



T.C.
NECMETTİN ERBAKAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

HASTANELERDE HASTALARIN ve
İLAÇLARIN ROBOTLARLA TAŞINMASI

YAVUZ BUYRUKBİLEN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı

Kasım-2023
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Yavuz BUYRUKBİLEN tarafından hazırlanan “**HASTAHANELERDE HASTALARIN VE İLAÇLARIN ROBOTLARLA TAŞINMASI**” adlı tez çalışması 01/07/2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından **oy birliği** ile Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan

Prof. Dr. Sabri KOÇER

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Yusuf UZUN

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Onur İNAN

İmza

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Şerife Yurdağül KUMCU
Enstitü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all materials and results that are not original to this work.

Yavuz BUYRUKBİLEN

Tarih: 20/11/2023

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**HASTAHANELERDE HASTALARIN VE İLAÇLARIN ROBOTLARLA
TAŞINMASI**

Yavuz BUYRUKBİLEN

**Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Yusuf UZUN

2023, 64 Sayfa

Jüri

Dr. Öğr. Üyesi Yusuf UZUN

Prof. Dr. Sabri KOÇER

Dr. Öğr. Üyesi Onur İNAN

Çizgi izleyen robotlar (Line Follower Robot-(LFR)) endüstri alanında, marketlerde, hastanelerde askeri tesislerde yük ve insan taşımada, tarımda sulama sistemlerinde, görme engelli bireylerin çalışma ortamlarını tanınmasında ve engelli bireylere refakat eden bir yardımcı olarak birçok alanda kullanılmaktadır. 2019 yılında ortaya çıkan korana virüs salgınından dolayı LFR'lerin virüslü hastaların taşınmasında kullanılması, hastanede çalışan personelin virüslü hastalarla en az düzeyde temas etmesini sağlayarak personelin sağlığının korunmasına yardımcı olacaktır. LFR'nin otonom olarak takip edeceği yol, LFR'nin bulunduğu zemine, zemin renginden farklı bir çizgi oluşturulmasıyla belirlenir. LFR oluşturulan yolu takip etmek için Infrared (IR) sensörleri kullanır. Sensörlerden gelen bilgiler mikrodenetleyici tarafından işlenerek, LFR'nin çizginin durumuna göre konum bilgisi hesaplanır. Konum bilgisinin en kısa sürede, hatasız bir şekilde hesaplanması LFR'nin otonom kontrolü için önemlidir. Bu projede IR sensörlerden elde edile bilgilerin, mikrodenetleyicinin ADC (Analog-Digital Converter) portlarında 1024 parçaya ayrıldıktan sonra her bir parçanın bir program algoritması ile değerlendirilip LFR için pozisyon bilgisi üretilmesi aynı zamanda bir adet IR sensör kullanılarak yapılan kodlayıcı ile, LFR tekerlerinin dönüş sayısı sayılarak LFR'nin ilerlediği mesafe ölçülmüştür. Program algoritmasında elde edilen pozisyon bilgisi PID algoritmasında işlenerek LFR motorların kontrolleri sağlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Arduino, ADC Converter, Encoder, IR Sensor, Motor Driver, PID Kontrol

ABSTRACT

MS THESIS

**USING ROBOTS FOR TRANSPORTATION OF PATIENTS AND MEDICINES
IN HOSPITALS**

Yavuz BUYRUKBİLEN

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF
NECMETTİN ERBAKAN UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE OF PHILOSOPHY
IN COMPUTER ENGINEERING**

Advisor: Asst. Prof. Dr. Yusuf UZUN

2023, 64 Pages

Jury

Asst. Prof. Dr. Yusuf UZUN

Prof. Dr. Sabri KOÇER

Asst. Prof. Dr. Onur İNAN

Line follower robots (LFR) are used in industry, markets, hospitals, military facilities, transporting people and cargo, irrigation systems in agriculture, recognizing the working environment of visually impaired people and accompanying disabled individuals in many areas. Due to the corona virus epidemic that emerged in 2019, the utilization of LFRs in the transportation of infected patients will provide protection of the health of the hospital staff by ensuring minimal contact with the infected people. The path that the LFR will follow autonomously is determined by drawing a line which has different color from the color of ground where the LFR is located. LFR uses Infrared (IR) sensors to follow the predetermined path. The data coming from the sensors are processed by the microcontroller, and the position data of the LFR is calculated according to the shape of the line. It is important for the autonomous control of the LFR to calculate the position data in the shortest time and without errors. In this project, the data obtained from the IR sensors are divided into 1024 parts on the ADC (Analog-Digital Converter) ports then each part is processed by the algorithm of the microcontroller to produce position data, at the same time the encoder made by using only one IR sensor in order to calculate distance which LFR moved. The PID algorithm utilizes position data acquired by the program of the microcontroller for controlling motors.

Keywords: Arduino, ADC Converter, Encoder, IR Sensor, Motor Driver, PID Kontrol

ÖNSÖZ

Yüksek Lisans çalışmamda ve bu günlere gelebilmem de her türlü yardımını esirgemeyen danışmanım Seydişehir Ahmet Cengiz Mühendislik Fakültesi Bilgisayar Mühendisliği Bölüm Başkanı Dr. Öğr. Üyesi Yusuf UZUN' a teşekkürü bir borç bilirim.

Hayatımın her aşamasında yanımda olan maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen eşime ve çocuklarıma sonsuz teşekkür ederim.

Yavuz BUYRUKBİLEN
KONYA-2023



İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	5
3. MATERYAL VE YÖNTEM	12
3.1. ÇİZGİ İZLEYEN ROBOTLARDA SENSOR BİLGİLERİNİN OKUNMASI.....	12
3.2. ÇİZGİ İZLEYEN ROBOT MİMARİSİ	18
3.2.1. MİKRODENETLEYİCİ	19
3.2.2. KIZIL ÖTESİ SENSÖR DİZİSİ	21
3.2.3. MOTOR SÜRÜCÜ	22
3.2.4. LM2596 Ayarlanabilir Gerilim Düşürücü Güç Modülü	23
3.2.5. Kızılötesi Mesafe Sensörü - MZ80(E18-D80NK)	24
3.2.6. Kodlayıcı (Encoder)	26
3.2.7. Buton – Sinyal Devresi	27
3.2.8. LFR ELEKTRONİK DEVRE BAĞLANTI ŞEMASI.....	28
3.2.9. Hareket Elemanları.....	29
3.2.10. Ana Gövde (Şasi)	29
3.2.11. Programlama	29
3.2.11.1. Mikro Denetleyicide Sensör Okuma Programının Uygulanması.....	31
3.2.12. PID KONTROL	36
3.2.12.1. Mikro Denetleyicide PID Programının Uygulanması.....	37
3.2.12.2. PID Algoritması Çalışma Analizi	37
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	42
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	45
KAYNAKLAR	46
ÖZGEÇMİŞ	53
YAYINLAR	54

SİMGELER VE KISALTMALAR

Kısaltmalar

LFR	: Line Follower Robot (Çizgi İzleyen Robot)
ADC	: Analog / Digital Converter
DAC	: Digital / Analog Converter
PWM	: Pulse Width Modulation
PID	: Proportional Integral Derivative
IR	: Infrared Led
PWM	: Pulse Width Modulation
DC	: Direct Current



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. 1. (Hastanelerde Kullanılan Servis Robotu, n.d.)	1
Şekil 1. 2. Çizgi İzleyen Servis Robotu (Farkh et al., 2021).....	2
Şekil 3. 1. LFR Çalışma Şeması.....	12
Şekil 3. 2. Arduino Nano – Bilgisayar Seri Port Bağlantısı.....	14
Şekil 3. 3. Arduino Nano – Bilgisayar Seri Port Ekran Seçimi	14
Şekil 3. 4 . Arduino Nano – Bilgisayar Seri Port Ekran Görüntüsü.....	15
Şekil 3. 5. Çizgi İzleyen Robot Yapımında Kullanılan Elektronik Parçalar	18
Şekil 3. 6. (Arduino, 2019).....	19
Şekil 3. 7. 10 Bit ADC Adım Grafiği.....	20
Şekil 3. 8 . (QRD 1114, n.d.).....	21
Şekil 3. 9. Sensör Dizisi	21
Şekil 3. 10 . (STMicroelectronics, 2000)	22
Şekil 3. 11. L298 Motor Sürücü Devresi	23
Şekil 3. 12. (Semiconductor, n.d.).....	23
Şekil 3. 13. LM 2596 Gerilim Regülatörü	24
Şekil 3. 14 . (Wiring the E18-D80NK Infrared Distance Ranging Sensor, n.d.)	24
Şekil 3. 15. (Getting Started with Ultrasonic Module and Arduino , n.d.)	25
Şekil 3. 16. (Getting Started with Ultrasonic Module and Arduino , n.d.)	25
Şekil 3. 17. QRD114 Kodlayıcı ve LFR üzerine Monte Edilmesi	26
Şekil 3. 18. Buton-Sinyal Devresi	27
Şekil 3. 19. LFR Elektronik Bağlantı Şeması	28
Şekil 3. 20. (Tekerlek, n.d.).....	29
Şekil 3. 21. (Redüktörlü Motor, n.d.)	29
Şekil 3. 22. LFR Orta Dik Eksen-Sensörler-Motorların Konumları	37
Şekil 3. 23. Pozisyon Bilgisi 1500	38
Şekil 3. 24. Pozisyon Bilgisi 1000	38
Şekil 3. 25. Pozisyon Bilgisi 2000	39
Şekil 3. 26. Pozisyon Bilgisi 3000	40
Şekil 3. 27. Pozisyon Bilgisi Sıfır	41
Şekil 3. 28. Pozisyon Bilgisi 500	41
Şekil 3. 29. Pozisyon Bilgisi 2500	42
Şekil 4. 1 Yapay Sinir Ağlarının Robot Kontrolünde Kullanılması(Farkh et al., 2021).....	44
Şekil 4. 2. Yapay Sinir Ağlarındaki Sensör Pozisyonları Ve Hata Bilgileri(Farkh et al., 2021)	44
Şekil 5. 1. LFR Prototip	46

