MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

OTONOM YÖNLENDİRMELİ ARAÇLAR İÇİN RFID TABANLI İÇ MEKAN LOKALİZASYON UYGULAMASI VE YÖNETİM PANELİ

BEKİR EMANET

(523120009)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Elektrik-Elektronik
Anabilim Dalı

Türkçe Programı

DANIŞMAN
Prof. Dr. İsmail Kıyak

İSTANBUL, 2023

TEŞEKKÜR

Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yapmış olduğum bu çalışmanın seçilmesi, önerilmesi ve hazırlanmasında bilgi birikimi ve deneyimleri ile bana yol gösteren tez danışmanım, değerli hocam Sayın Prof. Dr. İsmail KIYAK'a teşekkürü borç bilirim.

Bugüne kadar attığım her adımda benden desteklerini esirgemeyen ve yanımda olan başta sevgili eşim Betül, annem Dilek, babam Ergin ve ablam Esra'ya, teknik anlamda benden bilgi birikimlerini esirgemeyen değerli arkadaşım Batuhan EKİNCİ'ye en içten sevgilerimi ve teşekkürlerimi sunarım.

İstanbul, Eylül 2023 Bekir EMANET

İÇİNDEKİLER

ÖZET iv
ABSTRACT v
YENİLİK BEYANI vi
SEMBOLLER xii
KISALTMALAR xiv
ŞEKİL LİSTESİ xiii
TABLO LİSTESİ xiv
1. GİRİŞ 1
1.1 Tezin Konusu 1
1.2 Literatür Çalışması 1
1.3 Tezin Amacı 2
2. OTONOM YÖNLENDİRMELİ ARAÇLAR 4
2.1 Giriş 4
2.2 Otonom Yönlendirmeli Araç Nedir? 4
2.3 Otonom Yönlendirmeli Araç Bileşenleri 5
2.3.1 Otonom Yönlendirmeli Araçlar İçin Elektrik Motorları 6
2.3.2 Otonom Yönlendirmeli Araçlar İçin Güç Grubu 14
2.3.3 Otonom Yönlendirmeli Araçlar İçin Mekanik Şasi 15
2.3.4 Otonom Yönlendirmeli Araçlarda Lokalizasyon ve Navigasyon İçin Kullanılan Sensör Tipleri 15
2.4 Otonom Yönlendirmeli Araç Navigasyon ve Lokalizasyon Çeşitleri 19
3. RFID (RADYO FREKANSI İLE TANIMLAMA) TEKNOLOJİSİ 21
3.1 Giriş 21
3.2 RFID Nedir? 21
3.3 RFID Kullanım Alanları ve Otonom Yönlendirmeli Araçlarda RFID Teknolojisi 22
4. OTONOM YÖNLENDİRMELİ ARAÇLAR İÇİN RFID TABANLI LOKALİZASYON UYGULAMASI 24
4.1 Giriş 24
4.2 Sistem Bileşenleri 24
4.2.1 Mekanik Komponentler 24
4.2.2 Elektrik Motoru 24
4.2.3 Elektrik Motoru Sürücüsü 28
4.2.4 Raspberry Pi Mikrodenetleyici 29

4.2.5 Arduino Nano Mikrodenetleyici 30
4.2.6 Jiroskop/İvmeölçer Sensör 30
4.2.7 RFID Alıcı ve Pasif Etiket 33
4.2.8 Batarya 35
4.3 Tasarlanan Otonom Yönlendirmeli Aracın Kontrol Stratejisi 36
4.3.1 Sistem Test Ortamı 37
4.3.2 Sistem Yönetim Paneli 38
4.3.3 Otonom Yönlendirmeli Araç Yol Bulma Algoritması 39
4.3.4 Otonom Yönlendirmeli Araç Yaw Açısı Kontrolü 43
5. DEĞERLENDİRME VE SONUÇ 47
5.1. Giriş 47
5.2. Proje Sonuçları 47
5.2.1. Performans 47
5.2.2. Tasarım Başarı Durumu, Maliyet ve Ergonomi 49
5.2.3. Gelecekte Oluşturulabilecek Çalışmalar 50
5.3. Sonuç 50
KAYNAKLAR 51
ÖZGEÇMİŞ 57

ÖZET

OTONOM YÖNLENDİRMELİ ARAÇLAR İÇİN İÇ MEKAN LOKALİZASYON UYGULAMASI VE YÖNETİM PANELİ

Günümüzde, özellikle 2020 yılından itibaren, Covid-19 pandemisinden sonra yoğun bir şekilde kargo taşımacılığı büyük-küçük ölçek fark etmeksizin bir atılım gerçekleştirmiştir. Özellikle pandemi döneminde insanlar sıkça e-ticaret web sitelerinden alışverişler yapmış, burada ciddi bir lojistik iş hacmine sebep olmuşlardır. Oluşan bu yoğunluğa lojistik firmaları cevap vermekte zorlanmış farklı çözüm yollarına gitmişlerdir. Bunlar özellikle endüstriyel otomasyon alanında çeşitli iş hacimleri doğurmuştur. Bu tez çalışmasında küçük ölçekli işletmelerin, işletme içi ürün dağıtım hızı sorununa cevap verebilecek, depolarda sistematik bir şekilde ürün takibi, dağıtımı yapabilecek düşük maliyetli RFID tabanlı bir otonom yönlendirmeli araç tasarımı ve yönetim paneli tasarlamaktır. Bu projede gerçeklenecek ürünün bir simülasyonu yapılmıştır. Gerçek hayatta kullanılacak ürünün 1:5 ölçeğinde prototipi hazırlanarak çalışmalar yapılmıştır. Çalışmada otonom yönlendirmeli araç prototipi üzerinde testler yapıldı. Araç çalışmalar boyunca üzerinde RFID alıcı, ivmeölçer/gyro sensör (IMU), step motor, step motor sürücü, mikroişlemci (MCU) ve PC bünyesinde barındırdı. Burada belirlenen alan içerisinde aracın en optimum hızla verilen görevleri yerine getirmesi için çalışma bünyesinde geliştirilen en kısa yol algoritması gerçekleştirildi. Çalışmada aynı metrekare içerisinde insan yordamıyla yapılan dağıtım ile geliştirilen aracın dağıtım hızı kıyaslandı. Burada yalnızca dağıtım prosesinde geliştirilen aracın hız bakımından 4 kat üstün olduğu hesaplandı. Çalışma amacında yer alan düşük bütçeli ürün geliştirme amacının ulaşılabilirliği tespit edildi. Uzun süreli testler yapılarak ekonomik açıdan amortismanın kısa süre içerisinde elde edilebilirliği sağlandı. Benzer ürünlere kıyasla 3 kat daha az maliyetli bir ürünün aynı amaca hizmet edilebilirliği görüldü. Aynı zamanda RFID sensörler vasıtasıyla konum tespitinin büyük-küçük ölçekte uygulanabilirliği test edildi. Ayrıca DC Motorlar ile Step motorların konum hassasiyeti karşılaştırıldı. Çalışma başındaki RFID Tabanlı Otonom Yönlendirmeli Araç konseptine uygun simülasyon gerçeklendi. 5 kat ölçeklenmiş modelde bulgular elde edildi. Geliştirilen aracın uygulanabilirliği gözlemlendi.

ABSTRACT

RFID BASED INDOOR LOCALIZATION FOR AUTONOMOUS GUIDED VEHICLES APPLICATION AND MANAGEMENT PANEL

Today, especially since 2020, after the Covid-19 pandemic, intensive cargo transportation has made a breakthrough regardless of large or small scale. Especially during the pandemic period, people frequently shopped on e-commerce websites, causing a serious logistics business volume here. Logistics companies had difficulty in responding to this density and went to different solutions. These have created various business volumes, especially in the field of industrial automation. In this thesis, it is aimed to design a low-cost RFID-based autonomous guided vehicle design and management panel that can respond to the problem of in-house product distribution speed of small-scale enterprises, which can systematically track and distribute products in warehouses. A simulation of the product to be implemented in this project has been made. A 1:5 scale prototype of the product to be used in real life was prepared and studies were carried out. The vehicle included RFID receiver, accelerometer/gyro sensor (IMU), stepper motor, stepper motor driver, microprocessor (MCU) and PC throughout the work. The shortest path algorithm developed within the scope of the study was carried out in order for the vehicle to perform the tasks given at the optimum speed within the area determined here. In the study, the distribution speed of the developed vehicle was compared with the distribution made by human means in the same square meter. Here, it was calculated that the vehicle developed only in the distribution process is 4 times superior in terms of speed. The accessibility of the low-budget product development aim in the study was determined. By conducting long-term tests, it was ensured that the economic depreciation could be obtained in a short time. It was seen that a product that costs 3 times less than similar products can serve the same purpose. At the same time, the applicability of position detection via RFID sensors on a large-small scale was tested. In addition, the position accuracy of DC Motors and Stepper Motors were compared. Simulation was carried out in accordance with the RFID Based Autonomous Guided Vehicle concept at the beginning of the work. Findings were obtained in the 5-fold scaled model.

YENİLİK BEYANI

1. Literatürde ve sektörel olarak kullanımda Otonom Yönlendirmeli Araçlarda çok çeşitli sensörler bir arada kullanılmıştır. Bu çalışmada tasarlanan Otonom Yönlendirmeli Araç içerisinde yalnızca RFID teknolojisi ve Jiroskop/İvmeölçer (IMU – Atalet Ölçüm Birimi) Sensör kullanılmıştır.
2. Bu çalışmada lokalizasyon ve navigasyon işlemi RFID Alıcı Modül ve IMU'dan gelen verilere göre işlenip, belirlenen test alanı içerisinde oluşturulacaktır.
3. Çalışma başında belirtilen bileşenler vasıtasıyla belirlenen test alanı içerisinde tasarlanan Otonom Yönlendirmeli Aracın hedef lokasyonlara başarıyla gittiği görülmüştür.

SEMBOLLER

$R_{Turning}$: Dönüş Çapı

T_{max} : Maksimum Tork

$T_{average}$: Ortalama Tork

m : Kütle

J_X : X Ekseni Boyunca Atalet

J_y : Y Ekseni Boyunca Atalet

L : Silindirik Cisim Yüksekliği

D_1 : Silindir Çapı

D_2 : İçi Boş Silindir Çapı

ρ : Yoğunluk

F : Kuvvet

μ : Sürtünme Katsayısı

g : Yerçekimi İvmesi

F_A : Dış Kuvvet

A : İvme

T_A : İvmelenme Torku

J : Atalet

θ : Yönelim Açısı

X_B : Yerel Koordinat Sistemi X Ekseni

Y_B : Yerel Koordinat Sistemi Y Ekseni

b : Motorlar Arası Uzaklık (Diferansiyel Sürüş)

ICR : Araç Anlık Dönme Merkezi

v_R : Sağ Motor Anlık Dönme Hızı

v_L : Sol Motor Anlık Dönme Hızı

ω : Açısal Hız

C_A : Pil Kapasitesi

C_W : Pil Gücü

$I_{battery}$: Batarya Akımı

V : Gerilim

mA : miliamper

$\boldsymbol{\mu A}$ **:** mikroamper

Hz **:** Hertz (Frekans)

gf.cm **:** santimetreye düşen gram (Kuvvet)

$\boldsymbol{D_{wheel1tour}}$ **:** Tekerleklerin Bir Turunda Katedilen Mesafe

$\boldsymbol{T_{90^\circ}}$ **:** 90 Derecelik Dönüşte Gerekli Olan Step Sayısı

$\boldsymbol{C_{Dönüş}}$ **:** Dönüş Çevresi

$\boldsymbol{\beta}$ **:** Akım Kazancı

$\boldsymbol{a}$ **:** İvme

$\boldsymbol{\dot{v}}$ **:** Anlık İvme

$\boldsymbol{b_a}$ **:** Katsayı (İvmeölçer)

$\boldsymbol{n_a}$ **:** Gürültü (İvmeölçer)

$\boldsymbol{b_j}$ **:** Katsayı (Jiroskop)

$\boldsymbol{n_j}$ **:** Gürültü (Jiroskop)

Ki **:** Oransal Kazanç

Kp **:** İntegral Kazanç

e **:** Hata

KISALTMALAR

3D : 3 Boyut
AC : Alternatif Akım
ADC : Analog-Dijital Çevirici
AGV : Otonom Yönlendirmeli Araç
ARM : Advanced RISC Machines
BMS : Batarya Yönetim Sistemi
CAD : Bilgisayar Destekli Tasarım
DC : Doğru Akım
DMP : Dijital Hareket İşlemcisi
ERP : Kurumsal Kaynak Planlaması
GND : Toprak
GPIO : Genel Amaçlı Giriş-Çıkış
GPS : Global Pozisyonlama Sistemi
I2C : Inter-Integrated Circuit (Ara Entegre Devre)
ID : Kişisel Veri
IMU : Atalet Ölçüm Birimi
IOT : Nesnelerin İnterneti
LIDAR : Lazer Görüntüleme Tespiti ve Ölçümü
MCU : Mikro Kontrol Birimi
MEMS : Mikro Elektro-Mekanik Sensör
PC : Kişisel Bilgisayar
PI : Oransal Integral
PWM : Darbe Genişliği Modülasyonu
RFID : Radyo Frekansı ile Tanımlama
RST : Reset
SOC : Şarj Durumu (%)
SPI : Seri Çevrebirim Arayüzü
UART : Evrensel Asenkron Alıcı-Verici
UWB : Ultra Geniş Bant
WIFI : Kablosuz Bağlantı Alanı

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1. Otonom Yönlendirmeli Araç Çeşitleri 5
Şekil 2.2. Otonom Yönlendirmeli Araç Bileşenleri 6
Şekil 2.3. AGV'lerde Diferansiyel Sürüşte Kullanılan Elektrik Motorları [28] 6
Şekil 2.4. Dönme Ekseni Atalet Momenti Gösterimi 9
Şekil 2.5. Silindirik Cisimler İçin Atalet Momenti Eksenleri 9
Şekil 2.6. Silindirik ve İçi Boş Cisimler İçin Atalet Momenti Eksenleri 10
Şekil 2.7. Tork Diyagramı 11
Şekil 2.8. Dikey, Yatay ve Açısal Kuvvetlerin Gösterimi 11
Şekil 2.9. AGV'lerde Diferansiyel Sürüş (1,2) ve Direksiyon Takviyeli Sürüş 13
Şekil 2.10. Diferansiyel Tekerlekli AGV'nin Motor Yerleşimi ve Dönüş Açıları 13
Şekil 2.11. AGV'lerde Kullanılan Sensörler 17
Şekil 2.12. AGV'lerde Kullanılan Örnek Bir Lidar ve Görüş Açıları 18
Şekil 2.13. Lokalizasyon ve Navigasyon için Kullanılan Sensörlerin Pozisyonları 19
Şekil 2.14. AGV'lerde Kullanılan Bazı Lokalizasyon ve Navigasyon Çeşitleri [48] 20
Şekil 3.1. RFID Personel Kartı ve İç Yapısı [51] 22
Şekil 3.2. RFID Tekniği ile Navigasyon ve Lokalizasyon Sağlayan Bir AGV Sistemi 23
Şekil 4.1. Tasarlanan Otonom Yönlendirmeli Araca ait Sistem Mimarisi 24
Şekil 4.2. Tasarlanan Araca Ait Görseller, Alt Görünüş Ve İzometrik Görünüş 25
Şekil 4.3. 28BYJ-48 Tipi Step Motor Pin Çıkışları [53] 27
Şekil 4.4. 28BYJ-48 Tipi Step Motor Redüksiyon Yapısı [54] 27
Şekil 4.5. ULN2003A Motor Sürücü Devresi İç Yapısı [55] 29
Şekil 4.6. Raspberry Pi Mikrodenetleyici Pin Çıkış Diyagramı [57] 30
Şekil 4.7. X.Y.Z Eksenleri ve Euler Açıları 31
Şekil 4.8. Jiroskop Modül İçerisindeki Coriolis Etkisi [63] 32
Şekil 4.9. Çalışmada Kullanılan MPU6050 İvmeölçer-Jiroskop Modül [64] 32
Şekil 4.10. Çalışmada Kullanılan Pasif RFID Etikete Ait Ölçüler 34
Şekil 4.11. RFID Alıcı Sensör ve Pin Çıkışları [68] 35
Şekil 4.12. Batarya ve Bataryadan Beslenen Mikrodenetleyicilere Ait Diyagram 36
Şekil 4.13. Tasarlanan Aracın Üstten ve Yandan Görünüşler 36
Şekil 4.14. Tasarlanan Aracın Alt Tabanı ve İzometrik Görünümü 37
Şekil 4.15. Çalışma İçin Hazırlanan Test Alanı 38

Şekil 4.16. Çalışma İçin PyQt ortamında Hazırlanan Kullanıcı Yönetim Paneli 39
Şekil 4.17. Yol Bulma Algoritması Pseucode..... 40
Şekil 4.18. Tasarlanan Otonom Yönlendirmeli Aracın Hedef Pozisyona Gidiş Hareketi 42
Şekil 4.19. Tasarlanan Otonom Yönlendirmeli Aracın Yol Algoritması Akış Şeması **..... 43**
Şekil 4.20. Yaw Açısı Elde Etmek İçin Kullanılan Filtreye Ait Blok Diyagram 46
Şekil 5.1. Tasarlanan Otonom Yönlendirmeli Araç İçin Hazırlanan Test Alanı 47
Şekil 5.2. Tasarlanan Otonom Yönlendirmeli Araç Operasyonel Şarj Durumu Değişimi 48
Şekil 5.3. MPU6050 Jiroskop Verisinin Filtreli ve Filtresiz Olarak Karşılaştırılması 49

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1. AGV'lerde Kullanılan Elektrik Motor Tipleri ve Özellikleri [31] 7
Tablo 2.2. AGV'lerde Kullanılan Elektrik Motoru Çekiş Tipleri ve Özellikleri [32] 8
Tablo 4.1. Tasarlanan Araçta Kullanılan Motor Özellikleri [52] 26
Tablo 4.2. Raspberry Pi Mikrodenetleyici Pin Çıkış Sayıları [56] 29
Tablo 4.3. MPU6050 Sensör Pinleri ve Özellikler [65] 33
Tablo 4.4. RC522 Alıcı Sensör Pinleri ve Özellikler [67] 34
Tablo 4.5. RFID Etiket ID'leri ve Atanan Lokasyonlar 38

1. GİRİŞ

1.1 Tezin Konusu

Gelişen perakende, sanayi ve depolama faaliyetlerine ihtiyaç olarak robotlaşma ön plana çıkmaktadır. Firmalar bu alanda yatırımlar yapmakta, artan operasyon ihtiyaçlarını gidermeye çalışmaktadırlar. Bu alanda yalnızca büyük oyuncular değil, küçük işletmeler de bu yatırımları yapmaktadırlar. Özellikle fabrika, depo, dağıtım tesisi gibi geniş metrekarelere yayılan tesislerde bu tarz uygulamaları sıklıkla görmekteyiz. Burada iki büyük çözüm karşımıza çıkmaktadır. Bunlardan ilki robotik kol uygulamaları, diğeri de Otonom Yönlendirmeli Araç (AGV) uygulamalarıdır. Buradaki tez konusuna ilham veren Otonom Yönlendirmeli araçlar olmuştur. Bilindiği gibi bu araçlar çok ciddi teknolojik sensörlerle donatılmış, görece pahalı sistemlerdir. Bu tez konusu olarak, küçük işletmelerin de kullanabileceği ve operasyonlarına hızlıca adapte edebilecekleri, RFID teknolojisine daanan, iç mekanda WIFI ile haberleşen, A noktasından hedeflenen B noktasına gidebilme kabiliyeti olan robot geliştirilmiş olup, bazı alanlar için daha uygun ve daha az maliyetli bir çözüm olduğu ortaya çıkmıştır. Aynı iç mekandaki araçsız operasyona göre 4 kat daha hızlı olduğu saptanmıştır.

