ADRES BİLGİLERİ**

Adres : Teknik ve Endüstri Meslek  
Lisesi Elektronik Bölümü  
Merkez / KARABÜK

Tel : (505) 304 45 05

E-posta : orhandemirel67@hotmail.com