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2. 1. Mikro denetleyici ile Kontrol Edilen Sistemlerin Literatürdeki Yeri	6
Çizelge 3. 1 . Sensör Ölçüm-Pozisyon ve Motor PWM Değerleri	16
Çizelge 3. 2. LFR Hata Bilgisinin Hesaplanması.....	30
Çizelge 3. 3. LFR Sensör Okuma Örnek Program	31
Çizelge 3. 4. Sensör Ölçüm-Pozisyon ve Hata Bilgileri	33
Çizelge 3. 5. PID Program Örneği	37
Çizelge 4. 1. Fuzzy Algoritma İçin Sensör Bilgilerinin Sınıflandırılması(Głowicki & Butkiewicz, 2013)	43



1. GİRİŞ

Bilimsel gelişmeler sayesinde robotlar endüstride, marketlerde, hastanelerde, havaalanlarında, eğitimde, savunma sanayisinde ve laboratuvarlar gibi birçok alanda kullanılmaktadır (Abdulhussein & Hadi, 2020). Robot kullanımının tercih edilmesinin en önemli nedeni; robotların tekrarlayan görevleri hızlı bir şekilde yapabilme kapasitesine sahip olan makinalar olmalarıdır (Moulay et al., 2020). Ayrıca robotlar, yüksek hassasiyet ve doğrulukta çalışmakta ve bu sayede insan kaynaklı hatalar en aza indirgenmektedir (Abdulhussein & Hadi, 2020). Daha önce insanların çalıştığı tehlikeli işlerde robotların kullanılması sayesinde çalışanların iş kazalarından ve meslek hastalıklarından korunması hedeflenmektedir (McGinn, 2020). Böylece insanlığın yaşam kalitesinin yükseleceği öngörülmektedir (Chatterjee, 2020). Günümüzde özellikle yaşlı nüfusun arttığı ülkelerde, yaşlıların bakımı için kullanılan servis robotlarına ilgi ve talep her geçen gün artmaktadır (Kasaei et al., 2021).



Şekil 1. 1. (Hastanelerde Kullanılan Servis Robotu, n.d.)

Çizgi izleyen robotlar bir konumdan, diğer bir konuma hareket edebilen makinalardır. Bundan dolayı özellikle taşımacılıkta tercih edilmektedir (Bendimrad et al., 2020). Havaalanlarında yolcuların bagajlarının taşınmasında (Siregar et al., 2021), fabrikalarda malzemelerin bir üretim noktasından diğerine taşınmasında (Bendimrad et al., 2020), süpermarketlerde müşterilerin alışveriş sırasında satın aldıkları ürünlerin taşınmasında (Santoso Gunawan et al., 2021) hastanelerde hastaların taşınmasında kullanılmaktadır (D'auria & Persia, 2021).



Şekil 1. 2. Çizgi İzleyen Servis Robotu (Farkh et al., 2021)

Çizgi izleyen robotların hareketleri sırasında güvenlik çok önemlidir. Robot hareket ederken önüne bir engel çıktığında robot durmalı ve uyarı sinyali vermelidir. Teknolojinin gelişmesiyle robotların hareketlerinin kontrolünde farklı elektronik malzemeler geliştirilmiştir. Öncelikle robotun bir kontrol ünitesine sahip olması gerekir. Kontrol ünitesi robotun çevresiyle olan etkileşimini düzenleyen ve farklı durumlar karşısında otonom olarak karar verebilen elektronik devre elemanlarından oluşmuş bir sistemdir. Çalışma prensibi göz önüne alındığında robotların kontrol ünitelerini bir bilgisayara benzetebiliriz. Fakat her bir robot için bir bilgisayar kullanmak çok pahalı ve gereksizdir. Bundan dolayı tasarlanan robotun işlevini yerine getirmesi için gerekli olan kontrol ünitelerinin, bilgisayarlara göre çok küçük olması ve minimum düzeyde enerji tüketmesi tercih edilmektedir. Örneğin; otomatik olarak açılıp-kapanan bir kapı için bir bilgisayar kullanmak maliyetleri çok arttıracak ve aynı zamanda kullanılan bilgisayarın muhafaza edilmesi için daha fazla alana ihtiyaç duyulacaktır. Ayrıca, bilgisayar devamlı olarak çalışacağı için harcanan enerji miktarı da yüksek olacaktır.

Bu problemleri ortadan kaldırmak için bilgisayarın temel işlemlerini yapabilen, gerektiğinde istenilen çevresel giriş-çıkış birimlerin (sensör, buton, LCD ekran... gibi) ilave edilebildiği mikrodenetleyici sistemleri geliştirilmiştir. Mikrodenetleyicilere küçük bir bilgisayar diyebiliriz (Siregar et al., 2021). Mikrodenetleyiciler robotların çevresel birimler üzerinden aldıkları sinyalleri değerlendirip, kendi kendine karar verebilen yapılardır. Bu iki önemli işlemi yapabilmesi için mikrodenetleyicilerin programlanması gerekir. Örneğin; güneş ışığından elektrik üreten mikrodenetleyici kontrollü bir solar panel sisteminin maksimum verimlilikte çalışması isteniyorsa, güneşin hareketi doğrultusunda konumlandırılması gerekir. Bunun için çevresel giriş elemanlarından elde edilen bilgilere göre solar panel otomatik olarak hareket eder. Solar panel hareketinin gerçekleşeceği durumları belirlemek için mikrodenetleyiciye bu işlemi yapacak komutlar bir algoritma

sırasına göre yüklenir. Mikrodenetleyici yüklenen komutlara bağlı olarak işlem yapar (Munshi et al., 2020).

Mikrodenetleyici çalıştığı ortamdan bilgi alma işlemini elektronik giriş elemanları olarak kullanılan sensörler, butonlar yardımıyla gerçekleştirir (Cerrahpaşa, 2020). Sensörler çevresel değişiklikleri algılayan ve bu değişikliklere göre elektrik sinyali üreten elektronik cihazlardır (Tart, 2022). Sıcaklık sensörleri, kapasitif sensörler, endüktif sensörler, optik sensörler, gaz sensörleri, titreşim sensörleri, radyasyon sensörleri, basınç sensörleri olmak üzere, endüstri, sağlık ve günlük yaşamımızda kullandığımız birçok algılayıcı çeşidi vardır. Hastaların sağlık durumlarının görüntülenmesinde, fabrikalarda üretim aşamalarının kontrolü ve takip edilmesinde, günlük hayatımızda oluşabilecek tehlikelerin devamlı olarak izlenmesinde sensörler kullanılmaktadır (Zamora et al., n.d.) (Cerrahpaşa, 2020). Örneğin; hastaların kalp atışlarının devamlı izlenmesi, Covid-19 gibi hastalıkların tespiti, endüstride ve evlerimizde kullandığımız doğalgaz kaçaklarının tespitinde algılayıcılar hayatımızı kolaylaştıran elektronik devre elemanlarıdır (Ballard et al., 2021). Sensörlerin algıladıkları sinyaller mikrodenetleyiciler tarafından analiz edilir. Bu sinyaller dijital veya analog olabilir. Mikrodenetleyiciler sadece dijital sinyalleri okurlar. Analog sinyaller, dijital sinyale çevrilerek mikrodenetleyici tarafından okunabilir (Iliev, 2020)(Çiçek, 2009).

Analog sinyalleri dijital sinyal parçalarına dönüştüren sistemlere Analog – Dijital Çeviriciler (ADC) denir. ADC'ler yaşadığımız çevre ile mikrodenetleyicilerin haberleşmesini sağlarlar (Çıkan, 2016). Sensörlerden elde edilen analog sinyaller, dijital forma dönüştürüldüğünde, elde edilen dijital sinyaller mikrodenetleyici tarafından bilgi olarak kaydedilebilir. Bu bilgiler kullanılarak kompleks hesaplamalar ve değişen durumlara göre farklı program algoritmaları uygulanabilir (Pelgrom, 2017). Entegre üretim tesislerinde ADC sistemler kullanılarak üretilen çiplerin kontrolünde zamandan ve maliyetten tasarruf sağlanmıştır (Li et al., 2020). Radar sistemlerinde kullanılan ADC algoritmaları ile işlem yapılacak alanın desibel olarak arttığı ve gürültü oranının azaldığı gözlemlenmiştir (Valeriy I. Akimov et al., 2019).