1.2 Literatür Çalışması

AGV konusunda birçok çalışma yapılmıştır. Bu araçların bazıları sektörde profesyonel olarak kullanılırken, bazıları konsept aşamasında kalmışlardır. Shaoping Lu ve arkadaşları ‘Pasif RFID Tag Tabanlı Lokalizasyon ve Navigasyon Yaklaşımı’ adlı çalışmalarında pasif RFID etiketler ile navigasyon da yapmıştır. [1] Joaquin Lopez, ‘AGV Bazlı Taşımacılık Sistemleri İçin Simulasyon ve Kontrol Framework’ isimli çalışmasında AGV operasyonlarının içine ERP sistemlerini de dahil etmiştir. [2] Marina Rantonen Modeer ve arkadaşları ‘RFID Bazlı Lokalizasyon Sistemlerinde Sinyal Kaybı Kompanzasyonu’ isimli çalışmalarında RFID anteninde oluşabilecek sinyal kayıplarına değinmişlerdir. [3] Anthony Codes, ‘Odyometri ve RFID ile Robot Lokalizasyon Uygulaması’ isimli çalışmasında aracı sürerken tekerleklerden alınan odyometri verisi ile RFID verilerini kullanarak bir yaklaşım gerçekleştirmiştir. [4] Javier de Las Morenas ve arkadaşları, ‘Lojistik Merkezi Test Tezgahına Uygulanan RFID Tarafından Desteklenen Dağıtılmış Otomatik Kontrol Sistemi’ isimli çalışmalarında kapalı bir mekanda RFID sistemini operasyonun içerisine dahil etmişlerdir. [5] Shaohua Huang ve arkadaşları, ‘Dijital Üretim Atölyesi için RFID ve UWB'ye Dayalı Gerçek Zamanlı Konum Sistemi’ isimli çalışmalarında, konum desteği için RFID ve UWB sisteminden yararlanarak

çalışmalarını gerçekleştirmişlerdir. [6] Hao Hu ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışma olan ‘Endüstri 4.0'da Esnek Üretim Alanı İçin Karma Kurallı, Rainforcement Learning’e dayalı AGV'lerin Gerçek Zamanlı Planlaması’ ‘nda, operasyonel planlamaları yapay zeka bazlı olarak irdelemişlerdir.[7] Samia Maza, ‘Çift Yönlü AGV'lerin Kontrolü İçin Hibrit Denetim Tabanlı Mimari’ isimli çalışmasında, AGV araçların mimarisine farklı bir bakış açısı kazandırmaya çalışmıştır. [8] Hana Neradilova, ‘Dijital Fabrikada AGV ile İşyeri İhtiyaçlarının Simülasyonu’ isimli çalışmasında iç mekanda faaliyet gösteren bir fabrikada AGV simülasyonu yapmıştır.[9] Takeshi Shimmura, ‘Bir Restorana Servis Robotu Getirilmesi Hem İş Gücü Verimliliğini Hem De Hizmet Kalitesini Artırıyor’ isimli çalışmasında, farklı bir AGV türü olan servis robotlarının bir restoranda faaliyet göstermesi sonucu oluşan performans farklılıklarını araştırmıştır.[10] Jianqi Zhang ve arkadaşları, ‘İnşaat Mühendisliğinde Tanıma ve Takip İçin Otomatik Yönlendirmeli Araçlar ve Otonom Mobil Robotlar’, isimli çalışmalarında RFID sistemini kullanarak İnşaat sektörü için çözümler üretmeye çalışmışlardır. [11] Junichi Yagi ve arkadaşları, ‘İnşaat İçin Parça ve Paket Birleştirme Radyo Frekansı Tanımlama (RFID) Uygulaması’ isimli çalışmalarında pasif RFID etiketleri kullanarak, ürünlerin her birini birbirinden ayırarak bir çözüm arayışına gitmişlerdir. [12] Jiang-Liang Hou, ‘Perakendeciler için RFID Tabanlı Alışveriş Hizmet Sistemi’ isimli çalışmasında, RFID pasif etiketleri kullanarak bir sistem geliştirmiştir. Bu çalışmada ürünlere yerleştirilen pasif etiketlerle nesne tespiti yapılmıştır. [13] Makoto Matsuoka, ‘Robot Hücre Üretim Sistemlerinde RFID ve Sensörlerin Uygulanmasıyla Esnek Üretim’ isimli çalışmasında, bu çalışmada olduğu gibi lokasyonları RFID etiketlerle birbirinden ayırmış, burada üretim çalışmalarına yine AGV yaklaşımıyla yardımcı bir sistem geliştirmiştir. [14] T.Tsukiyama, ‘İç Mekan Mobil Robotları için RFID Tabanlı Navigasyon Sistemi’ isimli çalışmasında, RFID pasif etiketleri araçların dönüş noktalarında kullanarak RFID tabanlı navigasyon sistemi tasarlamıştır. [15]

1.3 Tezin Amacı

Tezin amacı, gelişen robotik alanında hıza dayalı dağıtım, depolama sistemlerine entegre olmak isteyen büyük ve küçük işletmelerin bu sisteme hızlı bir şekilde adapte olmasını sağlayacak, düşük maliyetli ve her ortama uyum sağlayıp, entegre edilebilecek otonom yönlendirmeli araç projesini piyasada sıklıkla kullanılan RFID teknolojisi ile perçinleyip bir sistem ortaya çıkartmaktır. Aynı zamanda bunu bir operatör panel üzerinden gözlemleme yeteneğine sahip olup, kullanıcıya operasyon hakkında çeşitli bilgileri aktarmaktır. Lidar,

UWB sensörler ve Radar gibi yüksek teknoloji ürünlerini kullanmadan da, geliştirilen algoritma ve dairesel diferansiyel sürüş yöntemi ile özellikle dar alanlarda bu sistemin kullanılabilirliğini göstermektir.

2. OTONOM YÖNLENDİRMELİ ARAÇLAR

2.1 Giriş

Bu bölümde Otonom Yönlendirmeli Araçlar ele alınacaktır. Tarihsel gelişimi, kullanıldığı alanlar ve kullanım amaçları gibi konulara değinilecektir.

2.2 Otonom Yönlendirmeli Araç Nedir?

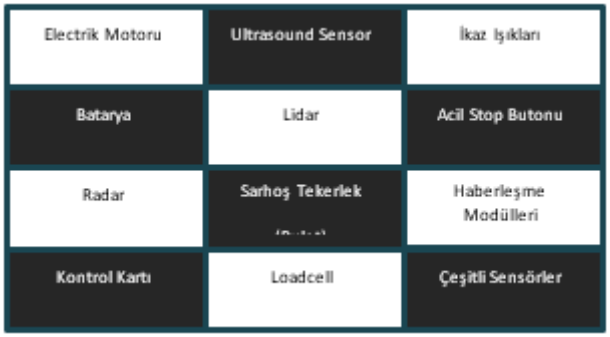
Bilinen kısaltma adıyla AGV'ler, belirli bir alanda herhangi bir kullanıcı yönlendirmesi olmadan, RFID, Lidar, Kamera ya da Manyetik Alan sayesinde yönlendirilebilen ve genellikle iç mekanda bir noktadan diğerine yük taşıma amacıyla kullanılan elektrik motoru tahrikli araçlardır. [16] İlk AGV diyebileceğimiz örnek yer üstü elektrik kablolarını çekmek için kullanılan bir traktördü. 1950-1960 yılları arasında bu tip araçlar iç mekanlarda, fabrika ve depolarda faaliyet göstermeye başladılar. 1980'lerde bu araçlar uzaktan kontrollü hale gelmeye başladı. [17] Daha sonrasında ise çok daha gelişerek özellikle son 30 yılda iç mekan içerisindfeki diğer enstrümanlarla da iletişim kurabilir hale geldiler. Ağır sanayi, perakende, inşaat, lojistik, otomotiv gibi birbirinden farklı alanlarda kullanılmaktadırlar. [18] Belirli bir konfigürasyonu olmamakla birlikte, kullanıcılar operasyonlarının içeriğimne göre bu araçları farklı şekilde konfigüre edebilmektedirler. Bazı AGV'ler yalnızca yük taşıyabilirken, bazı AGV'ler ise yük taşırken, üzerindeki konveyör bant sayesinde yük boşaltma işlemini gerçekleştirebilmektedir. [19] Bu tamamen operasyonun içeriğine bağlı olarak değişmektedir. Özellikle iç mekan depo uygulamalarında insan gücünüm minimuma indirip, kullanıcılara taşıma operasyonlarında performans artışı yaşatmaları AGV'lerin en belirgin özelliklerinden biri ve tercih sebeplerinin başında gelmektedir. Çeşitli senaryolarda çalışabilmektedirler. Bazıları insansız bölgelerde çalışabilme yetisine sahipken, bazı örneklerde insana beraber çalışma kabiliyetine sahip, yüksek teknolojili sensör donatıları olan AGV çeşitleri de geliştirilmiştir. Özellikle 2010'lu yıllardan itibaren Yapay Zeka teknolojilerinin de işin içine girmesiyle birlikte çok farklı amaçlara hizmet edebilen araçlar tasarlanmış ve tasarlanmaya da devam edilmektedir. [20] Bu çalışmada RFID teknolojisi kullanılarak lokalizasyon yapan bir sistemin 1:5 ölçekli simülasyonu yapılmıştır. Operasyonel olarak bir test alanı belirlenmiş ve bu alanda rota hesaplamaları, yönetim paneli gerçek zamanlı sistemlerle birlikte gerçekleştirilmiştir. Aşağıda Şekil 2.1'de bazı otonom yönlendirmeli araç çeşitleri görülmektedir.



Şekil 2.1. Otonom Yönlendirmeli Araç Çeşitleri [21]

2.3 Otonom Yönlendirmeli Araç Bileşenleri

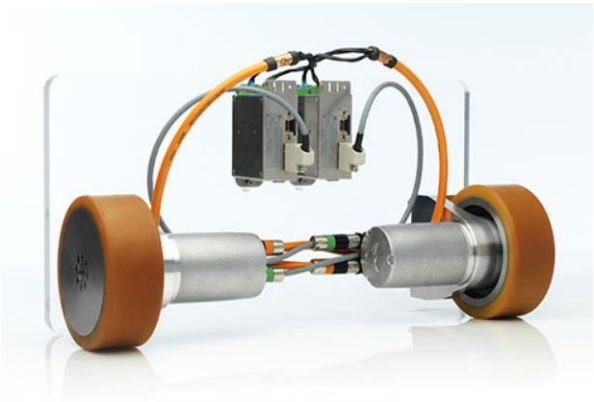
Otonom Yönlendirmeli Araçlar kullanım amacına bağlı olarak farklı bileşenler içerebilir ama bu çalışmadaki araç tanımına baktığımız zaman genel olarak benzer bileşenlere sahip olduklarını görebiliriz. Bu araçlar iç mekanda çalıştıklarından bileşen seçimi yapılırken çok farklı parametreler göz önünde bulundurulur. Olmazsa olmaz olarak devinimi sağlayan elektrik motorlarına sahiptirler. [22] Bu motorların yerleşimi araçların sürüş tipini belirler. Bazı araçlarda bu elektrik motorları tekerlekli motorlar iken (HUB Motor), bazı araçlarda dişli, kutusu içeren tasarımlara gidilmiştir. [23] Bununla birlikte bütün sistemi besleyecek güç grubu olarak nitelendirebileceğimiz batarya/akü bu araçlarda yer almaktadır. Tüm bu sistemi taşıyacak mekanik şasi yine araçlarda yer almaktadır. Aracın diğer bütün sistemlerle olan bağlantısını sağlayacak bir elektronik kontrol ünitesi ile beraber aracın lokalizasyon ve navigasyon işlemlerini yapacak olan algılayıcı sensör seti yine bu araçlarda bulunmaktadır. [24] Şekil 2.2'de Otonom Yönlendirmeli Araçlarda sıklıkla bulunan bileşenler gösterilmektedir.



Şekil 2.2. Otonom Yönlendirmeli Araç Bileşenleri

2.3.1 Otonom Yönlendirmeli Araçlar İçin Elektrik Motorları

Otonom Yönlendirmeli Araçlarda hareketi sağlayan elektrik motorlarıdır. Bu elektrik motorlarının seçim parametreleri oldukça geniştir. [25] Kullanıcılar geniş bakım aralıklarına sahip, sağlam, ekonomik bakımı ve kurulumu kolay elektrik motorlarına ihtiyaç duymaktadırlar. Bu noktada herhangi bir çözümün doğru olduğunun garantisi bulunmamaktadır. Elektrik Motoru seçerken en belirgin parametre yük (m) olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu tarz araçlarda toplam yük aracın hem kendi ağırlığını hem de taşıdığı malzemenin ağırlığının toplamı kadardır. [26] Motorların olduğu tekerleklerin yanı sıra araç ayrıca pasif tekerlekler (rulet) de bulundurur. [27] Aracın yük dağılımı, pasif tekerler ve aktif tekerleklerin (motorların) pozisyonlamasına göre değişmektedir. Şekil 2.3' de Otonom Yönlendirmeli Araçlarda kullanılan bir motor çifti görülmektedir.



Şekil 2.3. AGV'lerde Diferansiyel Sürüşte Kullanılan Elektrik Motorları [28]

Motor seçiminin bir diğer parametresi ise dönüş çapı ($R_{turning}$) olarak karşımıza çıkmaktadır.

Bunun araç tasarımıyla direkt olarak ilgisi vardır. Diğer bir husus ise maksimum motor torku (T_{max}), ortalama tork ($T_{average}$) ve tutma torku ($T_{holding}$) değerleridir. Aracın tam yüklü bir senaryoda ve yüzey sürtünmesinin olası şartlarda en yüksek olduğu durumda işleme katılarak, en kötü senaryonun kurgulanmasıyla düşünülür. [29] Ortalama tork ise aracın operasyonel olarak hareket ettirilmesini sağlayacak azami motor torkudur. Tutma torku ise aracın durdurabilecek olan motor torkudur. Aynı zamanda hareketsiz tutma özelliğini de sağlar. Fakat bazı güç kesintisi durumlarında bunun yanında araçlar mekanik frene ihtiyaç duyarlar. [30] Fakat AGV'lerde batarya yönetim sistemleri (BMS) olduğu için çoğunlukla bu kullanılmaz. Bir diğer parametre ise sistemin güç kaynağı özellikleridir. Sistemin gerilim aralıkları, güç tüketimi göz önüne alınmaktadır. Aşağıdaki Tablo 2.1'de motor tipleri, avantaj ve dezavantajları, en iyi kullanım alanları gibi özellikler verilmiştir.

Tablo 2.1. AGV'lerde Kullanılan Elektrik Motor Tipleri ve Özellikleri [31]

Motor Tipi	Avatajları	Dezavantajları	Kullanım Alanı
Fırçasız DC ve AC Senkron Motor	Yüksek Verim Yüksek Güç Fırçasız	Yüksek Fiyat Komütasyon	Uzun Süre Kesintisiz Kullanım Gerektiren Alanlar ve Yük/Verim Kritik Uygulamalar
Fırçalı Motorlar	Yüksek Güç Düşük Fiyat Kolay Motor Kontrolü	Fırçalı Bakım Maliyeti	Düşük Maliyetli DC-Powered Sistemler ve Uzun Süre Kesintisiz Kullanım Gerektirmeyen Alanlar
AC İndüksiyon Motorları	Düşük Fiyat Daha Az Ek Komponent	Daha Az Güç Yoğunluğu ve Verim	Yük ve Verim Kritik Olmayan Uygulamalar Uzun Süre Kesintisiz Kullanım Gerektiren Alanlar

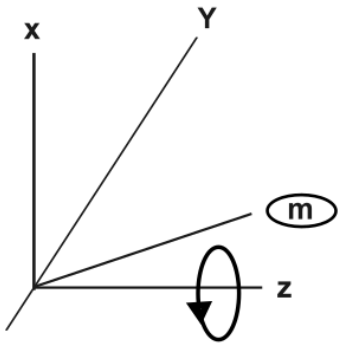
Step Motorlar	Hassas Kontrol	Daha Az Verim Yüksek Güç Tüketimi Fiyat	Ağır Yük Kritik Olmayan Özel Sistemler ve Hassas Kontrol Grektiren Sistemler

Motor tiplerinden farklı olarak çekiş tipleri de motor seçiminde önemli bir konu olarak karşımıza çıkmaktadır. Burada bazı motorlar tekerlek ile birlikte paket halinde iken, bazıları rötordan uzak, bir dişli veya kasnak mekanizmasıyla çekiş sağlamaktadır. Kullanılacak Otonom Yönlendirmeli Aracın tasarımsal sınırları, taşınacak yükün ağırlığı bu seçimde doğrudan etkilidir. Seçilen motor tipine ek olarak bazı çekiş sistemleri ek olarak tork sağlayabilirler. Her iki durum da hesaba katılarak uygun motor ve çekiş tipi seçilebilir. Aşağıda Tablo 2.2'de bu çekiş tipleri ve özellikleri verilmiştir.

Tablo 2.2. AGV'lerde Kullanılan Elektrik Motoru Çekiş Tipleri ve Özellikleri [32]

Motor Çekiş Tipi	Avatajları	Dezavantajları	Kullanım Alanı
Kayış ve Kasnak	Düşük Fiyat	Yüksek Bakım Maliyeti Kayış İçin Kullanım Ömrü Yüksek Hacim	Maliyet Kritik Projeler Hafif Yük Taşıma İsteyen Projeler
Zincir ve Dişli	Kayış Kasnak Mekanizmasından Daha Sağlam Yüksek Güç Transfer Oranı	Yüksek Fiyat Yüksek Bakım Maliyeti	Büyük ve Ağır Güç Gerektiren Sistemler
AC İndüksiyon Motorları	Düşük Fiyat Daha Az Ek Komponent	Daha Az Güç Yoğunluğu ve Verim	Yük ve Verim Kritik Olmayan Uygulamalar Uzun Süre Kesintisiz Kullanım Gerektiren Alanlar
HUB (Planetery)	Yüksek Verim Uzun Ömür Düşük Bakım Maliyeti Mekanik Avantaj	Yüksek Fiyat	Dar Alanda Çalışacak Yüksek Ağırlıklı Sistemler

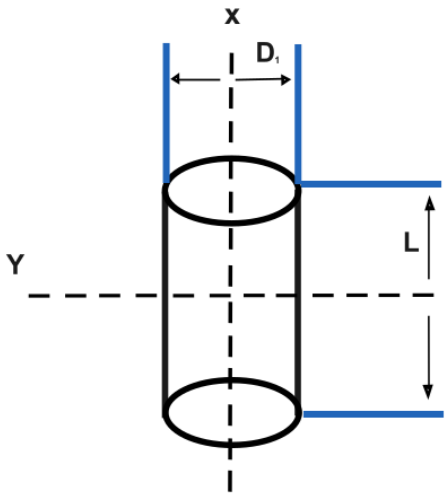
Bunlar dışında teknik hesaplamalar da önemlidir. Bunlar hız, atalet ve tork'tan oluşur. Atalet momenti bir nesnenin dönmeye karşı direncinin ölçüsüdür. Aşağıda ataletin temel denklemine ait formüller ve silindirik cisimlerin atalet formülleri verilmiştir. Aynı zamanda Şekil 2.4'te dönme eksenlerine göre atalet momenti gösterimi verilmiştir. Şekil 2.5 ve 2.6'da ise sırasıyla silindirik ve içi boş silindirik cisimlere ait atalet momenti eksenleri gösterilmişitr.



Şekil 2.4. Dönme Ekseni Atalet Momenti Gösterimi [33]

$$J = \iiint \rho(x,y,z)(x^2+y^2)dxdydz \qquad (2.1)$$

$$J = m.L^2 \qquad (2.2)$$

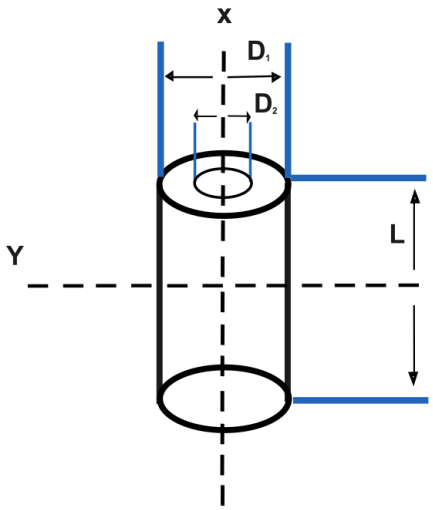


Şekil 2.5. Silindirik Cisimler İçin Atalet Momenti Eksenleri [34]

$$J_X = \frac{1}{8} m D_1^2 = \frac{\pi}{32} \rho L D_1^4 \qquad (2.3)$$

$$J_y = \frac{1}{4} m \left(\frac{D_1^2}{4} + \frac{L^2}{3}\right) \qquad (2.4)$$

Yukarıdaki formüllerde (2.3 ve 2.4) belirtilen değerlerden J_x , x ekseni boyunca atalet, J_y , y ekseni boyunca atalet, m silindirin kütlesi, D_1 silindirin çapı, p silindirin yoğunluğu ve L ise silindirin boyudur.

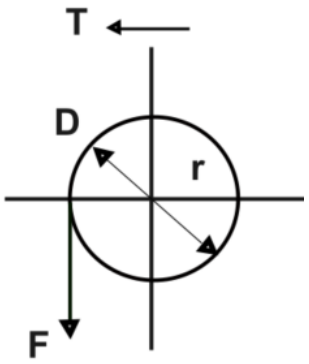


Şekil 2.6. Silindirik ve İçi Boş Cisimler İçin Atalet Momenti Eksenleri [35]

$$J_X = \frac{1}{8} m (D_1^2 - D_2^2) = \frac{\pi}{32} \rho L (D_1^2 - D_2^4) \qquad (2.5)$$

$$J_y = \frac{1}{4} m \left(\frac{D_1^2 - D_2^2}{4} + \frac{L^2}{3}\right) \qquad (2.6)$$

Formülde verilen D_2 silindirin içindeki deliğin çapıdır. Atalet dışında bir diğer parametre de torktur. Tork, kuvvet ile dönme merkezi arasındaki mesafeden türetilen bir değerdir. (Şekil 2.7) Aşağıdaki formülde (2.7) dönel cisimlere ait tork hesaplaması verilmiştir.

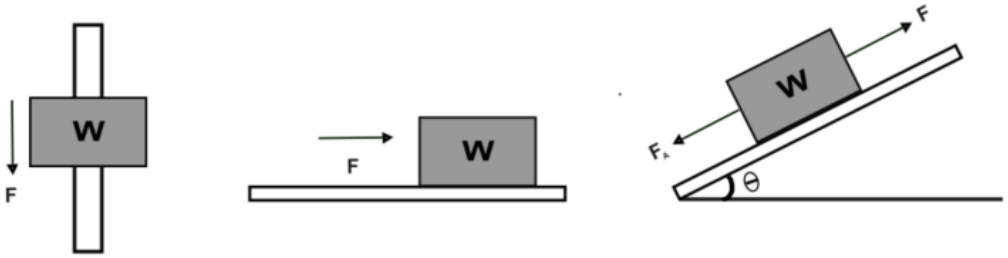


Şekil 2.7. Tork Diyagramı [36]

$$T = Fr = \frac{FD}{2} \qquad (2.7)$$

$$T_L = \frac{F_B D}{2} \qquad (2.8)$$

Motor seçimi hesaplaması yaparken 3 tür kuvveti bilmek önemlidir. Dikey, açısal ve yatay kuvvetler. (Şekil 2.8) Bu kuvvetlere ait formüller aşağıda verilmiştir. [34]



Şekil 2.8. Dikey, Yatay ve Açısal Kuvvetlerin Gösterimi [37]

$$F = W = m.g \qquad (2.9)$$

$$F = \mu.W \qquad (2.10)$$

$$F = F_A + m.g.(sina + \mu.cosa) \qquad (2.11)$$

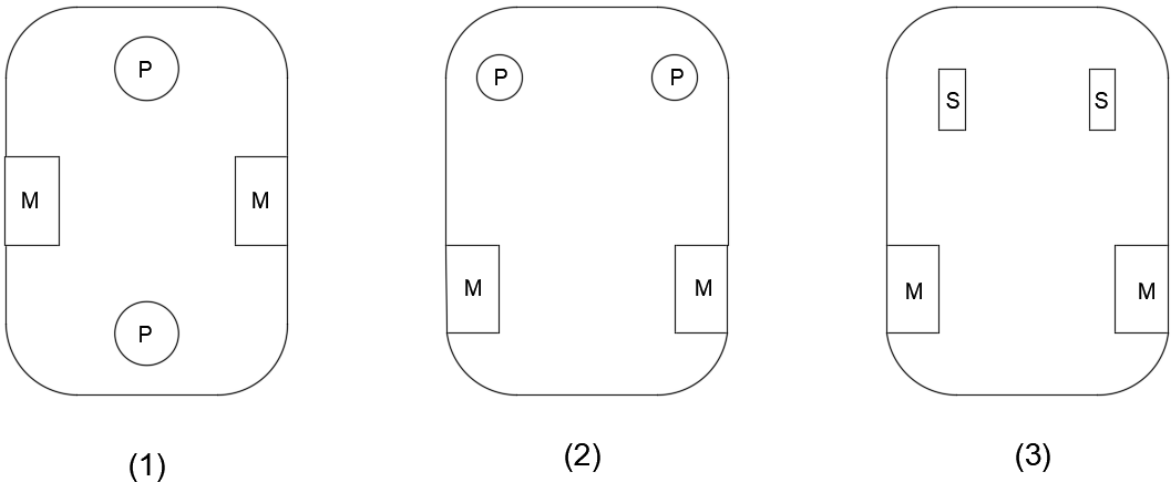
Yukarıda verilen 3 ayrı formülde (2.9, 2.10 ve 2.11) kullanılan ifadeler sırasıyla dikey, yatay ve açısal yüzeylerde geçerlidir. Bu ifadelerde F kuvvet, μ yüzeyin sürtünme katsayısı, g yerçekimi, m yükün kütlesi ve F_A dış kuvvettir. Bu seçimler için önemli olan diğer bir faktör de ivmelenme torkudur. Aşağıdaki formülde (2.12) gösterilmiştir. Formülde verilen

T_a ivmelenme torku, A ivme, J ise atalettir. Bir diğer önemli parametre de hızdır. Özellikle step ve servo motorlar için hızlanma süresinin hesaba katılması şarttır. [35]

$$T_a = J.A \qquad (2.12)$$

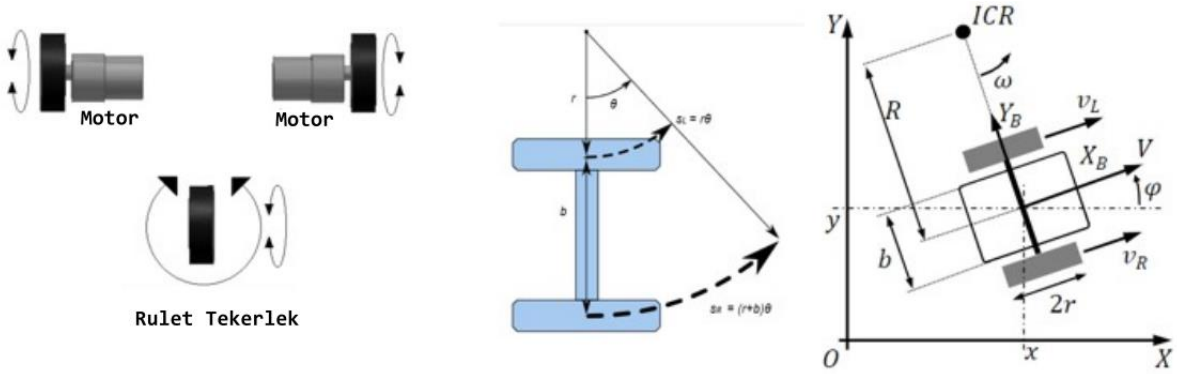
$$Speed = \frac{Distance}{Time} \qquad (2.13)$$

Elektrik Motorlarının seçimi kadar araca yerleşimi de önemli bir konudur. Genelde araçlar yada 2 çeşit yerleşim mevcuttur. Bunlardan birisi diferansiyel sürüş olarak geçen ve motorların aktif tekerlek olarak isimlendirildiği diğer enerjisi olmayan tekerlerin pasif tekerlek olarak nitelendirildiği senaryodur. Aşağıdaki şekilde diferansiyel ve direksiyon kullanılan 2 ayrı sürüş çeşidine ait görseller verilmiştir. Otonom yönlendirmeli araçlarda genelde kullanılan diferansiyel tekerlekli sürüş çeşididir. Bu sürüş tipinde aracın göbeğinden tekerlerin karşılıklı olarak birbirine baktığı bir yerleşim mevcuttur. Herhangi bir direksiyon hareketine gerek yoktur. Aracın ileri yönde hareket etmesi için motorların yönü aynı olacak şekilde sürüş yapılır. Eğer aracın sola gitmesi isteniyorsa soldaki tekerlekli motor ters yönde ya da durarak, sağdaki motor ise İleri yönde hareket yapacak şekilde sürülür. Eğer aracın sağa gitmesi gerekiyorsa bunun tam tersi yapılır. Eğer aracın kendi ekseni etrafında dümenleme hareketi yapması gerekiyorsa, motorlar birbirine ters yönde sürülür. Bu şekilde hareketler tamamlanır. Herhangi ek bir direksiyon bağlantısına gerek olmaması otonom yönlendirmeli araçlarda bu sürüş çeşidinin sıklıkla kullanılmasını sağlamıştır.



Şekil 2.9. AGV'lerde Diferansiyel Sürüş (1,2) ve Direksiyon (Steering) Takviyeli Sürüş (3)

Yukarıda verilen Şekil 2.9'da bir numaralı görselde tahriği sağlayan 2 adet motor karşılıklı olarak birbirine bakacak şekilde aracın ortasına yerleştirilmiştir, ön ve arka bölümde 2 adet sarhoş tekerlek pasif tekerlek amacıyla yerleştirilmiştir. 2 numaralı görselde 2 adet motor karşılıklı olarak birbirine bakacak şekilde aracın arkasına yerleştirilmiştir. Ön bölümde bulunan 2 adet sarhoş tekerlek pasif tekerlek amacıyla yerleştirilmiştir. 3 numaralı görselde motorlar arka bölümde kullanılmış olup, ön bölümde 2 adet direksiyon etkili tekerlek bulunmaktadır. Otonom yönlendirmeli araçlarda genel olarak bir ve 2 numaralı görseldeki yaklaşım kullanılmaktadır.



Şekil 2.10. Diferansiyel Tekerlekli AGV'nin Motor Yerleşimi ve Dönüş Açıları [38]

Şekil 2.10'da diferansiyel tahrikli elektrik motoru yaklaşımını uygulayan Otonom Yönlendirmeli Aracın kinematiği gösterilmiştir. Burada X ve Y koordinat sistemleridir. Burada θ ile verilen ifade aracın yönelim açısıdır. X_B ve Y_B aracın yerel koordinat sistemidir ve aracın yönelimi hesaba katılarak elde edilir. İki tekerlek karşılıklı olarak birbirine bakacak

şekilde yerleştirilmiştir ve aradaki mesafe b ile ifade edilir. Görselde ICR ile tanımlanan aracın anlık dönme merkezidir. Sağ ve sol tekerleğin anlık dönme hızları v_R ve v_L, aracın açısal olarak dönmesine ω neden olur.

$$\omega \,.\left(R + \frac{b}{2}\right) = v_R \qquad (2.14)$$

$$\omega \,.\left(R - \frac{b}{2}\right) = v_L \qquad (2.15)$$

$$V = \omega \,.R = \frac{v_R + v_L}{2} \qquad (2.16)$$

$$v_R = r \,.\omega_R \qquad (2.17)$$

$$v_L = r \,.\omega_L \qquad (2.18)$$

$$\begin{bmatrix}\dot{x}_B \\ \dot{y}_B \\ \dot{\theta}\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}v \,.x_B \\ v \,.y_B \\ \omega\end{bmatrix} \overset{v=r.\omega}{=\!=\!=} \begin{bmatrix}\frac{r}{2} & \frac{r}{2} \\ 0 & 0 \\ \frac{-r}{b} & \frac{r}{b}\end{bmatrix}\begin{bmatrix}\omega_L \\ \omega_R\end{bmatrix} \qquad (2.19)$$

$$\begin{bmatrix}\dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{\theta}\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}cos\theta & 0 \\ sin\theta & 0 \\ 0 & 1\end{bmatrix}\begin{bmatrix}V \\ \omega\end{bmatrix} \qquad (2.20)$$

$$\omega \,.\left(R + \frac{b}{2}\right) = v_R \qquad (2.21)$$

$$\omega_R = \frac{V + \omega \,.\, b/2}{r} \qquad (2.22)$$

$$\omega_L = \frac{V - \omega \,.b/2}{r} \qquad (2.23)$$

Otonom Yönlendirmeli Aracın hızı V ile gösterilmiştir. Yukarıdaki formülden (2.16) elde edilmektedir. İki motora ait teğetsel hızlar ise yine yukarıdaki formülden (2.17, 2.18) elde edilebilir. Otonom yönlendirmeli araca ait kinematik model yukarıdaki şekilde (2.19, 2.20) elde edilebilir. Sağ ve sol tekerleğe ait açısal hızlar ise yukarıdaki formüllerden (2.22, 2.23) elde edilir.

2.3.2 Otonom Yönlendirmeli Araçlar İçin Güç Grubu

Otonom yönlendirmeli araçlarda çoğunlukla sistemi beslemesi için akü ya da lityum

bataryalardan oluşan güç grubu kullanılmaktadır. Güç grubunun seçimi yapılırken motorun nominal çalışma voltajı, otonom yönlendirmeli araç operasyon süresi, şarj olma süresi ve diğer sistemler için gerekli olan besleme voltajı etkilidir. Otonom yönlendirmeli araçlarda genel olarak lityum batarya hücrelerinden oluşan güç grubu kullanılmaktadır. [39] Kullanılan bu bataryanın bir batarya yönetim sistemi (BMS) bulunmaktadır. Bu batarya yönetim sistemi aracın şarj durumunu denetler. Operasyonel olarak akım ölçümü yapar. Hücrelerdeki pillerin balansını yapar. Herhangi bir güç azalması ya da voltaj düşümü durumuna karşı sistemi uyarır. Araçta en yüksek gücü tüketen motorların yanı sıra ana kontrolcüyü ve diğer tüm elektronik komponentleri besler. Aşağıda örnek olarak Otonom yönlendirmeli araçlarda kullanılan bir bataryanın sırasıyla (2.24, 2.25, 2.26) kullanım süresi, pilin kapasitesi ve gücüne yönelik formüller verilmiştir. Buradan elde edilen değerlere göre sistemin ihtiyacı olan batarya seçimi yapılabilir.

$$SoC = \frac{C_A}{I}\ x\ 0{,}707 \quad (2.24)$$

$$C_A = I_{battery}\ x\ Time \quad (2.25)$$

$$C_W = C_A\ x\ V \quad (2.26)$$

2.3.3 Otonom Yönlendirmeli Araçlar İçin Mekanik Şasi

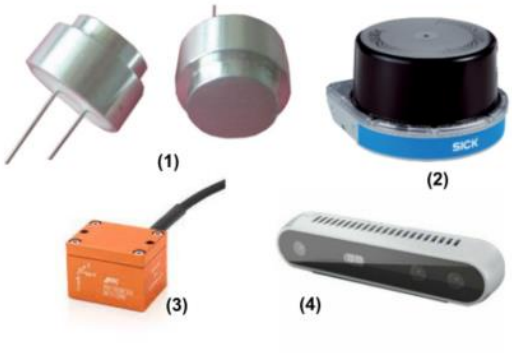
Otonom yönlendirmeyle araçlarda kullanılan bütün elektronik elemanları motorları örtecek ve üstünde taşıma kabiliyetini gerçekleştirmeye el verecek bir mekanik platform bulunmaktadır. Bunu mekanik şasi olarak adlandırmaktayız. Otonom yönlendirmeli araçlarda genellikle sac levhadan üretilen ya da alüminyum işleme yoluyla üretilen şasiler kullanılmaktadır. Araştır tasarımı yapılırken kullanılan şasinin hafif olması ve gerekli miktarda yükü taşıyabilmesi önemlidir. Bazı otonom yönlendirmeleri araçlarda şasi dikdörtgen formunda iken, bazı otonomi yönlendirmeli araçlarda dairesel hareketi ya da diğer adıyla kendi ekseni etrafında dönme hareketini daha rahat yapabilmesi için daire formunda tasarımlar göz önüne çıkmıştır. Burada kullanıcının amacına göre şasi tasarımı yapılabilir.

2.3.4 Otonom Yönlendirmeli Araçlarda Lokalizasyon ve Navigasyon İçin Kullanılan Sensör Tipleri

Otonom yönlendirmeli araçları operasyon alanı içerisinde tam otonom şekilde sürmek için gerekli sensörler kullanılmaktadır. Bu sensörler çok çeşitli olup farklı amaçlarla kullanılmaktadırlar. Sensör seçimi yapılırken kullanıcının operasyon alanında neyi amaçladığı çok önemlidir. Gereksiz bir şekilde sensör kullanmak ürün tasarımında maliyet arttırıcı faktörlerden biridir. Otonom yönlendirmeli araç tasarımı yapılırken kullanılan sensörlerden maksimum verim almak önemli bir noktadır. Bu bölümde sırasıyla işlenecek sensörler şu şekildedir:

-Ultrasonik Sensörler,
-Lazer Sensörler,
-Lidar,
-UWB Sensörler,
-Kamera,
-Jiroskop ve İvmeölçer,

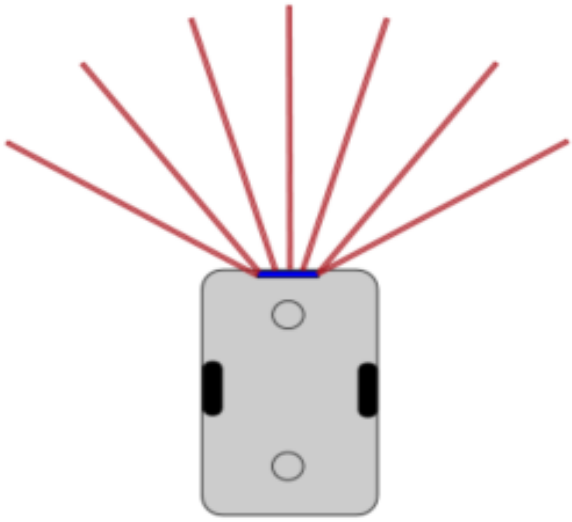
Bu bölümde ilk olarak ultrasonik sensörlerden bahsedeceğiz. Ultrasonik sensörler kullanım amacı itibariyle herhangi bir engel tespiti için kullanılmaktadırlar. [40] Ultrasonik sensörler yapısı itibariyle bir alıcı ve vericiden oluşur. Etrafına bir ses dalgası yayarlar ve bu ses engele çarpıp ultrasonik sensörün alıcısına geri döner. Ultrasonik sensörler bir mikro denetleyici ile beraber kullanılırlar. Bu sensörler engelden geri dönen sesin ne kadar sürede geri döndüğünü ve hızını hesaplayıp engel ile olan mesafe hakkında yüksek doğruluklu bilgi verirler. Engel algılama amacıyla çoğu otonom yönlendirmeleri araçta kullanılmaktadırlar. Otomotiv alanında ise yine aynı amaçla park sensörü olarak kullanılmaktadırlar. Otonom yönlendirmeli araçlarda özellikle insan ile beraber çalışılan operasyonlarda sıklıkla tercih edilirler. Otonom Yönlendirmeli Araçlarda sıklıkla tercih edilen sensörlere ait görseller Şekil 2.11'de gösterilmiştir.



Şekil 2.11. AGV'lerde Kullanılan Sensörler, Sırasıyla Ultrasonik, LIDAR, IMU ve Kamera [41]

Lazer mesafe ölçüm sensörleri karşısındaki nesneyle olan mesafeyi yüksek doğrulukla hesaplayabilen sistemlerdir. Otonom yönlendirmeli araçlarda ve endüstriyel otomasyon sektöründe sıklıkla kullanılmaktadırlar. Algılama ölçüm ve konumlandırma için bir alternatiftir. Nanometre kadar hassas ölçüm yapabilirler. Yüksek ışık yoğunluğuna sahiptir. Lazer ölçümünde ışık bir ortam olarak kullanıldığı için çok hızlı ölçüm yapılabilir. Lazerden çıkan ışık demeti bir objeye çarpar ve geri döner lazer sensörler lazer ışınının hedefe gidip geri döndüğü süreyi ölçer buradan mesafeyi elde eder. [42]

LIDAR'da (Laser Imaging Detection and Ranging) lazer mesafe ölçüm sensörleriyle aynı yaklaşımı kullanır. Lazer ışınları göndererek engelden yansıyan düşünün dönüş süresini hesaplayarak ölçümler yapar. Bu sistem çoklu lazer ışınları gönderir ve belli bir çalışma frekansı vardır. Lidar bunu yaparken bir motor kullanır. [43] Yaptığı ölçümleri nokta bulutu olarak 3 boyutlu bir şekilde özetler. Bu işlemi saniyede binlerce kez tekrarlayarak ortamın 3 boyutlu haritasını çıkartabilir bu 3 boyutlu harita otonom sürüş için kullanışlı veriler içerir. Lidar, güvenlik, haritalama, otomotiv, emlak, inşaat ve mimari alanlarda kullanılabilir. Otonom yönlendirmeli araçlarda genellikle çalışılan ortamın 3 boyutlu haritasını elde etmek amacıyla kullanılmaktadırlar. [44] Ve bu araçların çok yüksek bir kısmında bu sensör kullanılmaktadır. Anlık ölçümler ve yüksek miktarda veri üretir. Yaklaşık olarak bir milimetreye kadar doğru ölçüm alabilir. Ortamdaki ışık değerlerinden etkilenmez ve karanlık ortamlarda da haritalama işlemi yapabilir. Şekil 2.12'de Otonom Yönlendirmeli örnek bir araçta lidar yerleşimi ve lidar görüş alanı verilmiştir.

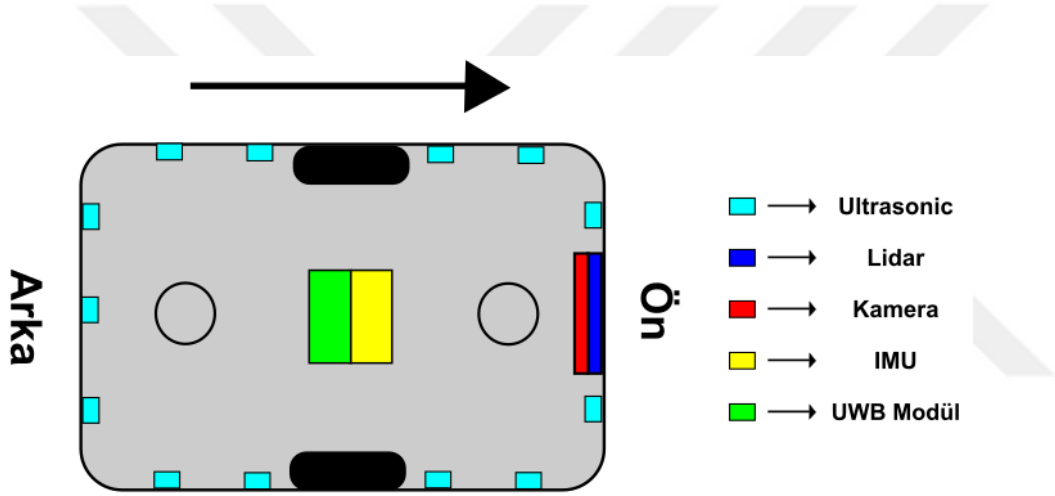


Şekil 2.12. AGV'lerde Kullanılan Örnek Bir Lidar ve Görüş Açıları

UWB Sensörler, 2 cihaz arasındaki mesafeyi ölçer. Diğer ölçüm sistemlerinde olduğu gibi burada da gidiş dönüş süresini hesaplayarak bulur. Gerçek zamanlı konum sistemleri için kullanılmaktadır. Buna bir örnek verecek olursak fabrika içerisinde operasyon sağlayan otonom yönlendirmeli araçların fabrika içerisinde hangi konumda olduğu bu sensörler ile bulunabilir. Bunun için iç mekanda alıcı ve vericiler yerleştirilir. Araçta da bu modül bulunur. Bu sayede tıpkı GPS gibi aracım fabrika içerisinde bulunduğu konum yüksek doğruluk oranıyla 10 cm sapmayla elde edilebilir. Aynı zamanda personel takibi için de kullanılabilir. [45]

Özellikle yapay zeka alanındaki gelişmelerle beraber farklı görüntü işleme yaklaşımlarının ortaya çıkmasıyla kameraların otonom yönlendirmeli araçların bir gözü olduğunu söyleyebiliriz. Aracın navigasyon ve lokalizasyon işlemlerini kamera ile yapmak mümkündür. Aracın ön bölümüne yerleştirilen bir kamera sayesinde derin öğrenme yaklaşımı ve yapay sinir ağları kullanılarak veriler elde etmek mümkündür. Araç kamera sayesinde otonom yönlendirmeli aracın operasyon alanında çekilen bir şerit çizgi vasıtasıyla sürüş yapabilir. Kameradan alınan veriler bu şeridi takip eder. [46] Aynı zamanda yine derin öğrenme sayesinde engel algılama yapılabilir. Özellikle personel ile iç içe çalışılan ortamlarda güvenlik açısından kamera kullanmak işleri kolaylaştırmaktadır. Kameranın bir diğer kullanım amacı ise otonom yönlendirmeli aracın operasyon sırasında kayıt almasıdır.