ADC algoritmaları kullanılarak işlenen verilerden elde edilen sonuçlar robotlarda hareketli mekanik parçaların kontrolünde de kullanılır. Bir çizgi izleyen robotta çizginin durumuna göre motorlara verilen gücün ayarlanması gerekir. Örneğin; robot izlediği yolda sağ tarafa doğru kıvrılan bir viraj ile karşılaştığında sağ tekerleğin, sol tekerleğe göre daha yavaş dönmesi gerekir. Böylece robot sağ tarafa doğru bir kavis çizerek virajı takip eder. Virajın durumuna göre motorlara uygulanacak güç dengesinin çok hassas olması gerekir.

Bu hassas dengeyi sağlayabilmek için genel olarak PID kontrol metodu birçok sistemde kullanılmaktadır (Hassan Tariq et al., 2018). Sensörlerden gelen bilgilere göre PID algoritması robotun olması gereken pozisyon bilgisi ile hareket sırasındaki pozisyon bilgisi arasındaki farka göre bir hesaplama yaparak bir elektronik motor sürücüsü ile motorlara PWM sinyalleri gönderir. Böylece motorlara pilde aktarılacak güç miktarı ayarlanır (Skrobek et al., 2018) (Muhammad Farhan Fahim Adnan et al., 2020). Analog olarak okunan sensör verileri kullanılarak yapılan PID kontrolleri, dijital olarak okunan sensör verileri kullanılarak yapılan PID kontrollerinden daha güvenlidir. Bu durumun nedeni ise, dijital veri sadece “1” ve “0” olmak üzere iki sayıdan oluşur (Farkh et al., 2021). Çizgi izleyen robotun IR sensörünün led diyodundan çıkan ışık zemine çarparak fotodiyot üzerine gelir. Eğer fotodiyota gelen ışık fazla ise beyaz zemin olarak algılanır. Sensörün fotodiyodunun üzerine yansıyan ışık az ise siyah zemin olarak algılanır. Sensör okumalarında siyah zemin “0” ve beyaz zemin “1” veri bilgisi olarak isimlendirilir (Alwan et al., 2021). Fakat siyah zeminden beyaz çizgiye geçişte veya tam tersi durumda motorlar bir önceki durum bilgisi olan “0” veya “1” durumuna göre çalışacağı için motorlarda tam bir kontrol sağlanamaz. ADC verilerde ise her bir okunan değer ADC’nin bit çözünürlüğüne göre parçalara ayrıldığı için siyah-beyaz zemin geçişleri algılanarak motorlara gönderilecek PWM sinyalleri artırılarak veya düşürülerek dengeli bir kontrol sağlanır. PID kontrol metodu ile kontrol edilebilecek değişkenler, kontrol edilecek sistemin özelliğine göre değiştirilebildiği için sistemin çok daha verimli çalışması da sağlanır. Bunun için oransal kazanç, türev ve integral kazançlarının sabitlerinin değerlerine, sistemin çalışma durumuna göre farklı değerler verilebilir (Panda, 2012).

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Günümüzde artan nüfusla beraber birçok işlemin daha hızlı ve en az hata ile yapılması büyük önem arz etmektedir. Bu kapsamda bilgisayar teknolojisi geliştirilmiş ve bilgisayarlar hayatımızın bir parçası olmuştur. Bilgisayarlar, merkezi işlem birimi (CPU – Central Processing Unit) sayesinde yüklenen programların tüm işlevlerini yerine getirebilirler. Merkezi işlem birimlerinin çalışabilmesi için hafıza (memory), giriş-çıkış (input-output) ve çevresel birimlere (monitör, klavye, mouse...vb) ihtiyacı vardır. Aynı zamanda bu birimler arasında haberleşmenin sağlanabilmesi için data yolu (data bus) gereklidir. Oluşturulan sistemde her bir birim ayrı bir entegreye sahip olduğu için maliyet artar ve baskı devre üzerinde yer işgaline sebep olur. Mikrodenetleyicilerde ise çevresel birimler hariç tüm birimler bir yonga içindedir. Böylece mikrodenetleyiciler, maliyet, tasarım ve programlamada bize büyük bir katkı sağlarlar (Çiçek, 2009). Mikrodenetleyici çevresel birim olarak kullanılan sensörlerden gelen bilgilere göre sistemleri kontrol etmektedir. Mikrodenetleyiciye gelen bilgiler dijital veya analog bilgidir. Analog bilgilerin mikrodenetleyici tarafından okunabilmesi için dijital bilgiye çevrilmesi gerekir. Ayrıca mikrodenetleyicinin analog sistemleri kontrol edebilmesi için çıkışlarındaki dijital sinyallerin analog bilgiye dönüştürülmesi zorunludur. Bunun için ADC ve DAC modülleri kullanılır (Rapuano et al., 2005). Mikrodenetleyicilerin sensörlerden elde edilen bilgilere göre çıkış bilgilerinin elde edilmesi PID kontrol sayesinde maksimum verimlilikte gerçekleştirilir (Panda, 2012).

Mikrodenetleyici ile kullanılan ADC – DAC modülleri, PID kontrol ve çizgi izleyen robotların kontrolü ile ilgili farklı kaynaklardan yapılan araştırmalar Çizelge 2.1’de verilmiştir.

Çizelge 2. 1. Mikro denetleyici ile Kontrol Edilen Sistemlerin Literatürdeki Yeri

Açıklama Sahibi ve Yılı	ADC – DAC Modülleri ve PID Kontrol
Rapuano et al., 2005	Günümüzde birçok elektronik sistem dijital olarak çalışmaktadır. Dijital sinyal işleyen çiplere genellikle ADC ve DAC modülleri entegre edilir. Böylece çalışabilecekleri uygulama alanları genişletilmiş olur.
Çıkan, 2016	Analog – Dijital çeviriciler analog ve dijital dünya arasında iletişim kurmamızı sağlarlar. ADC performansı belirlenen örnek değer, devrenin tutacağı değer sayısı ve sinyal distorsiyonu gibi nedenlerle sınırlanmaktadır. Etrafımızdaki dünya analog sinyallerden oluşmaktadır. Bu sinyallerin elektronik sistemler tarafından işlenebilmesi için dijital forma dönüştürülmesi gerekir.
Li et al., 2020	Entegre üretim endüstrisinde çiplerin kontrolü zaman ve maliyet açısından çok önemli bir orana sahiptir. Entegrelerin kontrolü sinüs dalgalarıyla yapılmaktadır. Kontrol işlemi için ADC devreler kullanıldığında zamandan ve maliyetten tasarruf sağlanmaktadır.
Valeriy I. Akimov et al., 2019	Dijital sinyal işleme ve radar sistemlerinde kullanılan ADC bit sayısının bir nicelleme (bit sayısına karar verilmesi) algoritması ile ayarlanarak işlem yapılacak alanın desibel olarak arttığı ve gürültü oranlarının azaldığı gözlemlenmiştir.
Pelgrom, 2017	Analog sinyallerin dijital forma dönüştürülmesinin en önemli avantajları; <ul style="list-style-type: none"> • Sinyaller dijital olarak kaydedilebilir. • Kompleks hesaplamalar yapılabilir. • Değişen durumlara göre farklı algoritmalar uygulanabilir. • Sınırsız sinyal gürültü oranı elde edilebilir.
Ruiz-Amaya et al., 2011	İlk olarak analog sinyal örneklenir. Daha sonra dijital olarak kodlanır. Sonuç olarak analog sinyal parçalara bölünür. Bu işlem analog sinyalin genliğini bölünen parçalardan en yakın değere göre örneklediği için sinyal genliği ölçümünde bilgi kaybına neden olur. Gerçek analog sinyalin genliği ile örnekleme yapılarak bölünen sinyal genliği arasındaki nicelleme hatası (quantization error) denir. Parçalara bölünen analog sinyalin genlikleri arasındaki ilk basamak en düşük değerlikli Bit (Least Significant Bit – LSB) olarak isimlendirilir. Sinyal genlikleri arasındaki fark aynı ise standart bir nicelleme (sayısal ifade) elde edilmiştir. Genliğin sayısal olarak ifade edilmesi için N bit binary kod kullanılır. Her bir basamak için elde edilen değer; basamak değeri $= \frac{\text{uygulanan gerilim}}{2^n}$ formülü ile bulunur.
Hassan Tariq et al., 2018	Çizgi izleyen robotlar sulama sistemleri, hastanelerde ve yük taşımak için birçok uygulamada kullanılmaktadır. Sensörlerden gelen bilgiler, PID algoritması ile işlenerek DC motorların kontrolü sağlanır.