Otonom yönlendirmeli araçların olmazsa olmaz elektronik elemanlarından biri de jiroskop ve ivme ölçer sensörlerin bir arada olduğu modüllerdir. Bu modüller hemen hemen her otonom yönlendirmeli araçta kullanılmaktadırlar. İçerisinde bulunan jiroskop sayesinde otonom yönlendirmeli araçlar dönüş hareketlerini yüksek doğruluk oranıyla elde etmektedirler. Aracın ileri yönde hareket açısı ve anlık olarak dönüş açılarının elde edilmesi jiroskop modül sayesinde kolaylıkla yapılabilir. İvme ölçer sensörler ise adından da anlaşılacağı gibi aracın hareket halindeyken hızlanma ve yavaşlama hareketlerini anlık olarak ölçebilir. Hatta algoritma da motor sürme esnasında direkt olarak araç hız yerine ivme ile sürülebilir. Motor kontrol algoritmaları açısından bu da alternatif bir çözüm sunmaktadır. [47] Şekil 2.13'te Otonom Yönlendirmeli Araçlarda kullanılan sensörlerin araç üzerindeki yerleşimleri verilmişrir.

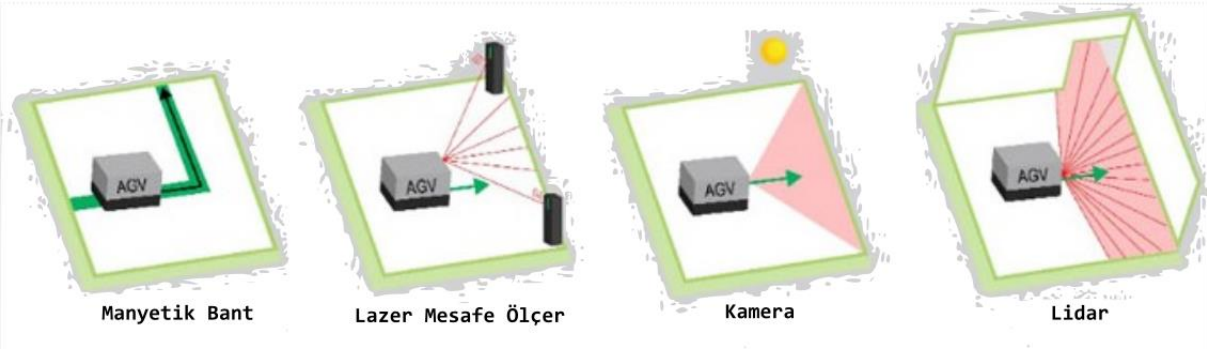


Şekil 2.13. Lokalizasyon ve Navigasyon için Kullanılan Sensörlerin Pozisyonları

2.4 Otonom Yönlendirmeli Araç Navigasyon ve Lokalizasyon Çeşitleri

Otonom yönlendirmeli araçların belli bir tipi yoktur. Kullanıcının istekleri ve çalışılan ortamın gerektirdikleri göz önüne alınarak otonom yönlendirmeli araç tercihi yapılabilir. Örneğin navigasyon olarak çok farklı yöntemler kullanılmaktadır. Örnek olarak iç mekan içerisinde kablolu olarak bir sürüş mümkündür. Burada kablo otonom yönlendirmeli araca bağlı değildir. Aracın hareket edeceği yol üzerinde yerleştirilmiş olan teller sayesinde ve araçta bulunan alıcı sayesinde araç yoldan çıkmadan gidebilir. Burada aracın sürekli olarak kendini yola oturttuğu bir algoritma söz konusudur. İkinci alternatif olarak kılavuz bant yöntemi kullanılabilir. Bu bantlar manyetik bant ya da renkli bant olabilir. Otonom yönlendirmeli aracın bu bant çeşidine göre uygun sensörle donatılarak belirlenen yola oturması sağlanır. Bant yaklaşımı kablolu yaklaşıma nazaran hem kurulum hem de daha

sonradan rota değişimi için daha avantajlıdır. İstenilen şekilde yollar değiştirilebilir. Konfigüre edilebilir. Güncellenebilir. Diğer bir alternatif otonom yönlendirmeli araç yaklaşımlarından biri ise lazer sistemidir. Burada navigasyon lazer sensin'in gördüğü duvarlara ve sabit noktalara yansıtıcı bantların yerleştirilmesiyle sağlanır. Bu navigasyon sistemi otonom yönlendirmeli aracın mevcut konumunu elde etmesine olanak tanır ve motorlar otonom yönlendirmeli aracı yoldan çıkarmayacak şekilde bir sürüş sağlar. Ve bu sayede istenilen konuma gidilebilir. Bir diğer alternatif yaklaşım ise doğal navigasyon yaklaşımıdır. Burada lazer mesafe sensörü ya da diğer mesafe bulma sensörlerinin yanında ek olarak ivme ölçer jiroskop özelliğine sahip atalet ölçüm metodu kullanılarak hedefe giden en kısa yolu planlamak ve lokalizasyonu tespit etmek amacıyla kullanılır. Bu tür sistemlerin en büyük avantajı herhangi bir yere giderken operasyon alanı içerisinde oldukça başarılıdırlar. Burada bahsedilen navigasyon ve lokalizasyon çeşitleri kullanılarak otonom yönlendirmeli araçlara temel hedefleri olan çok vardiyalı operasyonlar, malzeme takibi, yüklerin düzenli teslimatı, yüklerim belirli bir süre içerisinde tekrarla hareketi gibi işlemler yaptırılabilir. Şekil 2.14'te Otonom Yönlendirmeli Araçlarda kullanılan lokalizasyon ve navigasyon çeşitlerine ait açıklayıcı görseller verilmiştir.



Şekil 2.14. AGV'lerde Kullanılan Bazı Lokalizasyon ve Navigasyon Çeşitleri [48]

3. RFID (RADYO FREKANSI İLE TANIMLAMA) TEKNOLOJİSİ

3.1 Giriş

Bu bölümde RFID yani diğer adıyla radyo frekansı tekniğiyle alakalı bilgiler verilmiştir. Bu tekniğin nerelerde ve ne şekilde kullanıldığına dair açıklamalar yapılmıştır. RFID Alıcı modül ve etiket arasındaki ilişki belirtilmiştir.

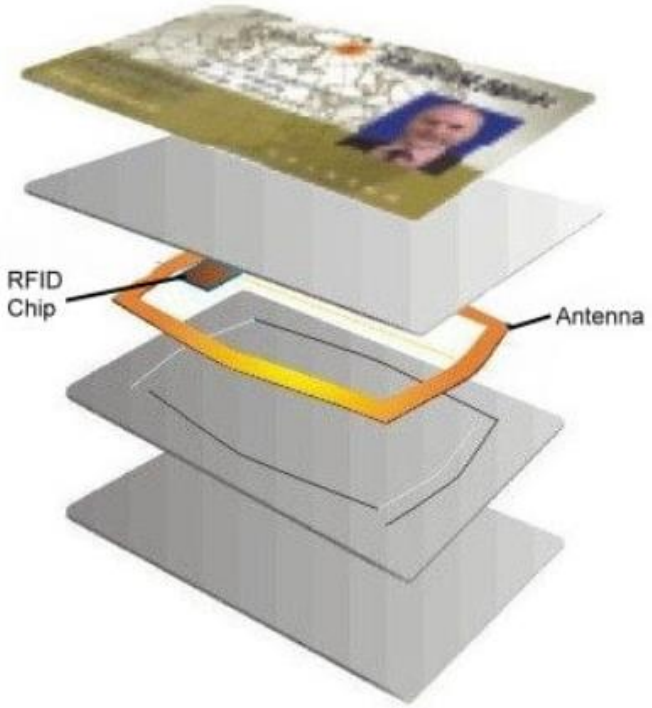
3.2 RFID Nedir?

Radyo frekans tanımlama yöntemi, radyo frekansı tekniğini kullanarak cisimleri ayırt etme ve tanıma yöntemidir. Genelde 2 elemandan oluşur. Bunlar etiket ve okuyucudur. Mikro denetleyiciler ile beraber kullanılırlar. [49] Nesneye ait bilgileri almak, saklamak, değiştirmek ve göndermek amacıyla kullanılabilirler. Hemen hemen her sektörde kendine yer bulur. Perakende sektöründe ürün ayrıştırma ve tanıma, fabrikalarda stok takibi, otonom yönlendirmeli araçlarda ise lokalizasyon ve navigasyona yardımcı olur. Burada radyo frekansı ile tanımlama teknolojisinin olmazsa olmaz elemanı olarak etiket bir silikon yonga, anten ve dış kaplamadan meydana gelir. RFID etiketinin anteni tasarlanırken algılama mesafesi ön plandadır. Silikon yonga yani mikro denetleyici ise etiketini yapıştığı cisme ait bilgileri tutar. Bu bilgiler her zaman içerik olmak zorunda değildir. Cisme ait bilgilerin yanı sıra, cismin diğer cisimlerden ayırt edilmesi için genelde benzersiz bir kod tutar. Anten ise radyo frekansı tekniğini kullanarak bu bilgileri ya da kodu okuyucuya iletir. Dış çeper ise bütün bu sistemi çevreleyecek bir kaplama oluşturur. Radyo frekansı etiketlerinin sıklıkla 3 çeşit olduğunu söyleyebiliriz. Bunlar pasif, aktif ya da yarı aktif olarak nitelendirilebilir. Bunlardan en çok kullanılan pasif radyo frekansı etikettir. Kendisine ait bir güç kaynağı bulundurmaz. Diğer çeşitlere nazaran daha ucuzdur. Bunlar beraber çalıştıkları okuyucunun gücüyle çalışırlar. Diğer aktif ve yarı aktif modellerde ise kendi içerisinde küçük bir güç kaynağı bulunur. Buna küçük boyutta bir pil diyebiliriz. Okuyucunun sinyalinden beslenmezler ve tükettikleri enerji çok düşüktür. Aktif ve yarı aktif etiketlerin maliyeti pasif etiketlere nazaran oldukça yüksektir. [50]

RFID etiketler çeşitli frekans aralıklarında kullanılabilmektedir. Bunlar düşük frekans yüksek frekans ultra yüksek frekans ve süper yüksek frekans olarak isimlendirilir. Sırasıyla çalışma frekansları şu şekildedir: 124-134 kHz (LF), 13.56 MHz (HF), 860-900 MHz (UHF), 2.45 – 5.8 GHz (SHF).

3.3 RFID Kullanım Alanları ve Otonom Yönlendirmeli Araçlarda RFID Teknolojisi

RFID teknolojisi çok geniş alanlarda kullanılmaktadır. Bir obje tanımlamak için yada objeyi diğer objelerden ayırt etmek için sıklıkla kullanılan bir yöntemdir. Okullarda kampüs kartları, perakende mağazalarda ürün stok takibi, trafikte araç tanımlaması ve geçiş kontrolü, bazı otomobil anahtarları, oda yada iş yeri giriş çıkış personel kartları bu teknolojiden yararlanan alanlardır. Şekil 3.1'de bu teknolojiyi kullanan bir kartın iç yapısı gösterilmiştir.

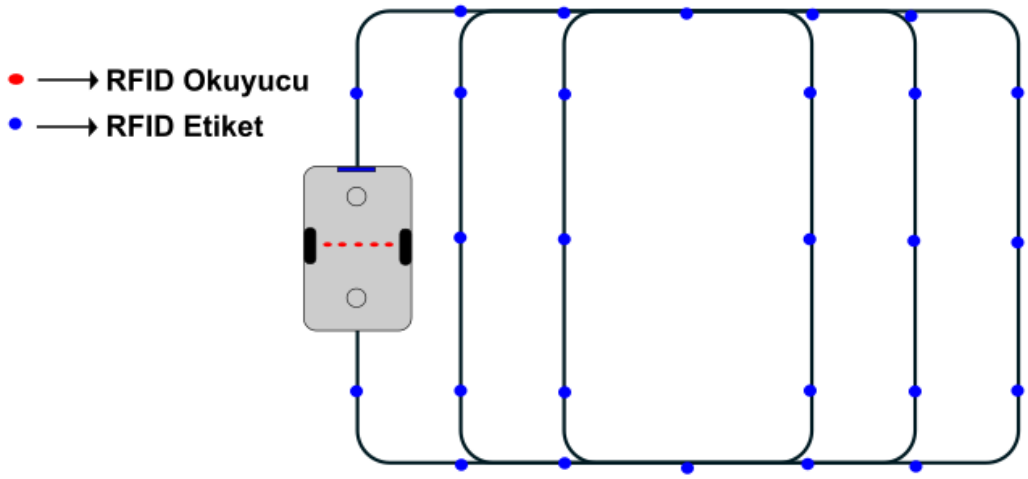


Şekil 3.1. RFID Personel Kartı ve İç Yapısı [51]

Gelişen teknolojiyle birlikte otonom yönlendirmeli araç sektörü de bu teknolojiyi kullanmıştır. Özellikle endüstriyel otomasyon sektöründe daha sık örnekleri görülmüştür. Bu sektörde ürün tanımanın yanı sıra lokalizasyon ve navigasyon gibi uygulamalar ile uygulama çeşitliliği türetilmiştir. İç mekan içerisinde çalışan otonom yönlendirmeli araçlar mekan içerisindeki pozisyonlarını bu teknolojiyle belirleyebilir ve yine bu teknoloji ile navigasyon işlemlerini gerçekleştirebilmektedir. Bunun için belirli lokasyonlara etiket koymak ve algoritmik olarak gereken işleri yapmak lokalizasyon ve navigasyon işlemi için yeterli olacaktır.

Bu tarz uygulamalara örnek verecek olursak, aracın rotası üzerindeki belirli noktalara aracın merkez noktasının geçeceği yol üzerine belirli aralıklarla etiketler yerleştirilir. Bu etiketler

tıpkı bir çizgi gibi bütün rota boyunca yerleşir. Araç üzerinde bulunan alıcı yardımıyla bu etiketler okunur. Ara küfürlerine bir çizgi boyunca birden fazla alıcı yerleştirerek, araç yoldan çıksa dahi belirli hareketlerle aracı yola oturtma işlemi gerçekleştirilir. Navigasyon işlemine örnek verecek olursak, belirlenen dönüş bölgelerinde gerekli yerlere etiket yerleştirilerek aracın farklı senaryolarda, gereken dönüşleri ya da ilerlemeleri yapmasına olanak sağlanır. Böylece çok daha uygun bir yöntemle büyük bir problemin üstesinden gelinmiş olur. Eğer bu teknoloji kullanılmasıydı, çok daha maliyetli olan lidar ve kamera gibi yüksek veri işleme ihtiyacı duyan sistemler kullanılmak zorunda olacaktı.



Şekil 3.2. RFID Tekniği ile Navigasyon ve Lokalizasyon Sağlayan Bir AGV Sistemi

Şekil 3.2'de verilen sistemde pasif etiket ve okuyucu kullanılarak navigasyon ve lokalizasyon işlemleri gerçekleştirilmektedir. Burada pasif etiketlerden otonom yönlendirmeli araç hangi lokasyonda olduğunu belirlemekte ve motorların odyometrisini kullanarak navigasyon işlemlerini gerçekleştirmektedir. Çoğu iç mekanda uygulanabilecek basit ve düşük maliyetli bir çözümdür. Radyo frekans teknolojisi otonom yönlendirmeli araçlarda bu şekilde de kullanılabilir. Burada çalışılacak alan sağlıklı bir odyometri verisi için ızgaralara bölünmüştür. Bu şekilde operasyon gerçekleştirilen sistemlerde sadece bu 2 komponent kullanılırsa en büyük dezavantaj, aracın serbest bir şekilde bir yol üzerinde olmadan gidememesidir. Personel ile birlikte çalışırken bu durum operasyonu zorlayabilir ve bu senaryoya göre personel eğitilmek durumundadır.

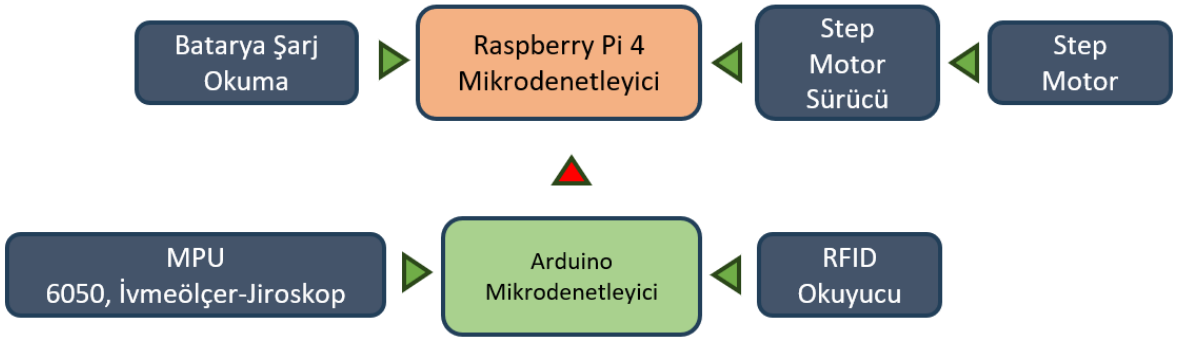
4. OTONOM YÖNLENDİRMELİ ARAÇLAR İÇİN RFID TABANLI LOKALİZASYON UYGULAMASI

4.1 Giriş

Tasarlanan otonom yönlendirmeli araçta eyleyici olarak step motor ve aracın lokalizasyon işlemlerini gerçekleştirmek amacıyla RFID alıcı ve etiket kullanılmıştır. Yaklaşıma uygun olarak araç tasarlanmış CAD ortamında tasarlanmış olup üzerinde çeşitli testler gerçekleştirilmiştir. Bunlar haricinde sistemin diğer bileşenleri de vardır. Bunlar jiroskop ve ivme ölçer sensör, batarya grubu, mikrodenetleyici, bilgisayar ve çalışma platformudur.

4.2 Sistem Bileşenleri

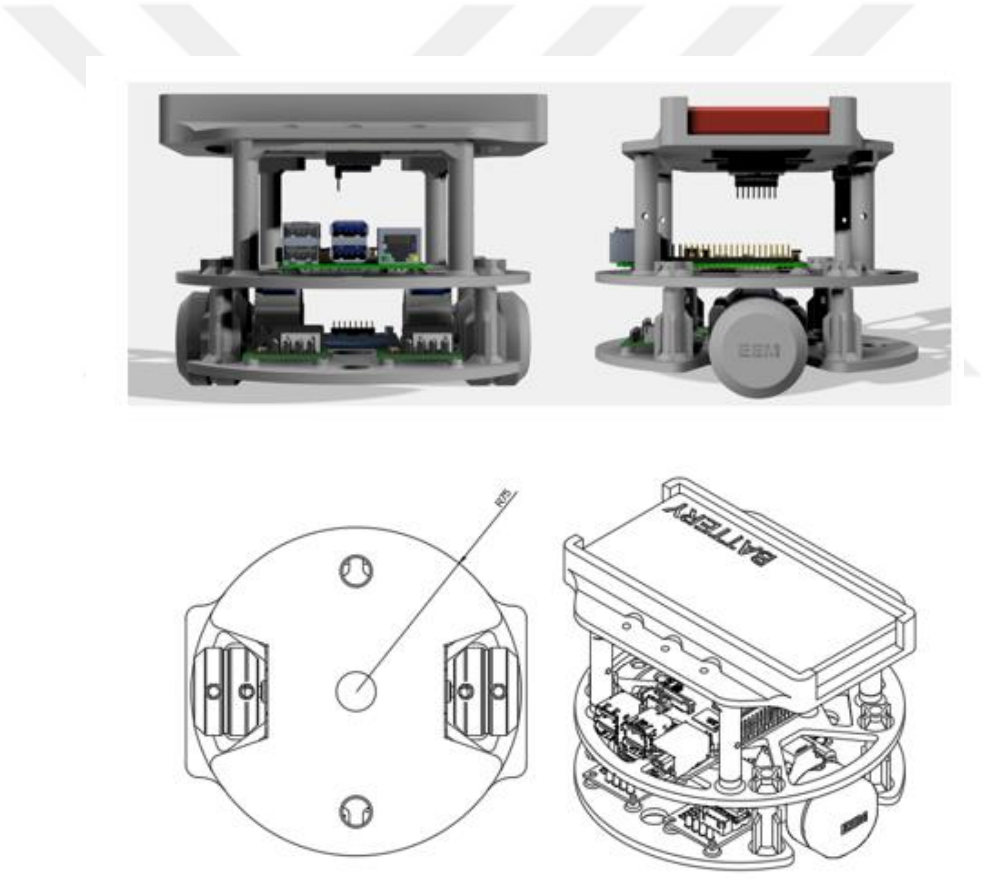
Sistemde uygulama alanı olarak 3 x 7 ızgaralardan oluşan bir çalışma platformu tasarlanmıştır. Burada her bir ızgara 20 cm x 20 cm ölçülerindedir. Tasarlanan araç prototiplenip, çalışma platformu üzerinde, üzerinde bulunan modüllerle geliştirilen algoritma çerçevesinde hareket edecektir. Tasarlanan otonom yönlendirmeli aracın performans değerleri alınacak ve kullanılmadığı alan ile olan performans farkı gözlenecektir. Tasarlanan araç 1:5 ölçeğinde küçültülerek simule edilmiştir. Ayrıca elde edilen verilerin ve anlık değerlerin gösterimi için bir yönetim paneli tasarlanmıştır. Bu yönetim panelinde aracın hedef lokasyonu, aracın anlık lokasyonu, aracın anlık dönüş açısı, aracın gittiği hedef sayısı, batarya şarj durumu gibi kullanıcının kontrol edebileceği ve gözlemleyebileceği değerler yer almaktadır. Şekil 4.1'de tasarlanan Otonom Yönlendirmeli Araca ait sistemin mimarisi verilmiştir.