Junghan Park et al., 2019	MoS ₂ fototransistörler aydınlık ve karanlık durumlarda farklı karakteristik özelliklere sahiptirler. Karanlık ortamda MoS ₂ üzerinden geçen akım azalmakta, aydınlık ortamda ise akım artmaktadır.
Subero, 2018 Çiçek, 2009	ADC modülleri mikro denetleyiciler için en önemli modüllerden biridir. Çünkü, biz analog bir dünyada yaşıyoruz. Bilgisayarlar ise dijital sinyalleri işleyebilirler. ADC çeviriciler analog sinyalleri, dijital sinyallere çevirerek, analog sinyallerin bilgisayarlar tarafından anlaşılmasını sağlarlar. ADC belirli bir çözünürlük (resolution) bit sayısına sahiptir. Yüksek çözünürlük analog sinyalin daha fazla basamak sayısına bölünmesini sağlar. 10 bitlik bir ADC çözünürlüğü $2^{10} = 1024$ basamak sayısını ifade eder. Basamaklar 0-1023 arası değere sahiptir. Analog sinyalin genliği 5 volt ise her bir basamak arası fark $\frac{5V}{1024} = 0,0048$ volt olarak bulunur.
Pakdaman & Sanaatiyan, 2009	Çizgi izleyen robotlar yere çizilen bir çizgiyi (siyah zemin üzerine beyaz çizgi veya tam tersi) takip eden robotlardır. Çizgiyi izlemek için görüntü işleme veya IR sensörlerden gelen bilgilerin işlenmesi metotları kullanılır. Her iki metot için yüksek çözünürlüklü bilgi akışının sağlanması gerekir. IR sensörlerden gelen bilgileri analog okuyup dijital yapıya dönüştürmek için LM324 entegresi kullanılır.
Gheorghe, 2018	PID bir geri beslemeli kontrol olup, seçilen değer ile ölçülen değerler arasındaki hata değerini hesaplar. PID açılımında, "P" (proportional) harfi oransal hata denetimini, "I" (integral) harfi geçmiş hataların denetimini, "D" (derivative) harfi gelecek hataların denetimini gerçek zamanlı okunan değerlere göre sağlar.
Kurniawan et al., 2016	Sensörler ve elektronik devre elemanlarında oluşan akıllı kontrol sistemleri ile taşımacılık daha kolay ve etkin bir şekilde yapılır. Bu çalışmada Legolardan tasarlanan segway robot ile motorların kontrolü PID algoritması ile ve çizgiyi takip etmek için renk sensöründen faydalanılmıştır.
Alwan et al., 2021	Çizgi izleyen robotların en önemli problemi takip edecekleri yolun en kısa sürede ve hatasız tamamlamaları gerektiğidir. IR sensörlerden elde edilen bilgiler PID algoritmasında işlenerek robotun kontrolü sağlanır. IR sensörlerden gelen bilgiler Planck's radiation law prensibine göre değerlendirilir. IR sensörün led diyodundan çıkan ışık zemine çarparak fotodiyot üzerine gelir. Eğer fotodiyota gelen ışık fazla ise beyaz zemin olarak algılanır. Fotodiyot üzerine yansıyan ışık az ise siyah zemin olarak algılanır. Sensör okumalarında siyah zemin "0" ve beyaz zemin "1" olarak algılanır. Motor kontrolleri de dijital olarak yapılır.

Panda, 2012	PID kontrol metodu ile kontrol edilebilecek değişkenler değiştirilebildiği gibi spesifik bir performans da sağlanır. Bunun için oransal kazanç, türev ve integral kazançlarının sabitleri zamana göre farklı değerler alabilirler.
Matiřák et al., 2019	Towercopter uygulamasında sensörlerden gelen bilgiler PID algoritmasında değerlendirilerek towercopter kontrolü sağlanmıştır. Towercopter'ın çıkması gereken yükseklik kullanıcı tarafından girilerek gereken pervane hızı MATLAB simülasyonda hesaplanarak gerçek deneyler için bir model hazırlanmıştır.
Hasan et al., 2012	Çizgi izleyen robot, zemindeki çizgiyi okumak için IR led ve LDR kullanır. IR led zemine ışık gönderir. LDR üzerine yansıyan ışık düşer. LDR üzerine düşen ışığın şiddetine göre iletkenliği değişir. LDR'ye bağlı direnç üzerinde gerilim değişimi meydana gelir. Bu değişim LM324 karşılaştırıcı tarafından işlenerek motorların kontrolü sağlanır. Kontrol dijital olarak sağlanır. İzlenecek yol da dijital olarak takip edilir.
Głowicki & Butkiewicz, 2013	Fuzzy kontrol ile yapılan çizgi izleyen robotlarda sensörlerden elde edilen analog sinyaller belirli aralık değerleri ile bölümlere ayrılır. Örneğin; 0V-3.6V 3V-4.3V 3.6V-4.8V 4.3V-5V Motor kontrolleri bu değer aralıklarına göre yapılır.
Moulay et al., 2020	FPGA kullanılarak kontrolü sağlanan robotlarda ultrasonic yaklaşım sensörü kullanılarak izlenen yolda robotun önüne çıkan cisimler algılanarak robotun durması sağlanır.
Tayal et al., 2020	Robotlar belirli hareketleri devamlı, yüksek hız ve hassasiyette yapan makinalardır. Bu çalışmada yapılan çizgi izleyen robotta iki adet sensör kullanılmış ve sensörlerden gelen bilgiler dijital formda işlenmiştir. Dönüşlerde motorların bir dururken diğeri çalışır.
K.Khade et al., 2017	Çizgi izleyen sistemlerde siyah – beyaz zeminleri ayırmak için okunan analog değerler bir karşılaştırıcı yardımı ile dijital sinyallere çevrilir. Üretilen dijital sinyal mikro denetleyiciye gönderilir. Bazı çizgi izleyen sistemlerde bir sensörün zemine gönderip yansıyan IR led sinyali, aynı sensöre yakın diğer sensörleri de etkilemektedir. RGB led ve fototransistör kullanılarak farklı zemin renklerinde hareket edebilen bir çizgi izleyen imal edilebilir.
Farkh et al., 2021	ANN (Artificial Neural Network Mathematical Model) kullanılarak sensörlerden gelen bilgiler işlenerek hata tahmininde bulunan bu sistemde sensör bilgileri dijital olarak (TTL) okunmaktadır.

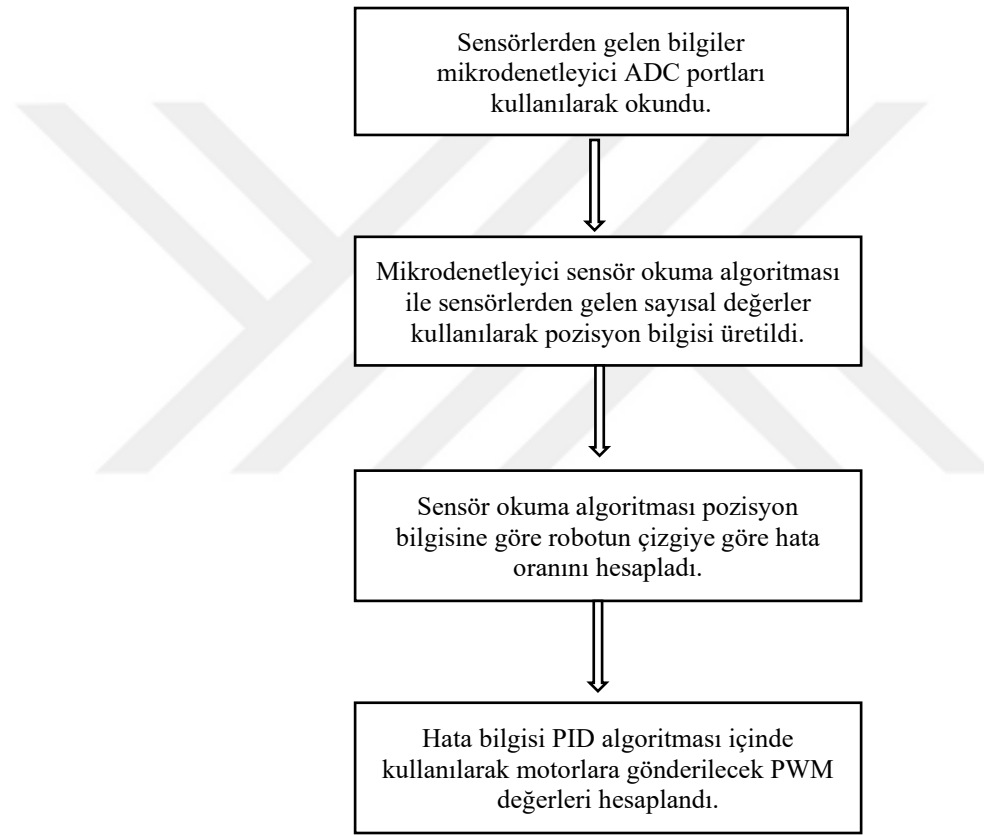
Santoso Gunawan et al., 2021	Akıllı market arabaları çizgi izleyen robotlarda olduğu gibi çizgi takibi yaparak müşterilerin daha kolay alışveriş yapmasını sağlarlar. Çizgi izleyen arabanın konum bilgisi RFID etiketleri ile sağlansa da yine çizgi takibi gereklidir. Çizgi takibi için BFD-1000 (Infrared Line Tracking Sensor Module) Kullanılmaktadır. BFD-1000 dijital çıkış veren bir sensör modülüdür.
Muhammad Farhan Fahim Adnan et al., 2020	Çizgi izleyen robotlarda kullanılan sensörlerin yatay bir çizgi üzerinde sıralanması diğer sensör dizaynlarına göre daha verimli bir yöntemdir. Çünkü bu metot sayesinde daha az sensör kullanılır ve çizgi daha kolay takip edilir. IR sensörlerden gelen bilgiler Arduino Mega 2560'ın dijital girişlerine bağlanır. Bu sensörlerden gelen dijital sinyallere göre PWM sinyalleri motorlara gönderilir. Fakat her bir motora gönderilen PWM değerleri aynı olsa bile motorların hızları ve çektiği akım tam olarak eşit olmayabilir. Bu durumu önleyebilmek için her bir motorun belirli bir PWM sinyalindeki çektiği akım ve hız değeri bulunmalıdır. PWM sinyalleri her bir motorun eşit hızda dönmesini sağlayacak şekilde motorlara gönderilmelidir.
Bakhshi Nejad Beigzadeh Mahaleh & Mirroshandel, 2022	Kamera sistemlerini kullanan çizgi izleyen robotlarda daha yüksek kapasiteli işlemciye (Rasperi Pi3 with on ARM Processor) ve lazerle elde edilen bilgilerin bir desktop bilgisayara gönderilerek işlenmesi gerekir. Ayrıca robotun gideceği alanın altına döşenen kablolardan yayılan radyo sinyalleri ile robot gideceği yolu takip eder. Başka bir yöntem ise robotun gideceği yolu manyetik bant ile yapmaktır. Robot manyetik bantı takip ederek yolunu bulur.
Abdulhussein & Hadi, 2020	Bilimsel gelişmeler sayesinde robotlar endüstride, restoranlarda, laboratuvarlarda, hastanelerde, eğitim ile ilgili birçok alanda kullanılmaktadır. Çünkü robotlar, yüksek doğruluk ve hassasiyette çalışmakta, insan kaynaklı hataları en az seviyeye indirmektedir. Restoran ve marketler gibi ticari işletmelerde ise firmaların rekabet kapasitesini ve müşteriye yapılan hizmetin kalitesinin artırılmasında önemli bir rol oynamaktadırlar. Güvenlik sektöründe de kullanılan robotlar, güvenlik personelinin karşılaşacağı tehlikeleri azaltarak insan hayatının korunmasına yardımcı olurlar. Bu çalışmada korona virüslü hastaların çizgi izleyen robotlarla hastane içinde taşınarak, hastane personelinin virüslü hastalarla en az düzeyde temas etmesi hedeflenmiştir
Moulay et al., 2020	Günümüzde robotlar, tekrarlayan görevleri hızlı bir şekilde yaptıkları için endüstri alanında tercih edilmektedirler. Aynı zamanda çizgi izleyen robotlar bir ofisteki evrakların dağıtımında, hastanelerde, marketlerde ve askeri tesislerde de kullanılmaktadır. SoC (System on Chip) ve FPGA (Field Programmable Gate Array) dizaynları kullanılarak oluşturulan çizgi izleyen robotlarda ADC088 (8 bit) analog-dijital çevirici kullanılmış ve sensörlerden gelen bilgiler sadece eşik seviyesine göre karşılaştırma yapılarak işleme alınmıştır. Yani belli bir değer altı ve üstü durumuna göre motorlara PWM sinyali gönderilmiş ve çizgi izleyen de motorlar, sağ motor çalışırken sol motor durmuş veya bunun tam tersi olarak bir işlem icra edilmiştir. Sensör dizisindeki orta sensörler tam çizginin üzerindeyken iki motor birden çalıştırılmıştır.