Şekil 4.1. Tasarlanan Otonom Yönlendirmeli Araca ait Sistem Mimarisi

4.2.1 Mekanik Komponentler

Sistemde diferansiyel sürüş gerçekleştirilecektir. Araç kenar uzunlukları eşit olan ızgaralar içerisinde hareket edeceği için daire formunda tasarlanmıştır. Motorlar göbek bölümleri birbirine bakacak şekilde aracın orta bölümünde yer almışlardır. Araç 2 kat olacak şekilde tasarlanmış olup alt katta motorlar, motor sürücüler ve RFID alıcı modül yer almaktadır. Tasarlanan araç daire formunda olup çapa 150 mm'dir. Aracın üst katında ise mikro denetleyici, Raspberry Pi bilgisayar, jiroskop ivme ölçer sensör ve batarya yer almaktadır. Bilgisayar ortamında tasarlanan araç eklemeli imalat yöntemiyle 3D yazıcı yoluyla üretilip prototiplenmiştir. Daha sonra tüm bu komponentler araç üzerine yerleştirilmiştir. Bütün komponentler yerleştirildikten sonra aracın ağırlığı hesaplanıp gerekli motor testleri yapılmıştır. Bunu sonucunda çalışma başında planlanan motorun uygun görüldüğü saptanmıştır. Tasarlanan araca ait görseller Şekil 4.2'de verilmiştir.



Şekil 4.2. Tasarlanan Araca Ait Görseller, Alt Görünüş Ve İzometrik Görünüş

4.2.2 Elektrik Motoru

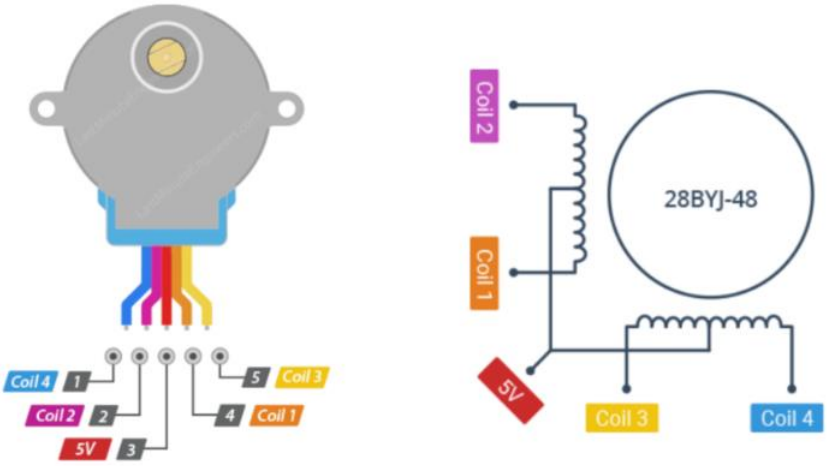
Tasarlanan araçta hareketin sağlanması için 2 adet step motor kullanılmıştır. Bu motorların kullanılmasındaki temel amaç tasarımda hesaplanan yükü kaldırılabilmesi ve yapısı itibariyle

yüksek hassasiyetli katedilen adım sayısını verebilmelidir. Seçilen step motorun tipi 28BYJ-48'dir. Bu motorlar beraberinde bir sürücüyle kullanılırlar. Motor başına bir sürücü tasarlanan sistemde kullanılmıştır. Bu motorlar katedilen adım sayısıyla beraber hassas bir şekilde konumlandırılabilirler. Bu step motorların şaftını bir adım ilerletmek için bir dişli çark ve elektro mıknatıslar kullanılır. Gönderilen her darbe bobine enerji vererek dişlileri çeker ve motoru sabit açılı adımlarla döndürür. Motorun 360 dereceye dönüşteki adım sayısı aslında dişli üzerindeki girintilerin sayısıdır. Bobine darbe verme şekli aslında motorun nasıl hareket edeceğini belirler. Motora verilen darbe sekansı motorun yönünü belirler. Motora verilen darbenin frekansı, motorun hızını belirler. Motora verilen darbe sayısı ise motorun ne kadar döneceğini yani ne kadar mesafe kat edeceğini belirler. Bu motorlar robot üzerinde diferansiyel şekilde çalıştırılacaktır.

Tablo 4.1. Tasarlanan Araçta Kullanılan Motor Özellikleri [52]

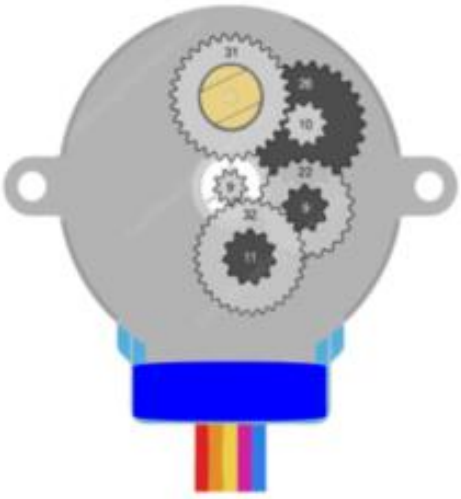
Motor Besleme Voltajı	**5V**
Çalışma Akımı	**240 mA**
Faz Sayısı	**4**
Adım Açısı	**5.625°/64**
Çalışma Frekansı	**100 Hz**
Dişli Oranı	**64:1**
Çekme Torku	**300 gf.cm**

Tablo 4.1'de otonom yönlendirmeli araçta kullanılan motora ait bazı bilgiler verilmiştir. Burada kullanılan motorun tam adım ve yarım adım modları bulunmaktadır. Bu step motor 5 kablolu ve tek kutuplu bir step motordur. Fazla güç tüketimi istemeyen mekanizma açma kapama uygulamalarında genellikle kullanılırlar. Bu çalışmada tasarlanan otonom yönlendirmeli aracın isterleri de hesaba katılmış olup, seçilen bu motorun otonom yönlendirmeli aracı hareket ettirebileceği gözlemlenmiştir.



Şekil 4.3. 28BYJ-48 Tipi Step Motor Pin Çıkışları [53]

Şekil 4.3'te step motorun fazları görülmektedir. Toplamda 4 faz bulunmaktadır. Orta bölümde bulunan besleme sayesinde fazlara enerji verilir. Fazlar enerjilendiği zaman motor döner. Bu şekilde motor sürülmüş olur. Step motorların genel çalışma prensibi nedeniyle motor boştayken de akım çeker.



Şekil 4.4. 28BYJ-48 Tipi Step Motor Redüksiyon Yapısı [54]

Şekil 4.4'te dişli oranlarıyla birlikte dişli pozisyonları verilmiştir. Dişliler arasındaki gerekli bağıntılar yazıldığı zaman ortaya toplam dişli oranı çıkmaktadır. Aşağıdaki işlem vasıtasıyla toplam dişli oranı bulunabilir. İsimlerinden de anlaşılacağı gibi bu modlar motorun her bir adımda atacağı adıma karşılık gelmektedir. Motor tam adım modunda çalıştırıldığı zaman her bir adım 11.25° 'lik bir dönüş sağlar. Fakat ana şaft (çapı en küçük olan dişli) daha kısa

adımlar atmaktadır. Motorda 1/64'lük bir redüksiyon dişlisi bulunmaktadır. Aşağıdaki formülden aslında motoru bir tur boyunca sürmek için gerekli adım sayısına ulaşılabilir.

$$Dişli\ Oranı = \frac{32}{9} \text{ x } \frac{22}{11} \text{ x } \frac{26}{9} \text{ x } \frac{31}{10} = 63.68395 \cong 64:1 \qquad (4.1)$$

$$Tur\ Başına\ Adım\ Sayısı = 64\ x\ 32 = 2038 \qquad (4.2)$$

Motorun bir attığı bir turdaki adım sayısını bulduktan sonra, tasarlanan otonom yönlendirmeli aracın motorun bir turunda katettiği mesafe elde edilebilir.

$$D_{wheel\ 1\ tour} = 2\ x\ \pi\ x\ r_{wheel} = 2\ x\ \pi\ x\ 20\ mm = \ 125.6\ mm \qquad (4.3)$$

Yukarıdaki formülden de anlaşılabileceği gibi her iki motor da aynı yönde bir tur sürülürse araç 125.6 mm 'lik ileri yönde bir hareket gerçekleştirecektir.

Bu çalışmadaki senaryoya göre aracın temel hareketleri 90° dönüş ve ileri yönde motor hareketidir. Aşağıdaki formüllerden motorun 90° dönüş ve ileri yönde 20 cm'lik hareketi için gerekli olan step sayısına ulaşılabilir.

$$T_{90°} = \frac{\frac{C_{Dönüş}}{4}}{125{,}6}\ x\ 2038 \qquad (4.4)$$

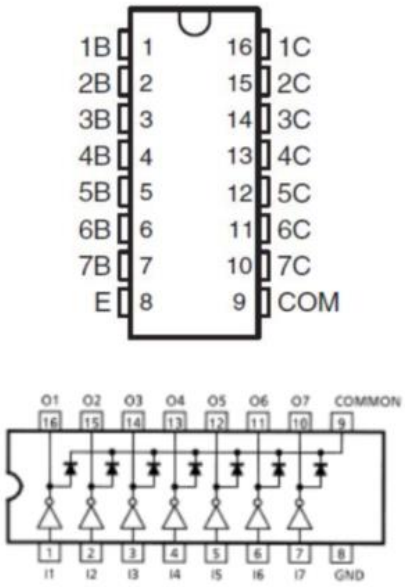
4.2.3 Elektrik Motoru Sürücüsü

Tasarlanan otonom yönlendirmeli araçta kullanılan elektrik motorlarının mikro işlemci pinlerinin verebildiğinden daha yüksek akım ihtiyacı olduğu için bu motorlar bir elektrik motoru sürücüsü yardımıyla kontrol edilmektedir. Projede kullanılan ULN2003 tipi step motor sürücü step motoru kontrollü bir şekilde sürmeyi sağlar. Bu motor sürücü bir mikro işlemci sayesinde kullanılmaktadır. Proje içerisinde motor sürücü Raspberry Pi ile haberleşmektedir.

Bu devre entegre bir devredir. 500 mA, 50 V çıkış kapasitesine sahip yedi NPN transistörden (Darlington Çifti) oluşur. Genel olarak anahtarlama işlevi görür. Özellikle motor sürücü devrelerinde endüktif yüklerin anahtarlanmasında kullanılır. Darlington transistörlerde iki transistör birbiri ardınca bağlanarak bir yükselteç elde edilmiş olur. Akım 2 transistörle

beraber daha da artar. Motor Sürücü Devresi iç yapısı Şekil 4.5'te verilmiştir. Elde edilen akım kazancı formülü aşağıda (4.5) verilmiştir.

$$\beta_{toplam} \approx \beta_1 \cdot \beta_2 \quad (4.5)$$



Şekil 4.5. ULN2003A Motor Sürücü Devresi İç Yapısı [55]

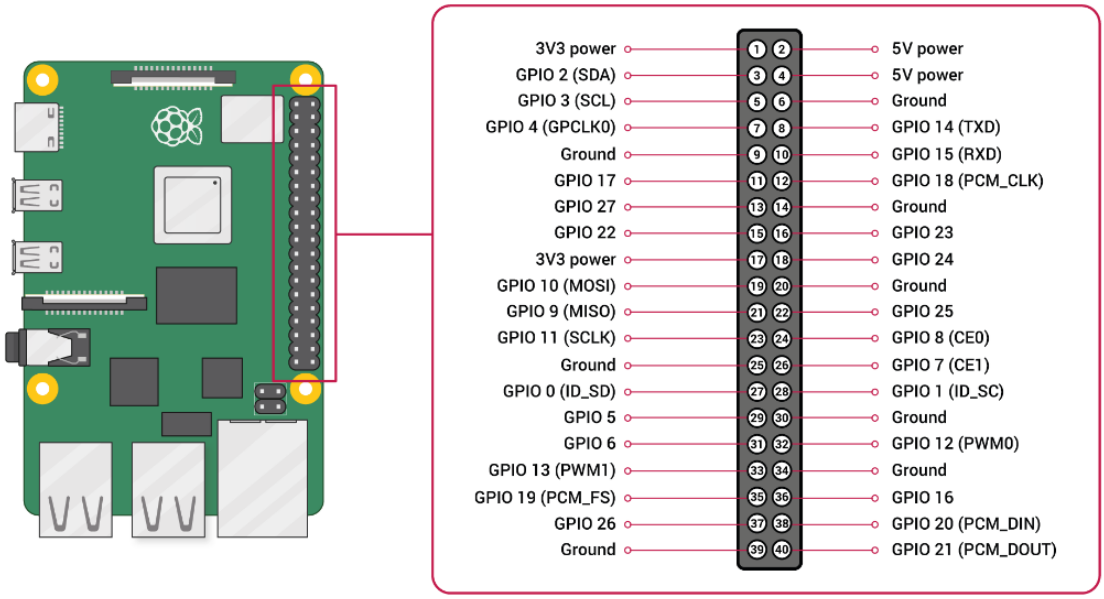
4.2.4 Raspberry Pi Mikrodenetleyici

Tasarlanan otonom yönlendirmeli araçta, step motorları istenilen şekilde hareket ettirmek, yol algoritmasını gerçekleştirmek ve yönetim panelini çalıştırmak amaçlarıyla bu mikrodenetleyici kullanılmıştır. Kullanılan model Raspberry Pi 4 2 GB'dir. Üzerinde 1.5 GHz dört çekirdekli ARM Cortex mimarisine sahip işlemci bulunmaktadır. 5V 3 A çalışmasını destekleyen USB-C girişi bulunur. Üzerinde 40 adet pin bulunur. Bu pinlerin özellikleri ve sayıları aşağıdaki tabloda verilmiştir. Aşağıda (Tablo 4.2) 28 adet olarak belirtilen pinlerden bazılarının PWM, SPI, I2C ve UART arayüzleri bulunmaktadır.

Tablo 4.2. Raspberry Pi Mikrodenetleyici Pin Çıkış Sayıları [56]

GPIO	**28**
3V3 Power	**2**
5V Power	**2**
GND	**8**

Projede bu mikrodenetleyicinin seçilmesinin nedeni içerisinde Linux işletim sistemi çalıştırabilirken bir takım GPIO işlemlerini de yapabilmesidir. IOT uygulamalarında sıklıkla tercih edilmektedir. Şekil 4.6'da Raspberry Pi mikrodenetleyiciye ait pinlerin açıklamalarına ait görsel verilmiştir.



Şekil 4.6. Raspberry Pi Mikrodenetleyici Pin Çıkış Diyagramı [57]

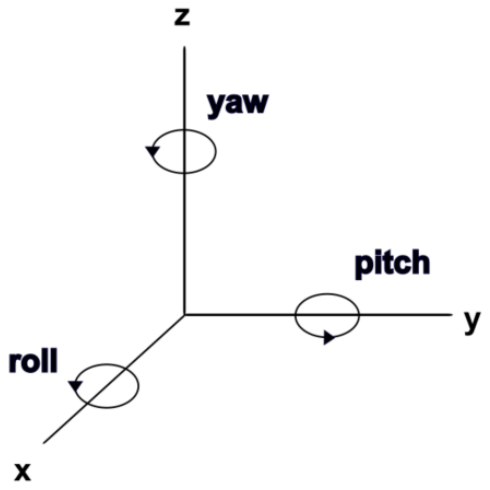
4.2.5 Arduino Nano Mikrodenetleyici

Tasarlanan otonom yönlendirmeli araçta Jiroskop/İvmeölçer sensörlerinden gelen verileri okumak ve anlamlandırmak, ayrıca RFID okuyucuyu sürmek için kullanılmıştır. Üzerinde 6 tanesi PWM destekli olan 14 adet dijital giriş-çıkış ve 8 adet analog giriş-çıkış pini bulunmaktadır. 40 mA seviyesine kadar pinlerden çıkış alınabilmektedir. Besleme giriş voltajı DC 5-12 V arasıdır. Çalışma voltajı 5V'tur. İçerisinde Atmega328 mikroişlemci bulunmaktadır. Flash hafızası 32 KB 'dir. Çalışma frekansı ise 16 MHz'dir. [58]

4.2.6 Jiroskop/İvmeölçer Sensör

Çalışmada kullanılan ataletsel ölçü birimi MPU-6050'dir. İçerisinde 3 eksenli bir ivmeölçer ve 3 eksenli bir jiroskop bulundurur. Jiroskop dönme konusunda ivme ölçer ise yer çekimi ivmesini kontrol eder. Aynı zamanda içerisinde dahili sıcaklık sensörü de bulunmaktadır. Genellikle hareketli cisimlerin yön bilgisini almak için kullanılır. Sensörü jiroskop özelliği

sayesinde sensörün yerleştirildiği cismin dönme hızı radyan/saniye olarak ölçülebilir. 3 eksende X,Y ve Z olarak ölçüm yapılır. Bu eksenlerin yuvarlanma açıları sırasıyla roll, pitch, yaw olarak isimlendirilir. Bir diğer ismi ile bu açılara Euler açıları denilmektedir. [59] Şekil 4.7'de bu açıların pozisyonları gösterilmiştir.



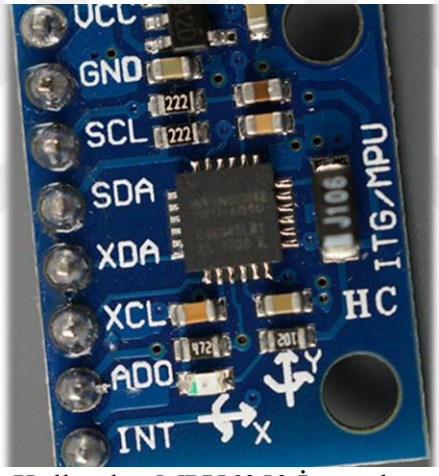
Şekil 4.7. X.Y.Z Eksenleri ve Euler Açıları

Bu sensörler MEMS (Micro Electromechanic Sensor) sensörler olarak da bilinir. [60] Bu sensörler bağlantısı olan cisimlerin doğrusal olarak ivmesini ölçerler ve yay üzerindeki kütle prensibiyle çalışırlar. Bağlantılı olduğu cisim ya da araca ait hız arttığında ataletten dolayı sabit kalmak ister dolayısıyla yay gerilir ya da sıkıştırılır. Buna karşılık bir kuvvet oluşturulmuş olur ve algılanır. Sensör burada diferansiyel kapasitans oluşturur. Kapasitanstaki değişiklik yüksek çözünürlüklü bir ADC ile elde edilir ve ardından değişim oranı kullanılarak ivme bulunur. [61] Daha sonra bu değer okunabilir bir değere dönüştürülür. Jiroskop verilerinin elde edilmesi ise biraz daha farklıdır. Sensör kendi içerisinde 4 adet kütle içerir ve bunlar sensör içinde salınım hareketinde bulunurlar. Açısal bir hareket oluşturulduğunda Coriolis etkisi bu 4 kütle arasında kapasitansın değişmesine neden olur. Yine ivme ölçülerdeki gibi kapasitanstaki değişiklik algılanır ve bu ADC vasıtasıyla okunur. Şekil 4.8'de bu Coriolis etkisine ait görsel verilmiştir. [62]



Şekil 4.8. Jiroskop Modül İçerisindeki Coriolis Etkisi [63]

Sensörün ivmeölçer fonksiyonuyla birlikte eksenlere göre hız değişimleri elde edilmektedir. Bu sayede titreşimler ve hareketler tespit edilebilir. Şekil 4.9'da kullanılan MPU6050 jiroskop ve ivmeölçer sensörüne ait görsel verilmiştir.



Şekil 4.9. Çalışmada Kullanılan MPU6050 İvmeölçer-Jiroskop Modül [64]

Bu sensör yüksek işlem gücü gerektirdiğinden, haberleştiği mikro işlemcinin yükünü hafifletmek için içerisinde bir dijital hareket işlemcisi (DMP) barındırır. Tablo 4.3'te otonom yönlendirmeli araçta kullanılan jiroskop ve ivme ölçer sensöre ait giriş çıkış pinleri ve bu pinlerin özellikleri verilmiştir.

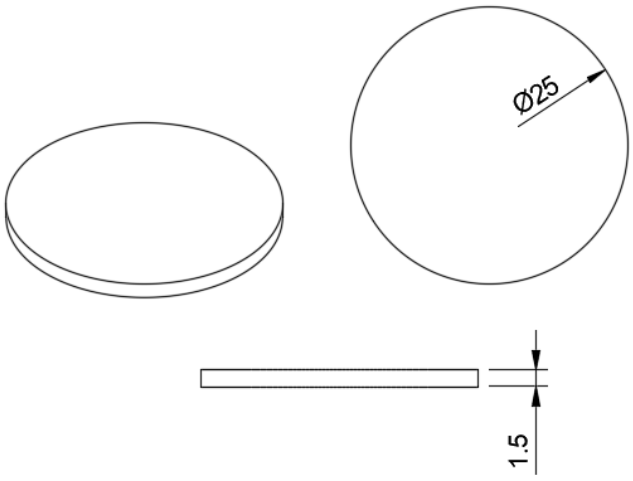
Tablo 4.3. MPU6050 Sensör Pinleri ve Özellikler [65]

VCC	3.3 V – 5 V Giriş
GND	Ortak Ground
SCL	I2C Haberleşme
SDA	I2C Haberleşme
XDA	I2C Haberleşme
XCL	I2C Haberleşme
AD0	I2C Adresleme
INT	Interrupt

16 bit ölçüm çözünürlüğüne sahiptir. Bu tarz sensörler cep telefonları, tabletler, dronlar, insansız hava araçları, robotlar ve çok daha fazla uygulamada kullanılmaktadır. Bu ürün piyasada çok popüler olduğu için bazı ticari ürünlerde de kullanılmaktadır. Düşük maliyetli bir üründür.