Siregar et al., 2021	Çizgi izleyen robotlar havaalanlarında yolcuların bagajlarının taşınmasında kullanılabilirler. Havaalanına gelen yolcu çizgi izleyen robota bagajlarını yükler. Çizgi izleyen robot önüne bir engel geldiğinde durur, ve uyarı sinyali sesi verir. Engel tespiti için ultrasonic sensör kullanılır.
Bendimrad et al., 2020	Çizgi izleyen robotlar fabrikalarda, malzemelerin bir üretim noktasından diğerine taşınmasında kullanılırlar. Fakat günlük hayatta da birçok kullanım alanı vardır. Çizgi takibinde anlık resimler alan kamera, bir ışık kaynağı ile çalışan LDR veya IR sensörler kullanılabilir. IR sensörler, LDR sensörlerine göre daha hassas ve doğrulukta çalışmaktadır. IR sensörler kamera sistemlerine göre daha ucuzdur. Çizgi izleyen robotun hızını ölçmek için Encoder kullanılır. Encoder tekerleğin aksına monte edilir. Encoder'ın diskindeki yarıklardan geçen infrared ışınlarının sayısına göre hız hesaplanır. LM393 karşılaştırıcı kullanarak elde edilen infrared ışın sayısı, dijital olarak mikro denetleyiciye işlenmek için gönderilir. Çizgi izleyen robot yolun kıvrımlı kesimlerinden dönerken robotun farklı noktalarına monte edilen sensörlerden gelen bilgilere göre geometrik bir hesaplama yapar.
Mohammed et al., 2021	IR sensörler Planck'ın radyasyon prensibi, Stephan Boltzman prensibi ve Wein'in yer değiştirme prensibine göre çalışırlar. Işık beyaz zeminden yansırken, siyah zemin tarafından absorbe edilir. Buna göre IR diyottan çıkan ışın beyaz zemin tarafından yansıtılarak sensörün fotodiyoduna düşer ve fotodiyot üzerinden bir akım geçer. Arduino IDE programı arduino mikrodenetleyicilerin programlanmasında kullanılır. Motorların kontrolünde H-bridge özelliğine sahip motor sürücüler kullanılır. Çizgi izleyen robot istenen ofis odasına gitmek için ESP32 CAM (kamera) sistemi kullanılır. Bu sistem çok karışık olduğu için ESP32 ile beraber birçok geliştirme devresinin kullanılması gerekmektedir.
Joy et al., 2021	Çizgi izleyen robotlar sayesinde Covid-19 gibi hastalarla, hastane personelinin teması en aza indirilir. Bulaşıcı hastalığa yakalanmış hastaların durumları (kalp atış hızı, tansiyon, hastanın vücut sıcaklığı gibi) çizgi izleyen robotlarla kontrol edilir. Robotun nerede olduğu RFID (Radio Frequency Identification) etiketleri ile yapılır.
Poeppel et al., 2023	İnsanlarla robotların aynı iş alanlarında çalışabilmeleri için robotların sensörlere ihtiyaçları vardır. Sensörler sayesinde robotlar ile insanlar arasında oluşabilecek kazalar önlenir. Bir robot kol çalışırken RGB kamera, termal kamera, ve lazer mesafe ölçüm sensörlerini kullanarak etrafındaki değişiklikleri algılar. Farklı sensörlerden gelen bilgilerin toplanarak eş zamanlı işlenmesi ve bu bilgilerin birleştirilmesi robotların daha esnek ve hızla çalışmasını sağlayacaktır.
Kasaei et al., 2021	Servis robotlarının gelişimi ve kullanım alanları artmaktadır. Özellikle yaşlı insanların bu robotların kullanım alanları yaygınlaşmaktadır.
Chatterjee, 2020	Yapay zeka sayesinde robotlar hayatımızın birçok alanında kullanılmaktadır. Örneğin; tarım, eğitim, sağlık. Böylece insanlığın yaşam kalitesi de arttırılmaktadır.

McGinn, 2020	Robotlar öncelikli olarak fabrikalarda zorlu ve tehlikeli görevlerde kullanılmaktadır.
D'auria & Persia, 2021	Covid-19 ile beraber robotlar hayatımızda daha fazla yer almaya başladı. Robotlar hastane, havaalanları, ofisler, fabrikalar ve müzeler gibi birçok alanda kullanılmaktadır
Gugaratshan et al., 2023	Makinalardaki sensörlerden gelen bilgilerin gerçek zamanlı işlenerek, bu bilgilerin birleştirilmesi ile makinalarda meydana gelebilecek hatalar tahmin edilebilir.
Lee et al., 2020	Kodlayıcı tekerleğin şaftının açısız konumunu ölçen bir elektronik elemandır. Kodlayıcının temel verim göstergesi, kodlayıcının algılayabileceği en az seviyedeki açısız yer değiştirmeyi tanımlayan çözünürlüğüdür. Çözünürlük bit olarak ifade edilir. N bit çözünürlüğe sahip bir kodlayıcının en az seviyede algılayacağı açı $\frac{360}{2^N}$ formülü ile bulunur. Kodlayıcılar artımlı kodlayıcı ve mutlak kodlayıcı olmak üzere iki çeşittir. Artımlı kodlayıcılar, basit yapılı, yüksek çözünürlüklü ve düşük fiyatlı oldukları için birçok sistem tarafından kullanılmaktadır.
Zamora et al., n.d.	Çevresel değişiklikleri algılayan cihazlara sensör denir. Bir sensörün hassasiyeti ölçülen sinyalin her bir biriminde oluşan değişikliğin sensörde meydana getirdiği değişim miktarıdır. Sensör çözünürlüğü sensörün algıladığı değerin minimum göstergesidir. Sensör cevap verme süresi, algılanan sinyalin sensör üzerinde meydana getirdiği değişim zamanıdır.
Sumantri et al., 2019	Oransal, integral ve türev kontrol metotlarının birleşiminden meydana gelen PID kontrol robotların otonom olarak dengeli hareket etmelerini sağlamaktadır. PID çok yaygın olarak hatta bilinmeyen sistem metotlarında da kullanılan bir kontrol uygulamasıdır. Ancak PID kontrol kazancı belirli durumlarda ayarlanabilmektedir. Kontrol edilen sistemin değişik parametrelerinden veya bilinmeyen durumlardan kaynaklanan bozukluklar meydana geliyorsa PID ile tam bir kontrol sağlanamaz. Bu durumu önlemek için PID kazancının sistemin değişen durumlarına göre güncellenmesi gerekir.
Gupta, 2010	Bir DC redüktörlü motorun, mikrodenetleyici ve H köprü transistörlerin oluşturduğu motor sürücü devresi sistemi ile kontrolü sağlanır. DC redüktörlü motor saat yönü ve saat yönünün tersi olmak üzere iki yönde de döner. Bunun için H köprüsü motor sürücü devresinin A girişine HIGH (5V), B girişine LOW (0V) verilerek motor bir yönde dönerken, A girişine LOW (0V), B girişine HIGH (5V) verildiğinde motor ters yönde döner.
Vocational, 2023	PID kontrol uygulaması basit, kontrolü kolay, karışık olamayan bir kullanıma sahip olması ve birçok kontrol sisteminde kaliteli bir performans sergilediğinden dolayı endüstriyel alandaki işlemlerin kontrolünde çok fazla tercih edilen bir metottur.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu tez çalışmasında hastanelerde, hastaların ve ilaçların çizgi izleyen robotlarla güvenli bir şekilde taşınmasını sağlayacak bir uygulama geliştirilmiştir. Uygulamada kullanılan çizgi takip eden sensörlerin en az maliyetle ve en üst seviyede verimlilikle çalıştırılmaları için program algoritmaları tasarlanmıştır. Yapılan testlerde yol takibinde herhangi bir sorun yaşanmamış, tasarlanan LFR en kısa sürede hedefine ulaşmıştır. Şekil 3.1’de LFR’nin çalışması özet olarak adım adım gösterilmiştir. Her bir adım ayrıntılı bir şekilde ilerleyen bölümlerde açıklanmıştır.



Şekil 3. 1. LFR Çalışma Şeması

3.1. ÇİZGİ İZLEYEN ROBOTLARDA SENSOR BİLGİLERİNİN OKUNMASI

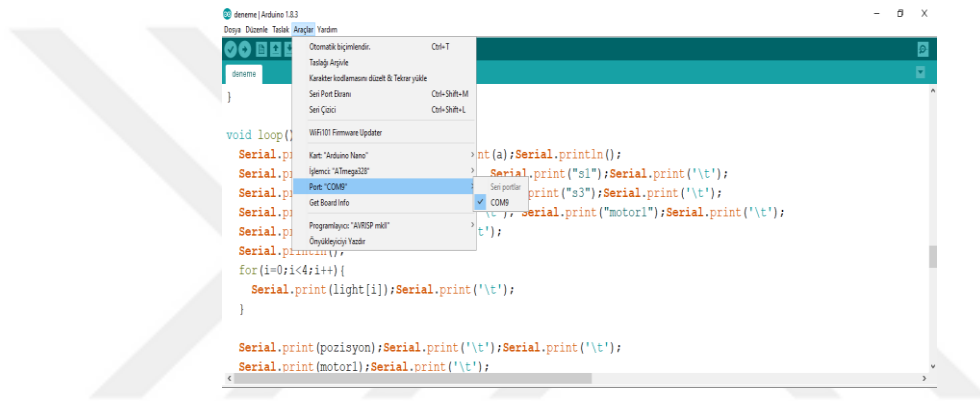
Yaşadığımız ortamdan aldığımız sinyaller analog düzendedir (Çiçek, 2009; Subero, 2018). Fakat günümüzde mikrodenetleyicilere sahip elektronik sistemler dijital olarak çalışmaktadır. Dijital sinyaller TTL sistemler olduğu için sadece sıfır volt (0 bilgisi) ve beş volt (1 bilgisi) gerilim değerlerine sahip bilgileri kullanabilirler (History, n.d.). Sıfır

ile beş volt arası bilgiler mikrodenetleyici tarafından değerlendirilemez. Mikrodenetleyicinin sensörlerden gelen sinyalleri işleyebilmesi için BFD-1000 gibi dijital çıkış veren sensörlerin veya LM324 gibi Analog-Dijital çevirici entegrelerin kullanılması gerekir (Pakdaman & Sanaatiyan, 2009)(Santoso Gunawan et al., 2021). Sadece sıfır ve beş volt gerilim değerine sahip bilgilerin mikrodenetleyici tarafından işlenebilmesi mikrodenetleyici kullanım alanlarını sınırlamaktadır. Mikrodenetleyicilerin analog ve dijital sinyalleri işleyebilmesini sağlamak amacı ile ADC ve DAC modülleri kullanılır. ADC ve DAC modüller mikrodenetleyici sistemlerine entegre edilerek kontrol uygulamalarının daha verimli ve hızlı çalışması sağlanmaktadır (Li et al., 2020). Bu modüller sayesinde mikrodenetleyicilerin çalışma gerilim alanları genişletilmektedir (Rapuano et al., 2005).

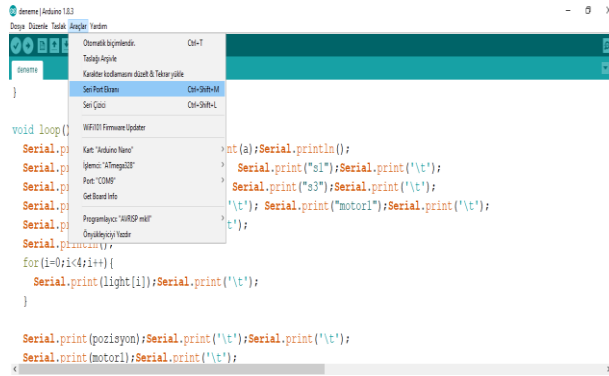
LFR'lerin kontrolünde robotun ön tarafına monte edilmiş IR sensörlerden gelen analog sinyalin hızlı bir şekilde okunup, mikro denetleyicinin işleyebileceği dijital sinyallere çevrilmesi gerekmektedir. Elde edilen dijital sinyaller PID geri besleme (feedback) kontrolünde kullanılacak pozisyon bilgisinin üretilmesi için tasarlanan sensör okuma program algoritması içinde işlenir (Pakdaman & Sanaatiyan, 2009). Pozisyon bilgisinin hızlı ve en az hata ile elde edilmesi PID kontrolün daha verimli çalışmasını sağlayacaktır. PID tarafından üretilen değerler motor sürücülerine gönderilerek izlenen yolun durumuna göre motorların güç ayarı yapılacaktır (Gheorghe, 2018).

Sensör okuma programında kullanılmak için IR sensörlerin buldukları ortamın ışığına göre ayarlarının yapılması gerekir (Kurniawan et al., 2016). Eğer bu ayarlar yapılmazsa IR sensör ortamın ışığından, hatta aynı sırada bulunan sensörlerin IR sinyallerinden etkilenmekte ve mikrodenetleyiciye yanlış sinyal bilgisi göndermektedir (K.Khade et al., 2017). Genellikle LFR'ler harekete başlamadan önce buldukları zemine çizilen çizginin üzerine konumlandırılır. LFR çizgi üzerinde bütün IR sensörlerin çizgi üzerinden birkaç defa geçmesi için, manuel veya otomatik olarak sağa ve sola hareket ettirilir. Böylelikle her bir IR sensör çizgi üzerine geldiğinde ürettiği çıkış ile çizginin dışında ürettiği çıkış karşılaştırılarak sensörler için ayrı ayrı ışık referans noktaları oluşturulur. Bu işlem 20 ile 30 saniye arasında sürmektedir. Ayrıca LFR çizgi üzerinde hareket ederken her bir sensörün referans ışık noktası hareket anında okunan değerle karşılaştırılır (*Arduino Library for the Pololu QTR Reflectance Sensors*, n.d.). Fakat, oluşturulan ışık referans noktası sadece LFR harekete başlamadan önce yapılmaktadır. LFR'nin izlediği yol boyunca güneş ışığı, çevre aydınlatması gibi faktörlerden dolayı sensörlerin okuduğu değerler ile ilk başta oluşturulan ışık referans noktası arasında fark

olabilmektedir. Bu fark elde edilen pozisyon bilgisinde hatalara yol açmakta ve LFR izleyeceği yolun dışına çıkmaktadır. Pozisyon bilgisi hatalarının en aza indirilmesi için sensörlerden okunan bilginin gerçek zamanlı işlenip buna göre ışık referans noktalarının belirlenmesi gerekir. Yapılan bu işlemlerin süresinin azaltılması ve aynı zamanda en az hata ile IR sensör okumalarının yapılması zaman ve enerji tasarrufu sağlayacaktır. Bu çalışma ile geliştirilen yöntemle LFR hareket ettiği yol boyunca IR sensörlerden elde edilen bilgiler kullanılarak, gerçek zamanlı pozisyon bilgisi program algoritması yardımı ile milisaniyeler seviyesinde üretilmiş ve PID sistemindeki kontrol denemelerinde sorunsuz olarak çalışmıştır. Şekil 3.1 ve Şekil 3.2’de Arduino Nano mikrodenetleyici - Bilgisayar seri port bağlantısının oluşturulması için gerekli olan ayarlamalar gösterilmiştir.