4.2.7 RFID Alıcı ve Pasif Etiket

Tasarlanan otonom yönlendirmeli araçta navigasyon ve lokalizasyon işlemlerinin gerçekleştirilmesi için RFID alıcı ve pasif etiketler kullanılmıştır. Kullanılan RC522 RFID alıcı modül 13.56 MHz frekansında çalışan pasif etiketleri okuyabilme yetisine sahiptir. Tasarlanan otonom yönlendirmeli aracın yüzeye en yakın noktasında orta bölümde konumlandırılmıştır. Kullanılan bu modül düşük güç tüketen düşük maliyetli kolay programlanabilen ve ticari alanda da sıkça kullanılan bir modüldür. Diğer radyo frekans teknolojilerinde olduğu gibi benzer bir yapıya sahiptir. Araç etikete yaklaştığında modül bir elektromanyetik alan oluşturur. Bu elektronların etiketin anten alanı boyunca hareket etmesine ve pasif etiket içerisindeki çipe güç vermesine neden olur. [66] Bu otonom yönlendirmeli araç çalışmasında kullanılan pasif etiket aşağıdaki görselde verilmiştir. Çift daha sonra içinde saklanan bilgiyi başka bir radyo sinyali tipinde alıcı modüle geri göndererek yanıt sağlar. Alıcı modül bu yanıtı algılayıp yorumlar ve verileri herhangi bir bilgisayara veya mikro işlemciye geri gönderir. Alıcı modül maksimum 10 Mbps veri hızına sahip 4 pinle SPI üzerinden mikrodenetleyici ile iletişim kurmaktadır, Ayrıca



Şekil 4.10. Çalışmada Kullanılan Pasif RFID Etikete Ait Ölçüler

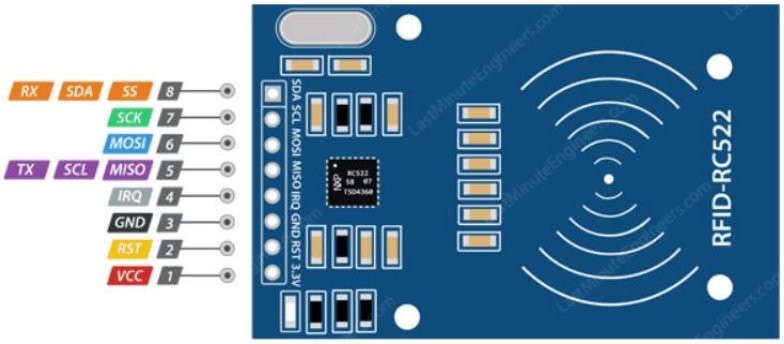
I2C ve UART opsiyonları da vardır. Şekil 4.10'da kullanılan pasif etikete ait ölçüler gösterilmiştir. Bu modül otonom yönlendirmeli araçta kendisine etiket yaklaştığında uyarımı sağlayacak şekilde bir kesme (interrupt) oluşturarak çalışmaktadır. Tablo 4.4'te kullanılan alıcı modüle ait teknik özellikler verilmiştir:

Tablo 4.4. RC522 Alıcı Sensör Pinleri ve Özellikler [67]

Okuma Aralığı	4 cm'ye kadar
Lojik Giriş	5V
Frekans Aralığı	13,56 MHz
Kulanılabilir Arayüz	SPI-I2C-UART
Maks. Çalışma Akımı	13 – 26 mA
Minimum Akım (Uyku)	10 uA
Besleme Gerilimi	2,5 V – 3.3 V

Şekil 4.11^de RC522 alıcı modüle ait görsel gösterilmiştir. Pin isimleri ve özelliklerinden bahsedecek olursak, VCC pini modülün güç girişidir. 2.5 V ile 3.3 V arasında değişen gerilimlerle modül bir mikrodenetleyici pininden beslenmiştir. Bu çalışmada modül besleme voltajını Arduino Nano mikrodenetleyici üzerinden almaktadır. RST pini ise sıfırlama ya da kapatma için kullanılan bir pindir. GND pini diğer uygulamalarda olduğu gibi toprak pinidir. Arduino Nano üzerindeki GND pinine bağlanır. IRQ ise kesme pinidir. Alıcının pasif etiketle iletişime geçtiği anda mikrodenetleyiciyi uyarır. MISO pini ise SPI haberleşmesi sırasında master-in-slave-out olarak çalışır. MOSI pini ise master-out-slave-in olarak çalışır. Modülün

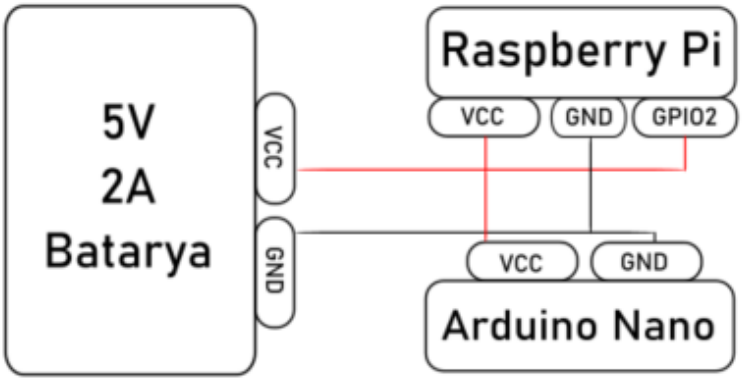
SPI arayüz girişidir. SDA ve SCL ise yine SPI girişleridir.



Şekil 4.11. RFID Alıcı Sensör ve Pin Çıkışları [68]

4.2.8 Batarya

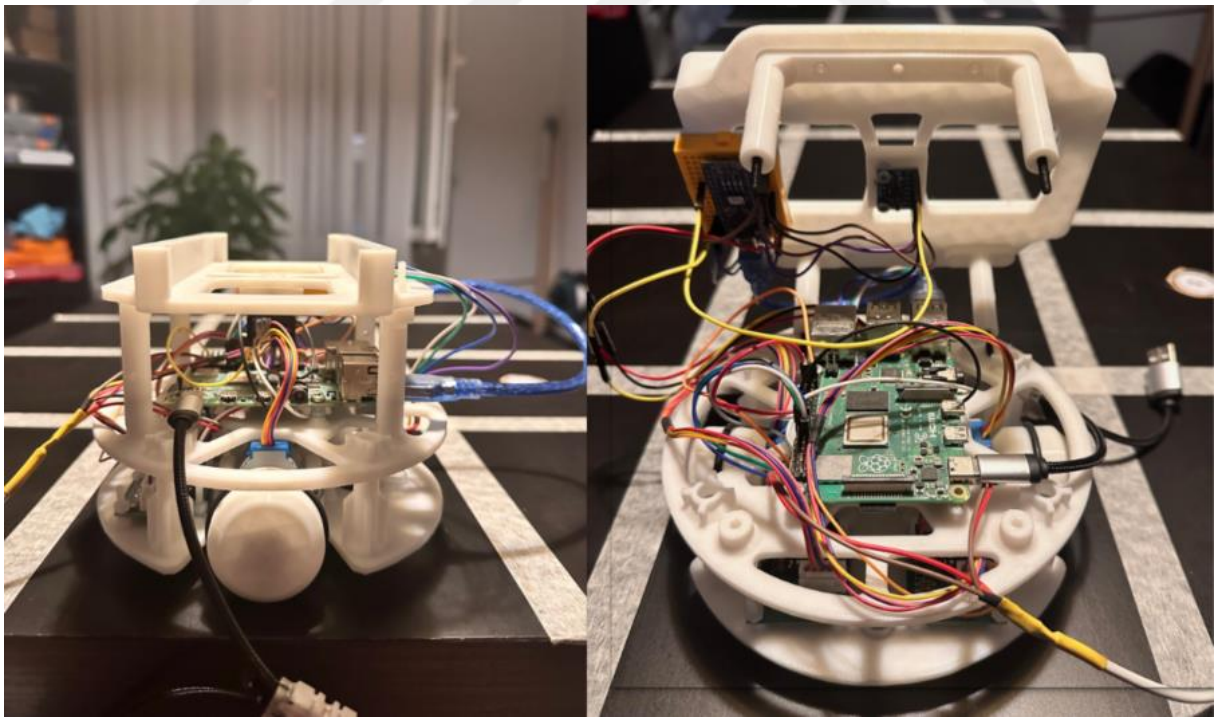
Tasarlanan otonom yönlendirmeli araçta bütün elektronik bileşenlerin besleme voltajını sağlaması için bir batarya kullanılmıştır. Bu batarya seçimi yapılırken sistemde yer alan elektronik komponentlerin ihtiyacı olan giriş voltajlarının sağlanmasına dikkat edilmiştir. Aynı zamanda batarya seçimi yapılırken sistemin çalışma süresi de göz önüne alınmıştır. Sistemin ortalama olarak 6 saat boyunca kesintisiz bir şekilde çalışmasını sağlayacak bir batarya seçilmiştir. Seçilen bu batarya pil tipi olarak lityum-ion bataryadır. 5 Volt 2 Amper çıkış ve 10000 mAh kapasiteye sahiptir. Aynı zamanda seçilen batarya Raspberry Pi ve Arduino Nano ile direkt kontakt halindedir. Diğer komponentlere güç bu 2 mikrodenetleyici üzerinden iletilmektedir. Aynı zamanda bu bataryanın anlık olarak şarj durumu takip edilmektedir. Bu şarj durumu takibi Raspberry Pi üzerindeki bir analog pin vasıtasıyla ADC okuma şeklinde yapılmaktadır. Bataryanın şarj durumu belli bir değerin altına düştüğü zaman arayüz üzerinden sisteme haber verilmektedir. Aynı zamanda anlık olarak şarj durumu (SoC) kontrol paneli üzerinden gösterilmektedir. Şekil 4.12'de batarya ile mikrodenetleyici pinleri arasındaki bağlantı gösterilmiştir.



Şekil 4.12. Batarya ve Bataryadan Beslenen Mikrodenetleyicilere Ait Diyagram

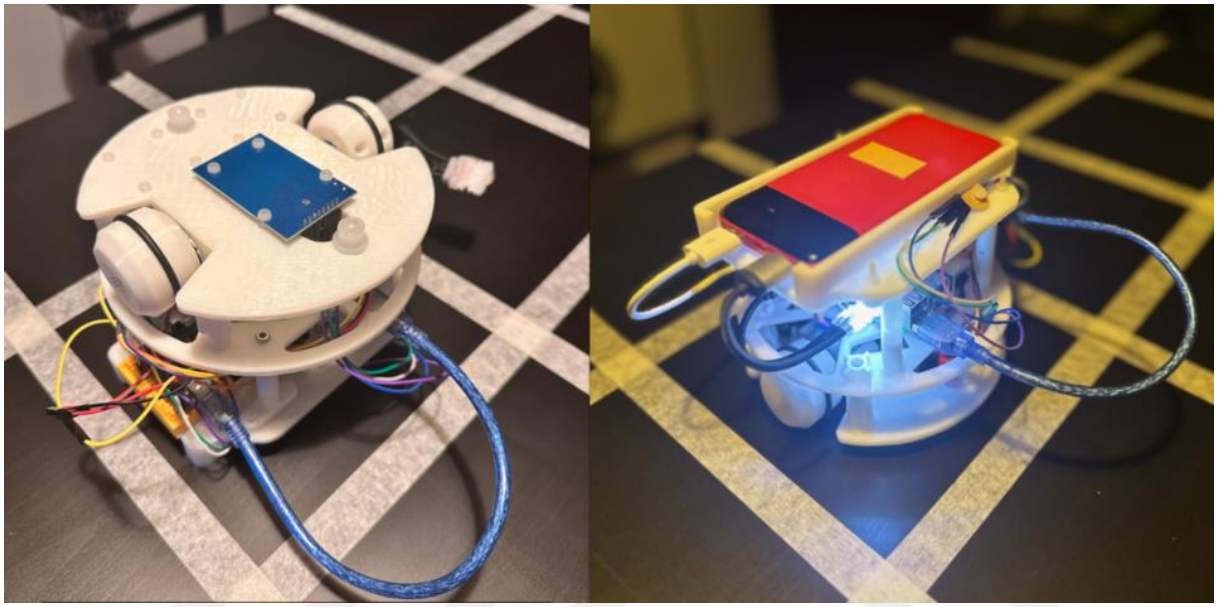
4.3 Tasarlanan Otonom Yönlendirmeli Aracın Kontrol Stratejisi

Bu bölümde tasarlanan araca ait kontrol stratejisi ve uygulamanın gerçekleştirildiği test ortamı hakkında bilgiler verilmiştir. Tasarlanan araçta 2 katlı bir tasarım kullanılmış olup Şekil 4.13'te tasarlanan Otonom Yönlendirmeli Araca ait üstten ve yandan görünümler verilmiştir. Alt bölümde RFID Alıcı Modül, 2 adet step motor ve bu motorların sürücü devreleri yer almaktadır. Bir üst katta ise Raspberry Pi ve Arduino Mikrodenetleyici ve aracın oryantasyon açısını sürekli olarak hesaplayan MPU6050 İvmeölçer ve Jiroskop modül yer almaktadır.



Şekil 4.13. Tasarlanan Aracın Üstten ve Yandan Görünüşler

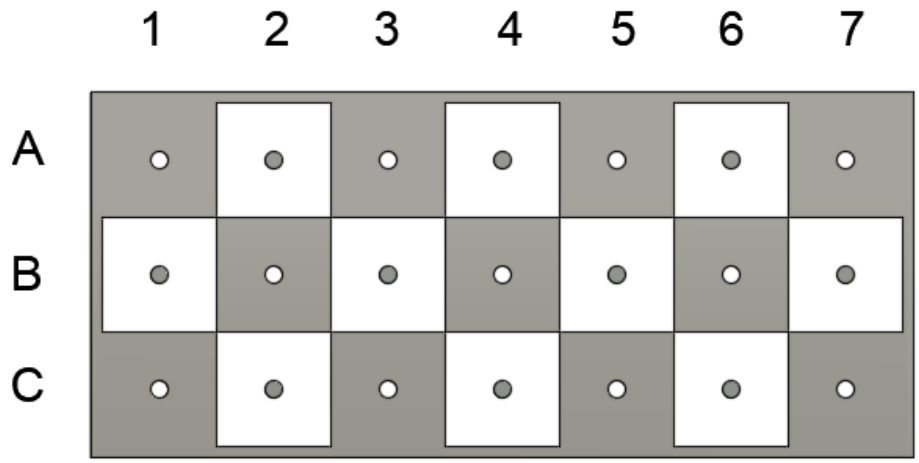
Aracın lokasyon tespitini doğru şekilde yapabilmesi için gerekli olan RFID Alıcı Modül, aracın alt bölümünde Şekil 4.14'te gösterildiği gibi merkez bölümüne yerleştirilmiştir. Burada aracın ters döndürülmüş hali ve izometrik görünümüne ait görseller verilmiştir. RFID Alıcı Modül yerden 5 mm yüksekliğe sahiptir. Bu sayede etiketleri kaçırmadan başarıyla okuyabilmektedir.



Şekil 4.14. Tasarlanan Aracın Alt Tabanı ve İzometrik Görünümü

4.3.1 Sistem Test Ortamı

Tasarlanan sistem 3x7 olmak üzere toplam 21 adet gridden oluşmaktadır. Şekil 4.15'te tasarlanan test alanının kuşbakışı görüntüsü verilmiştir. Izgaralar kare formda olup 20 cm x 20 cm ölçülerindedir. Bu ızgaralar aracın dönüş hareketini gerçekleştirebilmesi ve ızgaralardan dışarı çıkmaması için 25 mm kaydırılacak şekilde tasarlanmıştır. Bu ızgaraların ortasında 13.56 MHz RFID Etiket bulunmaktadır. Otonom Yönlendirmeli Araç hangi lokasyonda olduğunu anlık olarak bu pasif etiketleri okuyarak tanımaktadır. Hazırlanan platformun herhangi bir sürtünmesi olmamasına dikkat edilmiştir. Izgaralara ait eksen adları A-C ve 1-7'dir. Aşağıda test ortamının kuş bakışı görünümü bulunmaktadır. Izgara sayısının 21 adet olmasının sebebi burada yapılan çalışmanın bir simülasyon olmadır. Izgara eksenleri istenilen ölçülerde tasarlanabilir. Gerçek sistemde bu form, sistemin çalışacağı ortam şartlarına ya da ortam ölçülerine göre değişiklik gösterebilir. Farklı ortam koşullarına tasarlanan algoritma sayesinde adapte olunabilir.



Şekil 4.15. Çalışma İçin Hazırlanan Test Alanı

Sistem test ortamında ızgaraların ortasına konulan pasif etiketlerin her birinin kendisine ait benzersiz bir ID numarası mevcuttur. Programlama ortamında bu etiketlere karşılık gelen numaralar çeşitli lokasyonlara atanmıştır. Bu sayede etiketler birbirinden farklıdır ve her biri farklı bir ızgarayı yani farklı bir lokasyonu temsil etmektedir. Tablo 4.5'te pasif etiketlere ait numaralar ve atanan lokasyonlar örnek olarak verilmiştir.

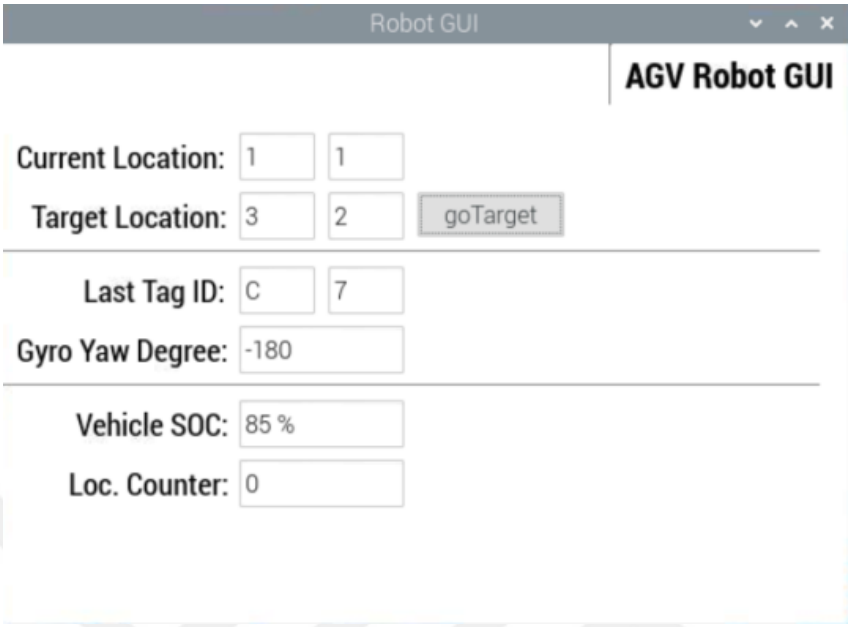
Tablo 4.5. RFID Etiket ID'leri ve Atanan Lokasyonlar

RFID ID Numarası	Atanan Lokasyon
103.86.189.4	A1
55.233.227.4	A2
135.102.164.4	A3
48.73.156.64	B1
…	…

4.3.2 Sistem Yönetim Paneli

Tasarlanan otonom yönlendirmeli aracın kullanıcı tarafından istenilen konumlara gidebilmesi, anlık olarak konumumun belirlenmesi, şarj durumunun ve günlük olarak kaç adet konuma gidildiğine dair verilerin görümesi için Raspberry Pi üzerinde PyQT kullanılarak bir kullanıcı arayüzü hazırlanmıştır. Bu yönetim paneli arayüzü anlık olarak Raspberry Pi üzerinde farklı bir thread içerisinde çalışmaktadır. Bu sayede aynı işlemci üzerinde farklı çekirdeklerde hem motor sürme, hem şarj durumu takibi hem de yönetim paneli arayüzü çalıştırılabilmektedir. Aynı zamanda aracın yön durumunun kalitesinin takibi amacıyla IMU sensörden alınan

veriler de anlık olarak bu panel üzerinde gösterilmektedir. Şekil 4.16'da tasarlanan yönetim paneline ait görsel verilmiştir.



Şekil 4.16. Çalışma İçin PyQt ortamında Hazırlanan Kullanıcı Yönetim Paneli

4.3.3 Otonom Yönlendirmeli Araç Yol Bulma Algoritması

Tasarlanan otonom yönlendirmeli aracın temel amacı bir konumdan başka bir konuma kendi karar verme kabiliyetiyle hassas bir şekilde gitmektir. Sistem konum değiştirme işleminin başında kendi konumunu bilmektedir. Daha sonrasında hedef konuma gitmek için bir takım işlemler yapılmaktadır. Bu işlemlerin en başında konum indislerinin karşılaştırılması vardır. Kartezyen koordinat düzleminde bulunan 2 eksen kullanıldığı için burada önce X, daha sonra Y eksenlere anlık lokasyon veya hedef lokasyon olarak karşılaştırılmaktadır. Araç bu işlemi çok kısa bir süre içerisinde yapmakta ve hareketine başlamaktadır. Şekil 4.17'de otonom yönlendirmeli aracın yol bulma algoritmasına yönelik taslak kod bulunmaktadır.

```
x_indexes = [1,2,3,4,5,6,7];
y_indexes = [A,B,C];
current_loc = [x_indexes(), y_indexes()];
target_loc = [x_indexes(), y_indexes()];

if (current_loc(0) < target_loc(0))
{
        gotoloc(x_difference);
        if(current_loc(1) < target_loc(1))
        {
                turnleft90();
                gotoloc(y_difference);
                turnright90();
        }
        else
        {
                turnright90();
                gotoloc(y_difference);
                turnleft90();
        }
}
else if (current_loc(0) > target_loc(0))
{
        turn180();
        gotoloc(x_difference);

         if(current_loc(1) < target_loc(1))
        {
                turnright90();
                gotoloc(y_difference);
                turnleft270();
        }
        else
        {
                turnleft90();
                gotoloc(y_difference);
                turnright270();
        }
  }

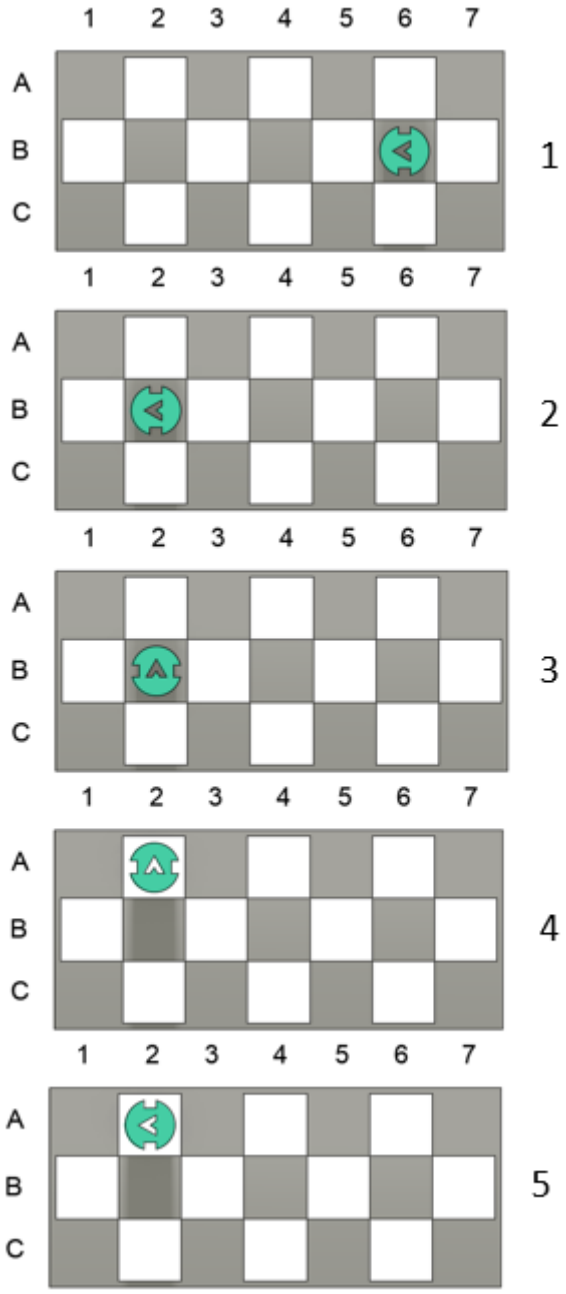
else
{
        if(current_loc(1) < target_loc(1))
                turnleft90();
                gotoloc(y_difference);
                turnright270();
        }
        else
        {
                turnright90();

                gotoloc(y_difference);
                turnleft270();
        }
}
```

Şekil 4.17. Yol Bulma Algoritması Pseucode

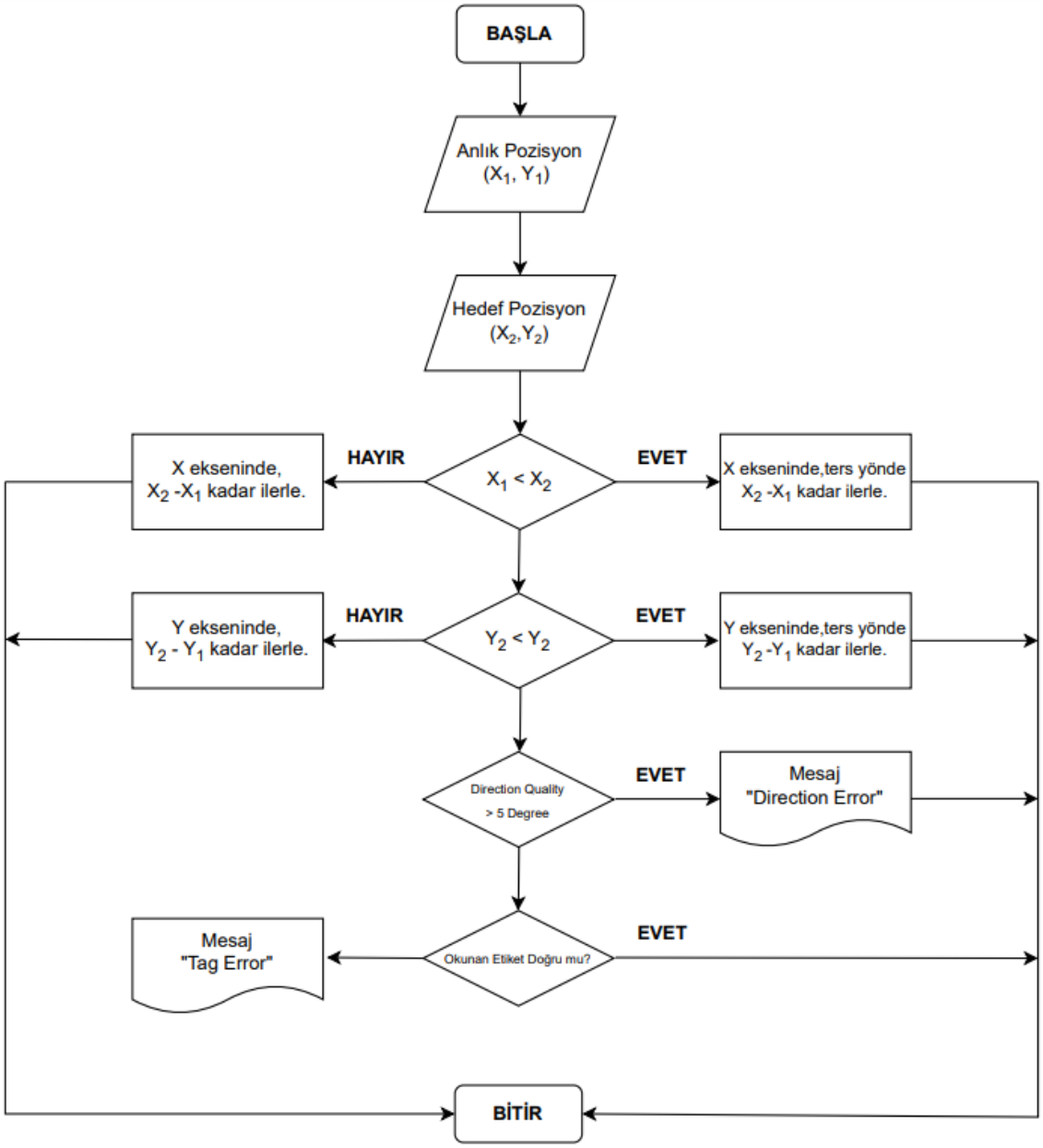
Rota hesabı yapılmadan önce aracın anlık olarak bulunduğu konuma ait X indisi ile hedef konuma ait X ekseni arasında bir karşılaştırma yapılır. Buradan hareketle aracın X ekseninde ne kadarlık bir yer değiştirme hareketi yapacağı bulunur. Araç ızgaralar arası mesafe bilgisini bilmektedir. Bu mesafe test ortamında 200 mm olarak belirlenmiştir. Otonom yönlendirmeli

araç X ekseninde yer değiştirme için uygulayacağı kare sayısını hesaplar. Daha sonra bu değeri ızgaralar arası mesafe olan 200 mm ile kendi içerisinde çarpar. Daha sonra aynı işlemi Y ekseni için de tekrarlar. Otonom yönlendirmeli araç bu işlemlerden sonra yer değiştirme için uygulayacağı ızgara sayısını ve her bir birim arasındaki mesafeyi hesaba katarak step motor sürücüye komut verir. Böylece hedef lokasyona gidilmiş olur. Araç harekete başladığında öncelikle Y eksenindeki mesafeyi kat eder. Daha sonra ise X eksenindeki mesafeyi kat eder. Aşağıdaki görselde aracın 6B konumundan 2A konumuna hareketi gösterilmiştir.



Şekil 4.18. Tasarlanan Otonom Yönlendirmeli Aracın Hedef Pozisyona Gidiş Hareketi

Şekil 4.18'de araç birinci konumda 6B konumundadır. Hedef konum 2A'dır. Resmin ikinci kısmında araç öncelikle X konumunda karşılaştırma yapmıştır. Hedef X konumuna doğrudan hareket etmiştir. Daha sonra üçüncü bölümde Y eksenleri üzerindeki konumları karşılaştırarak yönünü 90 derece sağa çevirmiştir.. Daha sonra 4. bölümde fark kadar ilerlemiş, son olarak 5. bölümde aracın varsayılan yönü olan batı yönüne dönülmüştür. Kendi ekseni etrafında 90 derece sola dönüş yapmıştır. Şekil 4.19'da sisteme ait akış şeması verilmiştir.



Şekil 4.19. Tasarlanan Otonom Yönlendirmeli Aracın Yol Algoritması Akış Şeması

Tasarlanan otonom yönlendirmeli araç anlık konumdan hedef koruma doğru ilerlerken yatay ve dikey hareketlerde bulunur. Tasarlanan aracın dairesel formda olmasından dolayı ızgaralar arası hareket ederken 90 – 180 – 270 derecelik dönüş hareketlerinde bulunur. Bu sayede hedef konuma yönelimini yapmış olur.

4.3.4 Otonom Yönlendirmeli Araç Yaw Açısı Kontrolü

Tasarlanan otonom yönlendirmeli araçta araç hareketinin hassas bir şekilde ve doğru açılarla yapılması büyük önem taşımaktadır. Aracın hareketinin kontrol edilmesi ve aracın

oryantasyon açısının sürekli olarak işlenmesi amacıyla kullanılan jiroskop sensöründen sağlıklı veri elde etmek gerekmektedir. Daha önce de belirtildiği gibi jiroskop ve ivmeölçer sensöre kısaca IMU (Inertial Measurement Unit) denilmektedir. IMU ile cismin 3 boyutlu uzaydaki yönelimi bulunabilir. 3 boyutlu yönelimi anlatmak için ise euler açılarını (roll, pitch, yaw) kullanmaktayız. Bu sensörün kullanıldığı herhangi bir cismin ya da aracın 3 boyutlu uzaydaki yönelimini bulmak için sensörün içerisinde bulunan ivme ölçer ve jiroskop kullanılır. İvme ölçer pitch ve roll açılarını tespit edebilir. Ama genellikle bu hareket anında istenmeyen gürültüler oluşur. Ve açılar hassas bir şekilde tespit edilemez. Jiroskop ise temel çalışma prensibi itibariyle 3 eksendeki açısal hızları elde etmeye olanak sağlar. Eğer bu 3 açı içerisinde ilk açı bilinmiyorsa yalnızca jiroskop ile bütün açılar elde edilemez. Yalnızca açısal hız üzerinden birimi zamanındaki açı değişimi elde edilebilir. Jiroskop kullanımındaki dezavantajlarından biri ise "Drift" etkisidir. Jiroskop yine temel yapısı itibariyle cisim dursa dahi küçük miktarlarda açısal hız hesaplar. Buna bağlı olarak açısal sapma gerçekleşir. Bu durumu engellemek ya da belirli bir oranda azaltmak için çeşitli filtreler geliştirilmiştir. Bu filtreler ortak bir amaçta buluşarak jiroskop verilerini alıp bu verileri ivme ölçer kullanarak düzeltmeye olanak sağlarlar. Böylece hareket halindeki drift etkisinden cisim kurtulmuş olur. Bu 3 eksenden 2 tanesi üst üste geldiği zaman "Gimbal Lock" sorunu yaşanır. Bu nedenle 3 eksenli uzay bir anda 2 eksene döner. Bu sorunu ortadan kaldırmak için çeşitli yöntemler oluşturulmuştur. Bunlardan başlıcası "Kuaternion" yöntemidir. Tasarlanan otonom yönlendirmeli araç üzerinde herhangi bir kamera, lidar ya da radar gibi bir komponent bulundurmadığı için aracın ileri yönde hareket açısı yalnızca otonom yönlendirmeli araçta kullanılan jiroskop ve ivmeölçer sensör modülü üzerinden yapılmaktadır. Aracın kullanım senaryosu açısından "Yaw" açısı kontrolü büyük önem arz etmektedir. Eğer bu açı belli bir değerden fazla miktarda saparsa araç beklenmedik bir yönde gidecek ve planlanan senaryoyu gerçekleştiremeyecektir. Burada kullanılan jiroskop ve ivmeölçer modül yalnızca jiroskop amacıyla kullanılmıştır. Bu sensör vasıtasıyla açının kontrolü yapılmaktadır. Farklı dönüş açılarında sensör sürekli olarak veri paylaşmakta ve mikrodenetleyici bu verileri saniyede 100 kez okumaktadır. Aracın hareketleri yalnızca 90 – 180 – 270 ve 360 derecedir. Eğer araç konuma geldiyse ya da bir diğer deyişle hareketini tamamladı ise ve bu açı değerinde ± 5 derecelik bir sapma varsa mikrodenetleyici yönetim paneli üzerinden mesaj yayınlamakta ve açı kalitesinin düştüğüne binaen "Direction Quality Low" mesajı paylaşmaktadır. Kullanılan jiroskop sensör modülü kendi içerisinde sensör füzyonu yapamamaktadır. Daha farklı otonom yönlendirmeli araç ya da robot projelerinde kullanılan kendi içerisinde sensör füzyonu yapan

ve hassas bir şekilde çıkış veren jiroskop sensör modülleri de bulunmaktadır. [69] Fakat bu çalışmada kullanılan jiroskop sensör ile bu algoritma baremetal olarak kullanılmıştır. Bu sensörler özellikle kullanıldıktan belli bir süre sonra kendi içerisinde bir hata barındırmaktadır. Bu hatadan sebebiyetle bu açı sensör çalışmaya başladıktan belli bir süre sonra kaymaya başlamaktadır. Bu yüzden jiroskop algoritması oldukça önemlidir. Burada farklı algoritmalar denenmiş ve bu algoritmalar denendikten sonra Mahony Filtresi ile devam edilmesine karar verilmiştir. Mahony kullandığı filtrede ivmeölçer ve jiroskop verilerinden faydalanmıştır. Bu verileri yerçekimi ivmesi ile karşılaştırdıktan sonra uzayda sistemin açısal konumunu bulmaya çalışmıştır. Aşağıdaki formüllerde ivmeölçer (4.6) ve jiroskop (4.7) modellenmiştir.

$$a = \dot{v} - g + b_a + n_a \qquad (4.6)$$

Yukarıdaki formülde a ile belirtilen değer ivmeölçerden alınan ivme verisi, $\dot{v}$ anlık ivme (vektörel), g yerçekimi ivmesi, b_a ivmeölçere verilen katsayı ve n_a sensör gürültüsünü ifade eder.

$$w^b = w + b_j + n_j \qquad (4.7)$$

Yukarıdaki formülde ise w, açısal hızın radyan cinsinden karşılığı, b jiroskop sensör katsayısı ve n ise gürültüdür. Formüllerde genellikle katsayı hesabı önceden yapılır. Katsayı değeri sensörün yakın değer vermesini sağlar. İvme ölçer sensörler kısa aralıklarındaki ivme değişikliklerine karşı başarısız olabilirler ancak uzun süreli hareketlerde daha stabil çalışmaktadırlar ve katsayı değerleri düşüktür. Jiroskop sensörlerinin çıkış değerleriyle zamana göre integral alınarak rotasyon değeri elde edilir. Bu değer radyan cinsindendir. Bu rada katsayı fazladır ve uzun süreli ölçümlerde büyük sapma miktarları elde edilir. Oryantasyon yani yönelim tahmini için ivme ölçer ve jiroskop verilerini birleştiren filtrenin ismi Complementary (bütünleyici) filtredir. Bu sapmaları minimize etmek için Mahony, bu filtreyi kullanmıştır. Bu filtrede ivme ölçer çıkışında alçak geçiren filtre, jiroskop çıkışında ise yüksek geçiren filtre uygulanır. Daha sonra bu veriler toplanır. [70]

Complementary Filtre kullanılan mikrodenetleyici içerisinde uygulanmıştır. Bu filtre uygulanmadan önce $\dot{v}$ ve $\dot{w}^b$ değerleri bulunur. Bunların açıklaması ise sırasıyla şu şekildedir. Hareket yönü ve açısal hız. Filtre mikrodenetleyici üzerinde uygulanırken ilk önce cismin

hareketsiz olduğu kabul edilir daha sonra PI kontrol için uygulanacak oransal kazanç Kp ve integral kazancı Ki belirlenir ve tanımlanır. Ayrıca örnekleme frekansı da belirlenir. Daha sonra daha önce bahsettiğimiz kuaternion birim matris olarak [1 0 0 0] olarak atanır. Filtreye MPU6050 sensörden gelen ivmeölçer ve jiroskop verileri de eklenir. Daha sonrasında ise ivmeölçere ait veriler normalize edilir. Aşağıdaki eşitlikte (4.8) belirlenen kuaternion kullanılarak yerçekimi kuvvetine ait yön, $\hat{v}$ bulunur. [71]

$$\hat{v} = \begin{bmatrix} 2(\hat{q}_2\hat{q}_4 + \hat{q}_1\hat{q}_3) \\ 2(\hat{q}_3\hat{q}_4 + \hat{q}_1\hat{q}_2) \\ \hat{q}_1{}^2 - \hat{q}_2{}^2 - \hat{q}_3{}^2 + \hat{q}_4{}^2 \end{bmatrix} \quad (4.8)$$

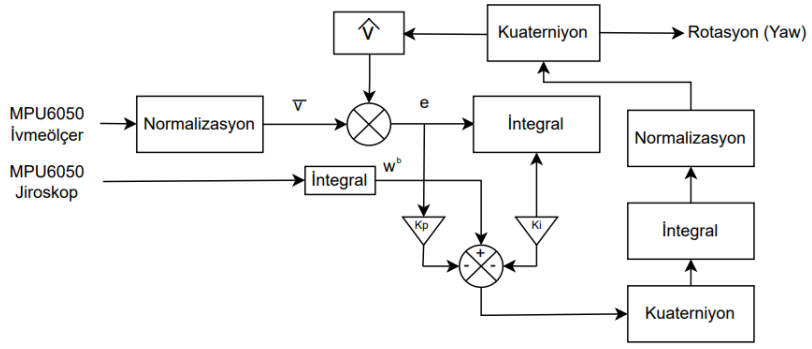
Sisteme hata beslemesi için hata, e hesaplanmalıdır. Aşağıda yerçekimi kuvvetine ait yön ve elde edilen ivmeölçer verisi çarpılır ve hata elde edilir. (4.9)

$$e = \bar{v}\, x\, \hat{v} \quad (4.9)$$

$$\overline{w}^b = w^b + K_P e + K_I \int e \quad (4.10)$$

$$\hat{q}' = \frac{1}{2}\hat{q} \otimes p(\overline{w}^b) \quad (4.11)$$

Yukarıda (4.10) PI kontrolör kullanılarak jiroskop verilerindeki hata minimize edilmeye çalışılmıştır. 4.11'de ise kuaternion türevi alınır. Ardından rotasyon bulunur. Ardından işlemler belirlenen örnekleme frekansında tekrarlanır. Şekil 4.20'de rotasyon elde edilimi için kullanılan bu filtreye ait blok diyagramı verilmiştir.



Şekil 4.20. Yaw Açısı Elde Etmek İçin Kullanılan Filtreye Ait Blok Diyagram

5. DEĞERLENDİRME VE SONUÇ

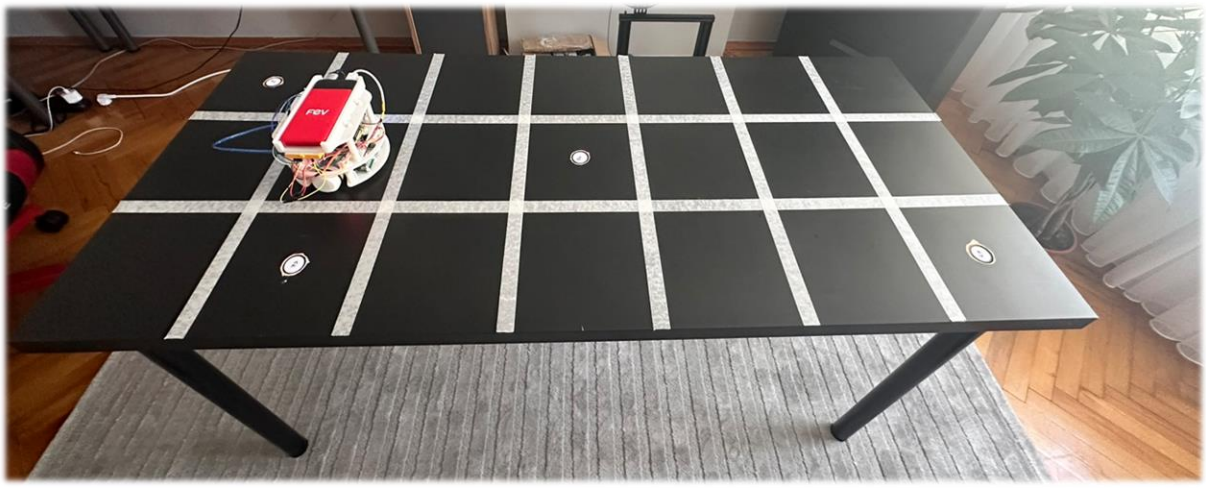
5.1. Giriş

Tasarlanan otonom yönlendirmeli araç belirlenen test alanı içerisinde hedeflenen lokasyonlara şarj süresi olan 200 dakika boyunca gitmiştir. Burada aracın temel lokalizasyon ve navigasyonu için kullanılan sensörlerin performansı test edilmiştir. Belirlenen sensör setiyle aracın hedeflenen lokasyonlara yüksek doğruluk oranıyla gittiği saptanmıştır. Aynı zamanda aracın yönünü kontrol eden jiroskop sensör için kullanılan filtrenin performansı da analiz edilmiştir.