Şekil 3. 2. Arduino Nano – Bilgisayar Seri Port Bağlantısı



Şekil 3. 3. Arduino Nano – Bilgisayar Seri Port Ekran Seçimi

```

COM9
|
s0 s1 s2 s3 pozisyon motor1 motor2
0 482 458 0 1487.00 252 255
referans: 519
s0 s1 s2 s3 pozisyon motor1 motor2
0 483 460 0 1487.00 252 255
referans: 518
s0 s1 s2 s3 pozisyon motor1 motor2
0 482 458 0 1487.00 252 255
referans: 518
s0 s1 s2 s3 pozisyon motor1 motor2
0 482 458 0 1487.00 252 255
referans: 519
s0 s1 s2 s3 pozisyon motor1 motor2
0 483 459 0 1487.00 252 255
referans: 518
s0 s1 s2 s3 pozisyon motor1 motor2
0 482 458 0 1487.00 252 255
referans: 519
s0 s1 s2 s3 pozisyon motor1 motor2
0 483 459 0 1487.00 252 255
|
 Otomatik Kaydırma Sitr sonu yok 9600 baud Clear output

```

Şekil 3. 4 . Arduino Nano – Bilgisayar Seri Port Ekran Görüntüsü

Çizelge 3.1’de Arduino Nano mikrodenetleyici - Bilgisayar seri port bağlantısından okunan örnek ışık referans noktaları, sensörlerin ışık referans noktalarına göre değerleri ve motorlara verilen PWM güç miktarları gösterilmiştir. Örnek değerler sıra no ile numaralandırılarak, her bir bölümdeki verilerin analizleri Çizelge 3.1’ in sonunda yapılmıştır.

Çizelge 3.1 . Sensör Ölçüm-Pozisyon ve Motor PWM Değerleri

Sensör referans değeri:						
s0 sensörü	s1 sensörü	s2 sensörü	s3 sensörü	Pozisyon Bilgisi	Motorlara Gönderilen PWM Değerleri	
referans: 519						
s0	s1	s2	s3	pozisyon	motor1	motor2
0	477	477	0	1500.00	254	255
referans: 517						
s0	s1	s2	s3	pozisyon	motor1	motor2
0	0	474	0	2000.00	255	166
referans: 517						
s0	s1	s2	s3	pozisyon	motor1	motor2
0	0	475	470	2497.00	255	78
referans: 517						
s0	s1	s2	s3	pozisyon	motor1	motor2
0	0	0	473	3000.00	255	0
referans: 517						
s0	s1	s2	s3	pozisyon	motor1	motor2
0	480	0	0	1000.00	166	255
referans: 517						
s0	s1	s2	s3	pozisyon	motor1	motor2
478	480	0	0	501.00	77	255
referans: 517						
s0	s1	s2	s3	pozisyon	motor1	motor2
481	0	0	0	0.00	0	255

Çizelge 3.1. 'de LFR'nin motor1'i s0 sensörü tarafında, motor2 ise s3 sensörü tarafında konumlandırıldığı varsayılmıştır. Bir numaralı ölçümdeki bilgileri incelediğimizde; s1 ve s2 sensörlerinin aynı değerlere sahip olduğunu ve s0 ve s3 sensörlerinin değerlerinin ise sıfır olduğu görülmektedir. Bunun anlamı; dört adet IR

sensöre sahip LFR'nin çizginin tam ortasında olduğu ve motorların PWM değerleri 255 veya 255'e yakın sayılar olarak PID kontrol tarafından hesaplandığı görülmektedir. İki motora da pilden aktarılacak gücün maksimum değerleri verilmiştir. LFR ilerleyebileceği maksimum hızda, çizgi üzerinde hareket eder. Sensör okuma programı LFR'nin çizgi üzerindeki konumunu 1500 olarak hesaplamıştır. 1500 değeri s1 ve s2 sensörlerinin orta noktasıdır.

İki numaralı ölçüm değerleri incelendiğinde; sadece s2 sensörünün sayısal değerinin 474 olduğu ve s0, s1, s3 sensörlerinin değerlerinin sıfır olduğu görülmektedir. Bu durumda LFR s2 sensörüne doğru sapma yapmış ve bu durumu önlemek için motor1 için tam güç (PWM 255), motor2 için ise PWM olarak 166 değeri hesaplanmıştır. İki numaralı pozisyon değeri 2000'dir.

Üç numaralı ölçümde s0 ve s1 sensör değerleri sıfır iken s2 sensör değeri 475 ve s3 sensör değeri 470'tir. LFR s2 ve s3 sensörleri tarafına doğru sapma yapmıştır. LFR'yi s1 ve s2 sensörlerinin orta noktasını zemindeki çizginin üzerine getirebilmek için motor1 için tam güç (PWM 255), motor2 için ise PWM olarak 78 değeri hesaplanmıştır. Üç numaralı pozisyon değeri 2497'dir.

Dördüncü ölçümde s0, s1, s2 sensörlerinin değerlerinin sıfır olduğu ve s3 sensörünün değerinin 473 olduğu görülmektedir. LFR s3 sensörü tarafına doğru sapma yapmıştır. LFR, s1 ve s2 sensörlerinin orta noktasından çok fazla uzaklaştığından dolayı motor1 için tam güç (PWM 255), motor2 için ise PWM olarak sıfır değeri hesaplanmıştır. Dört numaralı pozisyon değeri 3000'dir.

Beşinci ölçümde LFR'nin s1 sensörü 480 değerine sahip iken s0, s2, s3 sensörlerinin değerlerinin sıfır olduğu görülmektedir. LFR, s1 sensörü tarafına doğru bir sapma yapmıştır. Fakat s1 ve s2 sensörlerinin orta noktasından çok fazla uzaklaşmadığından dolayı motor1 için PWM 166 değeri ve motor2 için ise PWM 255 değeri hesaplanmıştır. Böylece LFR çizgiyi takip ederken, robotun sağa veya sola sert bir şekilde salınım yapması önlenir. Beş numaralı pozisyon değeri 1000'dir.

Altıncı ölçümde LFR'nin s1 sensör değeri 480 ve s0 sensör değeri 478 iken s2 ve s3 sensör değerleri sıfırdır. LFR s0 ve s1 sensörleri tarafına doğru sapma yapmıştır. Beşinci ölçüme göre s1 ve s2 sensörlerinin orta noktasından daha fazla uzaklaşıldığından dolayı motor1 için PWM 77 değeri ve motor2 için ise PWM 255 değeri hesaplanmıştır. Altı numaralı pozisyon değeri 501'dir.










Yedinci ölçümde LFR'nin s0 sensör değeri 480 ve s1, s2, s3 sensör değerleri ise sıfırdır. LFR s0 sensörü tarafına doğru sapma yapmıştır. LFR, s1 ve s2 sensörlerinin orta

noktasına göre çok fazla sapma yapmıştır. LFR'nin orta noktasını takip edilen çizginin üzerine getirebilmek için motor1'e sıfır değeri ve motor2'ye 255 değeri program algoritması tarafından hesaplanır. Yedi numaralı pozisyon değeri sıfırdır.

3.2. ÇİZGİ İZLEYEN ROBOT MİMARİSİ

LFR'ler çeşitli parçalardan oluşmaktadır. Bunlar;

- Mikro denetleyici
- Gerilim Regülatör devresi
- Motor sürücü devresi
- Kıızıl ötesi sensör dizisi (IR sensor)
- Encoder
- Buton – Sinyal Devresi
- Kıızılötesi Mesafe Sensörü - MZ80(E18-D80NK)
- Hareket Elemanları (DC motorlar ve Tekerlekler)
- Ana gövde (Şasi)

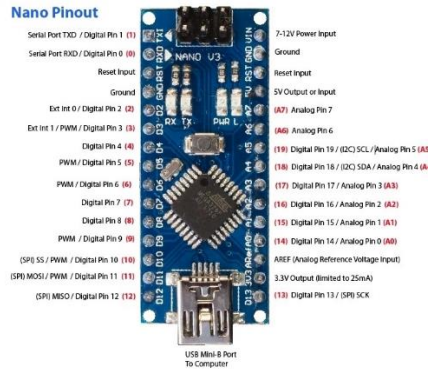
<p>Çizgi İzleyen Robot</p> 	<p>Arduino Nano</p> 	<p>L298 Motor Sürücü</p> 
<p>LM2596 Ayarlanabilir Gerilim Düşürücü</p> 	<p>Sensör</p> 	<p>Sensör Dizisi</p> 
<p>Kızılötesi Sensör MZ80(E18-D80NK)</p> 	<p>Kodlayıcı (Encoder)</p> 	<p>Buton-Sinyal Devresi</p> 

Şekil 3. 5. Çizgi İzleyen Robot Yapımında Kullanılan Elektronik Parçalar

LFR oluşturulmadan önce ana gövde (şasi) için uygun bir dizayn tasarlanmalıdır. Sensör dizisinin orta noktası ile motorlar arası boşluğun orta noktası aynı çizgi üzerinde olmalıdır. Sensör dizisinin konumunun sağa veya sola kayması LFR'nin tam çizgi üzerinde hareket etmesini engellediği için devamlı olarak algoritma tarafından motorlara düzeltme PWM sinyalleri gönderilir. Bu durum LFR'nin hızının düşmesine, sağa ve sola doğru salınım yapmasına neden olacağından dolayı güvenli bir sürüş için tehlike oluşturur.