5.2. Proje Sonuçları

5.2.1. Performans

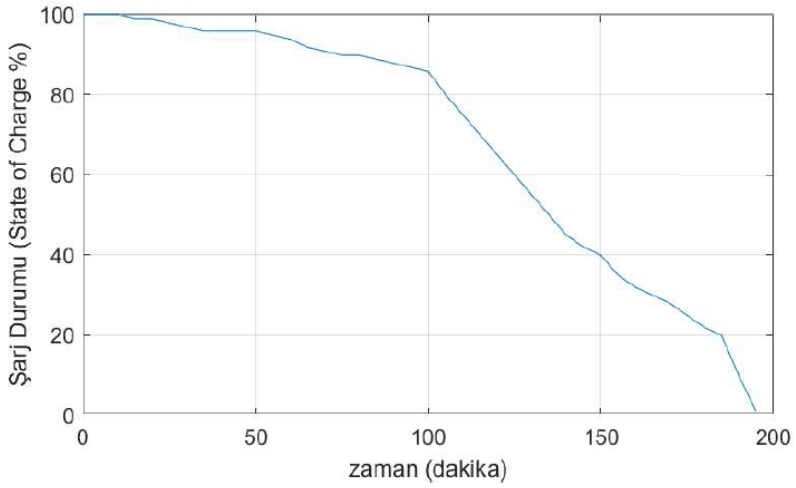
Otonom yönlendirmeli araç için aşağıdaki görseldeki test alanında geliştirmeler yapılmıştır. Aracın hareketine ait bütün testler ve geliştirmeler burada yapılmıştır. RFID etiketler test sahasının içerisine gömülmüştür. Burada etiketlerin gömülmesindeki sebep, aracın sürtünmesi bir yüzeyde doğru hareketi yapmasıdır. Şekil 5.1'de hazırlanan test ortamının ve otonom yönlendirmeli aracın fotoğrafı veirlmiştir.



Şekil 5.1. Tasarlanan Otonom Yönlendirmeli Araç İçin Hazırlanan Test Alanı

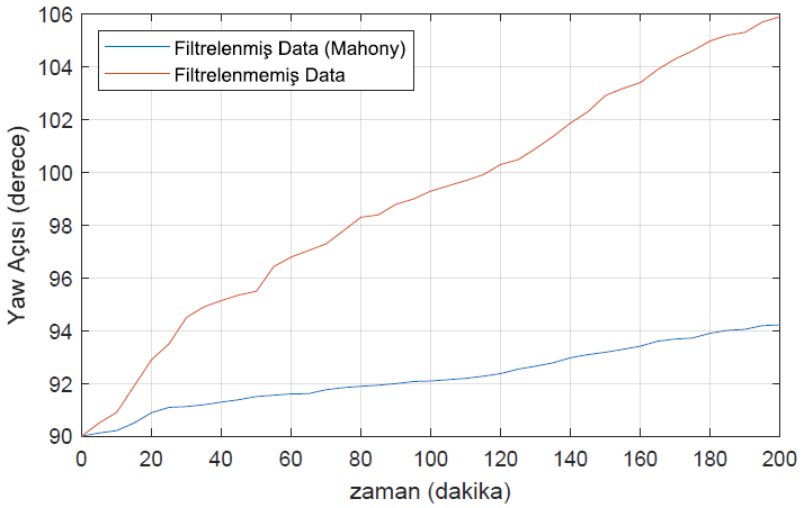
Araç için hazırlanan senaryoda belirlenen hedef lokasyonlara gitmeden önce araca ait kullanım senaryosunda aracın tam şarj ile ne kadar süre operasyona devam edeceği

saptanmıştır. Bu süre yaklaşık olarak 200 dakikadır. Bu 200 dakika içerisindeki şarj durumuna ait değişim Şekil 5.2'de verilmiştir.



Şekil 5.2. Tasarlanan Otonom Yönlendirmeli Araç Operasyonel Şarj Durumu Değişimi

Otonom yönlendirmeli araç için hazırlanan senaryoda operasyon içerisinde aracın bataryası yaklaşık 200 dakika boyunca tüm elektronik komponentleri besleyebilmektedir. Batarya kapasitesi arttırılarak, sistemin çalışma süresi arttırılabilir. Tasarlanan otonom yönlendirmeli araç için bir başka önemli konu ise aracın ileri yönde oryantasyon açısının belirlenen filtre uygulanarak değişiminin analizidir. Şarj süresi boyunca hem uygulanan filtre ile hem de filtre uygulamadan jiroskop sensöründen veriler elde edilmiştir. Filtre kullanılarak yapılan algoritmanın çok daha verimli olduğu görülmüştür. Şekil 5.3'te filtrenin kullanıldığı ve kullanılmadığı senaryoda Yaw açısının değişimi görülmektedir.



Şekil 5.3. MPU6050 Jiroskop Verisinin Filtreli ve Filtresiz Olarak Karşılaştırılması

5.2.2. Tasarım Başarı Durumu, Maliyet ve Ergonomi

Tasarlanan otonom yönlendirmeli araçta ilk olarak belirlenen form daire formudur. Daire formu sayesinde aracın kendi ekseni etrafında ve açısal dönüşleri hassas olarak sağlanmıştır. Aynı zamanda diferansiyel sürüş metodu kullanıldığı için araç kendi ekseni etrafında dönerken motorların ve pasif tekerleklerin test alanına dokunduğu çizgi tam bir daire formu oluşturmaktadır. Belirlenen ızgara ve yerleşiminde bu sayede tasarlanan araç hassas bir şekilde hareket etmekte ve bu hareketler geliştirme esnasında kolaylık sağlamaktadır. Yapılan testler ve geliştirmeler neticesinde uygulanan daire formlu tasarım belirlenen hedeflere ulaşmış ve başarılı olmuştur. Kullanılan step motorların geliştirme esnasında yapılan hesaplamalara orantılı olarak sürüldüğü ve uygulamada hassas hareketleri sağladığı saptanmıştır. Ergonomik olarak yapılan 2 katlı tasarımda aracın ağırlık merkezi aşağıda tutulmuş herhangi bir devrilme etkisine karşı önlem alınmıştır. Araçta bütün elektronik komponentler sabit bir şekilde yerleştirilmiştir. Radyo frekans alıcının araç ile zemin arasındaki mesafesi 5 milimetredir. Test alanında oluşturulan pürüzsüz yüzey sayesinde ve bu mesafenin kısa olmasından dolayı araç RFID pasif etiketleri yüksek bir doğruluk oranıyla okumaktadır ve kaçırmaktadır. Lokasyon tespiti için bu büyük önem arz etmektedir. Maliyet açısındansa araçta kullanılan sensör seti diğer otonom yönlendirmeli araçlara kıyasla daha az komponent içermektedir. Bu da proje başında belirlenen düşük maliyetli ve daha geniş kitleye hitap eden bu ürünün ulaşılabilir olmasını sağlamıştır. Diğer otonom yönlendirmeli araçlarda kullanılan pahalı komponentler (kamera, lidar) olmadan da belirli bir senaryoda aynı görevleri yerine getirebilecek bir ürün ortaya çıkarılmıştır.

5.2.3. Gelecekte Oluşturulabilecek Çalışmalar

Otonom yönlendirmeli araç yelpazesinde nitelik ve amaç olarak çok farklı araçlar bulunmaktadır. Bu çalışmada anlatılmak istenen, maliyeti çok yüksek olan araçlar yerine küçük ve orta ölçekte işletmelerin ve büyük işletmelerin belirli operasyonlarında kullanılabilecek, sensör seti RFID alıcı ve jiroskop modül olan araç ile belirlenen senaryoda operasyon gerçekleştirmektir. Bu operasyonda araç anlık lokasyondan belirlenen lokasyona kendi içerisinde bir algoritma vasıtasıyla hareket etmektedir. Araç bu hareketleri belirlenen ızgaralar içerisinde yapmaktadır. Burada bu senaryonun belirlenmesinin nedeni aracın temel hareketlerini göstermektir. Bu çalışma gerçek hayatta profesyonel olarak uygulandığında aracın çalışma ortamında toplama alanları, raf ve dolap gibi stok alanları senaryo içerisine dahil edilebilir. Aynı zamanda aracın üstüne ağırlık sensörü yerleştirilip taşınan objeye ait ağırlık bilgisi elde edilebilir. Bir başka alternatif olarak araç üzerine gerekli hesaplamalar yapıldıktan sonra konveyör rulo bant montaj edilebilir ve bu sayede araç konveyör bant ile endüstriyel otomasyon sektöründe de rol alabilir. Bu çalışmada tasarlanan araç tüm bu uygulamalar için konfigüre edilebilir.

5.3. Sonuç

Proje başında belirlenen hedefler olan otonom yönlendirmeli aracın iç mekandaki lokalizasyonu RFID yöntemiyle gerçekleştirilmiştir. Belirlenen hedeflere yüksek doğruluk oranıyla gidilmiştir. Aynı zamanda proje başında belirtildiği gibi sistemin düşük maliyetli olması hedeflenmiştir. Tüm bu verileri kontrol edebilmek için bir yönetim paneli geliştirilmiştir. Aynı zamanda jiroskop sensörü vasıtasıyla aracın oryantasyon açısının kontrolü yapılmıştır. Belirlenen sensör setiyle bu düşük maliyetli otonom yönlendirmeli araç hedefine ulaşılmıştır. Aracın boyutları ve çalışma alanı çalışılacak operasyon alanı ve isteklerine göre konfigüre edilebilir.

KAYNAKLAR

1. Shaoping Lu, Chen Xu, Ray Y. Zhong (2018). A passive RFID tag-based locating and navigating approach for automated guided vehicle. Computers & Industrial Engineering, vol. 125, pp. 628-636.
2. J. Lopez, E. Zalama (2022), A simulation and control framework for AGV based transport systems. Simulation Modelling Practice and Theory, vol. 116, 102430.
3. M.R. Modeer (2019), Compensating Signal Loss in RFID-Based Localization Systems. IFAC-PapersOnline, vol. 52, pp. 142-147.
4. A. Codas, M. Devy, C. Lemaire (2010). Robot Localization Algorithm using Odometry and RFID Technology. IFAC Proceedings Volumes, vol. 43, pp. 569-574.
5. J.D.L. Morenas, A.G. Higuera P.G. Ansola (2012), Distributed Automatic Control System Supported by RFID Applied to a Logistic Centre Test Bench. IFAC Proceedings Volumes, vol. 45, pp.679-684.
6. S. Huang (2017), A Real-time Location System Based on RFID and UWB for Digital Manufacturing Workshop. Procedia CIRP, vol. 63, pp. 132-137.
7. H. Hu, X.Jia (2020), Deep reinforcement learning based AGVs real-time scheduling with mixed rule for flexible shop floor in industry 4.0. Computers & Industrial Engineering, vol.149, 106749.
8. S. Maza (2023), Hybrid supervisory-based architecture for robust control of Bi-directional AGVs. Computers in Industry, vol.144, 103797.
9. H. Neradilova (2017), Simulation of the Supply of Workplaces by the AGV in the Digital Factory. Procedia Engineering, vol.192, pp.638-643.
10. T. Shimura (2020), Service robot introduction to a restaurant enhances both labor productivity and service quality. Procedia CIRP, vol. 88, pp. 589-594.
11. J. Zhang, X. Yang (2023), Automated guided vehicles and autonomous mobile robots for recognition and tracking in civil engineering. Automation in Construction, vol. 146, 104699.
12. J. Yagi (2005), Parts and packets unification radio frequency identification (RFID) application for construction, Automation in Construction, vol. 14, pp. 477-490.
13. J.L.Hou (2011), An RFID-based Shopping Service System for retailers. Advanced Engineering Informatics, vol. 25, pp. 103-115.
14. M. Matsuoka, T.Watanabe (2008), Flexible Manufacturing by Application of RFID and Sensors in Robot Cell Manufacturing Systems. IFAC Proceedings Volumes, vol. 41, pp.

6739-6744.

15. T. Tsukiyama (2011), RFID Based Navigation System for Indoor Mobile Robots. IFAC Proceedings Volumes, vol. 44, pp. 1084-1089.
16. A. Kumar (2014), RFID-enabled process reengineering of closed-loop supply chains in the healthcare industry of Singapore. Journal of Cleaner Production, vol. 85, pp. 382-394.
17. D.F. Carlson (2023), Compact and modular autonomous surface vehicle for water research: The Naval Operating Research Drone Assessing Climate Change. HardwareX, vol. 15, e00453.
18. N. Ruslan (2023), Modelling and control strategies in path tracking control for autonomous tracked vehicles: A review of state of the art and challenges. Journal of Terramechanics, vol. 105, pp. 67-79.
19. S. Gartner (2023), Data-Driven Surface Classification for Differential Drive Autonomous Guided Vehicles. Procedia Computer Sciences, vol. 217, pp. 1452-1461.
20. X. Di (2021), A survey on autonomous vehicle control in the era of mixed-autonomy: From physics-based to AI-guided driving policy learning. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, vol. 125, 103008.
21. Automatic Fast Charging of Autonomous Guided Vehicles (AGVs). https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=15531, 22.04.2023..
22. Z. Peng, N. Gu, Y. Zhang, Y. Liu, D. Wang (2019), Path-guided time-varying formation control with collision avoidance and connectivity preservation of under-actuated autonomous surface vehicles subject to unknown input gains. Ocean Engineering, vol. 191, 106501.
23. T. Chen, Y. Cai, L. Chen (2021), Trajectory tracking control of steer-by-wire autonomous ground vehicle considering the complete failure of vehicle steering motor. Simulation Modelling Practice and Theory, vol. 109, pp. 102235.
24. H. Ignatious (2023), Sensor Technology of Autonomous Vehicles. Encyclopedia of Sensors and Biosensors, vol. 4, pp. 35-51.
25. V. Indragandhi, R. Selvamathi, V. Subramaniyaswamy (2022), Chapter 6 - BLDC-based drives control and simulation. Electric Motor Drives and their Applications with Simulation Practices, pp. 327-270.
26. T. Kathmann (2023), Autonomous vehicles as self-driving assembly items: Functional requirements and ramifications for assembly sequences, automotive design and performance. Journal of Manufacturing Systems, vol. 70, pp. 327-344.

27. T. Kathmann (2023), Autonomous vehicles as self-driving assembly items: Functional requirements and ramifications for assembly sequences, automotive design and performance. Journal of Manufacturing Systems, vol. 70, pp. 327-344.
28. AGV'ler / AMR'ler için kompakt tahrik sistemi. https://tr.framo-morat.com/agvler-amrler-icin-kompakt-tahrik-sistemi/10431/, 03.02.2023.
29. G.H.R. Hasanhendoei (2023), Automatic and real time phase advancing in BLDC motor by employing an electronic governor for a desired speed-torque/angle profile. E-Prime – Advances in Electrical Engineering, Electronics and Energy, vol. 4, 100111.
30. E.B. Kashani (2021), Reduction of torque ripple in an electrolytic capacitor-less BLDC motor drive by simultaneous speed and torque control method. Ain Shams Engineering Journal, vol. 12, pp. 3703, 3709.
31. Selecting Electric Traction Solutions for AGVs and Mobile Robots. https://www.techbriefs.com/component/content/article/tb/supplements/md/features/articles/34112, 11.02.2023.
32. Selecting Electric Traction Solutions for AGVs and Mobile Robots. https://www.techbriefs.com/component/content/article/tb/supplements/md/features/articles/34112, 11.02.2023.
33. Electric Motor Sizing and Selection Explained. https://eepower.com/technical-articles/electric-motor-sizing-and-selection-explained/, 11.02.2023.
34. Electric Motor Sizing and Selection Explained. https://eepower.com/technical-articles/electric-motor-sizing-and-selection-explained/, 11.02.2023.
35. Electric Motor Sizing and Selection Explained. https://eepower.com/technical-articles/electric-motor-sizing-and-selection-explained/, 11.02.2023.
36. Electric Motor Sizing and Selection Explained. https://eepower.com/technical-articles/electric-motor-sizing-and-selection-explained/, 11.02.2023.
37. Electric Motor Sizing and Selection Explained. https://eepower.com/technical-articles/electric-motor-sizing-and-selection-explained/, 11.02.2023.
38. D. McNulty, A. Hennessy (2022), A review of Li-ion batteries for autonomous mobile robots: Perspectives and outlook for the future. Journal of Power Sources, vol. 545, 231943.
39. R. Xu, P. Dong (2022), An embedded ultrasonic sensor for monitoring acoustic emissions in laboratory earthquake experiments. Mesaurement, vol. 202, 111800.
40. J.J. Wall (2023), Irradiation of ultrasonic sensors and adhesive couplants for application in

light water reactor primary loop piping and components. Nuclear Engineering and Design, vol. 414, 112594.

41. B. Kuang (2023), Self-supervised learning-based two-phase flow regime identification using ultrasonic sensors in an S-shape riser. Expert Systems with Applications, vol. 236, 121414.
42. RealSense Depth Camera D455. https://www.mouser.com.tr/new/intel/intel-realsense-depth-camera-d455/, 16.02.2023.
43. R. Müller (2016), Fast and precise large area metrology of micropattern detectors using laser distance sensors. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipments, vol. 824, pp. 215-217.
44. X. Wang, J. Zhu (2023), Vehicle-mounted imaging lidar with nonuniform distribution of instantaneous field of view. Optics & Laser Technology, vol. 169, 110063.
45. K.T. Goetz R. Soitinaho, T. Oksanen (2023), Ploughing furrow recognition for onland ploughing using a 3D-LiDAR sensor. Computers and Electronics in Agriculture, vol. 210, 107941.
46. Y. Liu, Y. Bao (2023), Real-time remote measurement of distance using ultra-wideband (UWB) sensors. Automation in Construction, vol. 150, 104849.
47. A. Takagaki (2013), Image Processing for Ridge/Furrow Discrimination for Autonomous Agricultural Vehicles Navigation. IFAC Proceedings Volumes, vol. 46, pp. 47-51.
48. J. Cheng, L. Zhang (2023), Map aided visual-inertial fusion localization method for autonomous driving vehicles. Measurement, vol. 221, 113432.
49. How Sensors Are Moving Materials Handling Toward Safe Automation. https://epsnews.com/2018/06/05/sensors-enabling-safe-automation/, 25.02.2023.
50. G. Casella, B. Bigliardi, E. Bottani (2022), The evolution of RFID technology in the logistics field: a review. Procedia Computer Science, vol. 200, pp. 1582-1592.
51. I. Popova, E. Abdullina (2021), Application of the RFID technology in logistics. Transportation Research Procedia, vol. 57, pp. 452-462.
52. Smartcards and RFID Cards for Employees. https://instantcard.net/what-are-smartcards-and-rfid-cards-for-employees/, 27.02.2023.
53. 28BYJ-48 Stepper Motor (5V DC). https://quartzcomponents.com/products/28byj-48-stepper-motor, 09.03.2023.

54. In-Depth: Control 28BYJ-48 Stepper Motor with ULN2003 Driver & Arduino. https://lastminuteengineers.com/28byj48-stepper-motor-arduino-tutorial/, 09.03.2023.
55. In-Depth: Control 28BYJ-48 Stepper Motor with ULN2003 Driver & Arduino. https://lastminuteengineers.com/28byj48-stepper-motor-arduino-tutorial/, 09.03.2023.
56. ULN2003A. https://en.wikipedia.org/wiki/ULN2003A, 09.03.2023.
57. Raspberry Pi GPIO Pinout. https://pinout.xyz/, 14.03.2023.
58. Raspberry Pi Documentation – Raspberry Pi Hardware. https://www.raspberrypi.com/documentation/computers/raspberry-pi.html, 14.03.2023.
59. Arduino Nano. https://store.arduino.cc/products/arduino-nano, 21.03.2023.
60. MPU6050 Module Pinout, Configuration, Features. https://components101.com/sensors/mpu6050-module, 16.04.2023.
61. G. Li, F. Liu, S. Yang, J.T. Liu (2023), High-sensitivity MEMS force and acceleration sensor based on graphene-induced non-radiative transition. Carbon, vol. 209, 118001.
62. A. Pajaziti, L. Gara (2019), Navigation of Self-Balancing Mobile Robot through Sensors. IFAC-PapersOnLine, vol. 52, pp. 429-434.
63. B. Zhang, W. Li J. Pu Y. Bi Y. Huang (2023), Dilative and compressive Coriolis effect on granular impact behavior based on centrifuge modeling and DEM simulation. Engineering Geology, vol.323, 107232.
64. How MPU6050 Module Works. https://circuitdigest.com/microcontroller-projects/interfacing-mpu6050-module-with-arduino, 16.04.2023.
65. MPU6050 Accelerometer and Gyroscope. https://randomnerdtutorials.com/arduino-mpu-6050-accelerometer-gyroscope/#:~:text=The%20MPU%2D6050%20measures%20acceleration,and%20pitch%20angles%20using%20trigonometry, 16.04.2023.
66. MPU6050 Accelerometer and Gyroscope. https://randomnerdtutorials.com/arduino-mpu-6050-accelerometer-gyroscope/#:~:text=The%20MPU%2D6050%20measures%20acceleration,and%20pitch%20angles%20using%20trigonometry, 16.04.2023.
67. In-Depth: What is RFID? How it Works? Interface RC522 with Arduino. https://lastminuteengineers.com/how-rfid-works-rc522-arduino-tutorial/, 12.05.2023.
68. MFRC522 RFID Reader with Arduino. https://randomnerdtutorials.com/security-access-using-mfrc522-rfid-reader-with-arduino/, 12.05.2023.
69. In-Depth: What is RFID? How it Works? Interface RC522 with Arduino.

https://lastminuteengineers.com/how-rfid-works-rc522-arduino-tutorial/, 12.05.2023.

70. X. Fengxia, X. Gang, Z. Ming, S. Baoku, Z. Xuezeng (2007), Improvement of precision for pendulous integrating gyro accelerometer via adaptive internal model control. Journal of Systems Engineeing and Electronics, vol. 18, pp. 841-845.
71. Y. Yang, D. Zhao, W. Liu, H. Cao, C. Wang, J. Tang, C. Shen (2022), Pitch angle sliding variance test method based on Mahony filter for zero-velocity detection. Measurement, vol. 205, 112145.

ÖZGEÇMİŞ

Ad : Bekir

Soyad : EMANET

Eğitim Bilgileri

2020, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Elektronik Mühendisliği Yüksek Lisans Programı, İstanbul.

2014, Karabük Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği, Karabük

Akademik Yayınlar

Emanet B.., Kiyak İ., "RFID Based Indoor Localızatıon For Autonomous Guıded Vehıcles Applıcatıon And Management Panel", International Symposium on Automotive Sciences and Technology (ISASTECH), Ankara, Türkiye, 2023.

Emanet B., Kiyak İ., "Performance Effective Battery Management System (BMS) Design of Mini Electric Vehicles", International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies (ISMSIT), Ankara, Türkiye, 2021.