3.2.1. MİKRODENETLEYİCİ

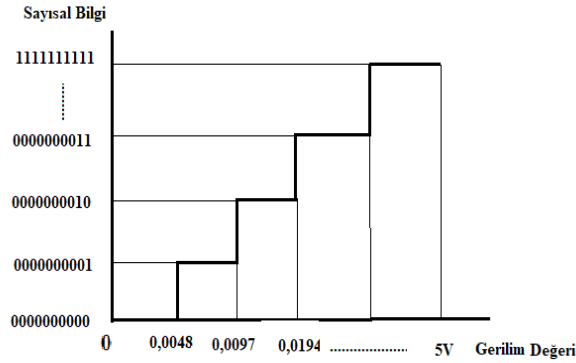
LFR'de kızıl ötesi sensörlerden gelen sinyalleri okumak ve işlemek için Arduino nano mikrodeneleyici kullanılmıştır. Arduino nano mikrodeneleyici sekiz adet ADC pinlerine sahiptir. QRD1114 sensörleri, arduino nano ADC pinlerine arada herhangi bir elektronik devre elemanı kullanılmadan bağlanır.



Şekil 3. 6. (Arduino, 2019)

Bu sensörlerden analog olarak 0V-5V arası bilgi ADC pinlerine gelir. Sensör beyaz çizginin üzerinde ise 0V'a yakın bir değer, siyah zemin üzerinde ise 5V'a yakın bir değer ADC pinleri tarafından okunur. Arduino nano 10 bitlik ADC çözünürlük kapasitesine sahiptir. Sensörlere uygulanan gerilim maksimum 5V olduğu için ADC bu gerilimi $\frac{5}{2^{10}}$ şeklinde 1024 parçaya ayırır. Her bir parçaya adım denir ve bu adımlar 0-1023 arasındadır. Her bir adımın gerilim değeri 0,0048V ve katları olacak şekilde belirlenir ve dijital bilgi olarak kodlanır. (Pelgrom, 2017; Ruiz-Amaya et al., 2011) Örneğin, ADC işlemi sonunda 512 bilgisi elde ediliyorsa bu durum sensörün kollektör terminalinde yaklaşık 2.5V gerilim olduğunu gösterir. Sensör beyaz çizgiye yaklaştıkça sensörün kollektör ucundaki gerilim düşecek ve aynı zamanda ADC işlemi sonunda okunan değerın sayısal karşılığı da

azalacaktır (Çiçek, 2009; Pelgrom, 2017; Rapuano et al., 2005; Ruiz-Amaya et al., 2011; Subero, 2018).



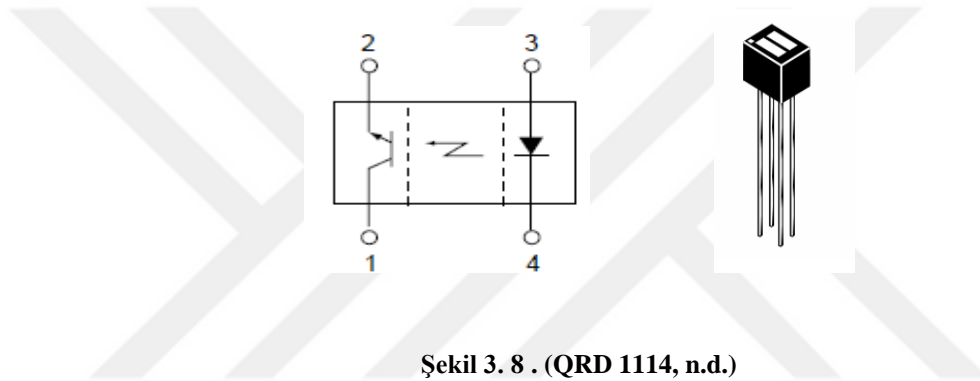
Şekil 3. 7. 10 Bit ADC Adım Grafiği

LFR kontrolünde sensörlerden gelen bilgilerin ADC girişleri kullanılarak okunması, LFR'nin çizgiye göre konumunun belirlenmesinde daha etkili olacaktır. ADC modülün bit çözünürlüğü arttıkça konum bilgisi de daha hassas bir şekilde elde edilecektir. LFR'nin hareketi sırasında bir sensör çizgiden çıkarken diğer sensör çizgiye doğru hareket edecek ve sensörlerden elde edilen bilgilere göre konum bilgisi belirlenecektir. Sensörlerden mikrodenetleyiciye gelen bilgiler sadece dijital olsaydı, sensörün çizginin üzerinde olduğu konum bir (1), çizginin dışında olduğu konum ise sıfır (0) bilgisi olarak algılanacak ve bu iki bilgiye göre konum bilgisi hesaplanacaktı (Santoso Gunawan et al., 2021). Fakat LFR'nin takip ettiği çizginin sağ ve sol olmak üzere iki tarafı vardır. Örneğin; dört adet sensörün yan yana dizilmesiyle oluşturulmuş sensör dizisine sahip bir LFR, hareket ederken ikinci ve üçüncü sensörlerin orta noktasını bularak çizginin üzerinde hareket etmek zorundadır. Eğer LFR sensör dizisinin orta noktasının sağ tarafında veya sol tarafında ise motorlara verilen gücün ayarlanması gerekir. LFR çizgi üzerinde sağdan sola doğru kayıyorsa; sağ motor daha yavaş, sol motor daha hızlı dönmelidir. Bunun tam tersi durumda ise sağ motor daha hızlı sol motor daha yavaş olmalıdır. Motorlara verilecek gücün ayarlanması sensörlerden gelen bilgilere göre yapılır. Dijital olarak okunan sensör bilgilerinde sadece bir (1) ve sıfır (0) değerleri olduğu için LFR'nin çizgi üzerinde sağ yöne veya sol yöne doğru sapma gösterdiği ancak bir sensörün tamamen çizgiden çıkıp sıfır bilgisini, diğerinin ise çizginin üzerine gelip bir (1) bilgisini mikrodenetleyiciye göndermesiyle belirlenir. Bu durum mikrodenetleyicinin motorlara aktarılacak olan güç miktarına karar vermesini geciktirecektir. LFR hareket ederken çizginin durumunu geç algıladığı için çizgi üzerinden devamlı olarak sapmalar yapacaktır. Bu sorun LFR'nin

düzgün bir hareket ile hedefine ulaşmasını engelleyeceği gibi zaman ve enerji kaybına yol açacak, aynı zamanda güvenlik açısından da tehlike oluşturacaktır. LFR'nin önünde bulunan yaklaşım sensörü, LFR'nin sağ tarafa veya sol tarafa devamlı olarak sapmalarla ilerlemesinden dolayı, çizgi üzerinde bulunan diğer cisimleri algılayamayacak ve LFR'nin kaza yapmasına sebep olacaktır.

3.2.2. KIZIL ÖTESİ SENSÖR DİZİSİ

LFR'nin ön tarafında bir dizi şeklinde zemine çizilen çizgiyi okuyabilecek şekilde IR sensörler monte edilir. Bu çalışmada qrd1114 sensör dizisi kullanılmıştır. QRD1114 bir adet IR led ve fototransistörün bir paket içinde birleştirilmesinden oluşturulmuştur (QRD 1114, 2022).



Şekil 3. 8 . (QRD 1114, n.d.)



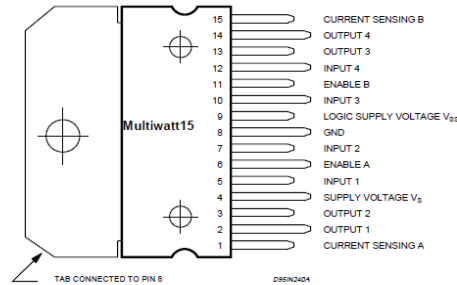
Şekil 3. 9. Sensör Dizisi

Şekil.3.7.'de qrd1114 sensörünün şematik çizimi gösterilmiştir. IR diyottan yayılan ışınlar LFR'nin hareket edeceği zemine çarpar. Zemin siyah olup üzerine beyaz bir çizgi çekilebileceği gibi, beyaz zeminin üzerine siyah bir çizgi de çekilerek oluşturulabilir. Siyah zemine çarpan kızıl ötesi ışınların büyük bir bölümü zemin tarafından absorbe edilir (Alwan et al., 2021). Beyaz çizgiye çarpan kızıl ötesi ışınların büyük bir bölümü de geriye yansır ve fototransistörün ışığa duyarlı beyzine düşerek transistörün kolektör -emiter

terminalleri arasından akımın geçmesini sağlar. Kollektör-emiter arası geçen akım transistörün beyzine düşen ışığın şiddetine göre değişir (Junghan Park et al., 2019). LFR zemin üzerinde hareket ederken beyaz çizgiye yaklaşan her bir sensörün fototransistörüne yansıyan ışığın şiddeti değişecektir. Yansıyan ışığın şiddeti arttıkça fototransistörün kollektör-emiter terminalleri arasından geçen akım şiddeti de artacaktır (Alwan et al., 2021; Gheorghe, 2018). Siyah zeminde fototransistörün beyzine yansıyan ışık şiddeti çok düşük olduğu için transistörün kollektör-emiter terminalleri arasından geçen akım şiddetinin seviyesi de düşüktür. Bu durumda transistörün kollektör ucunda 5 (beş) volta yakın bir değer ölçülür. Beyaz zemine yaklaşıldıkça, kollektör ucundaki gerilim 0 (sıfır) volta doğru düşer.

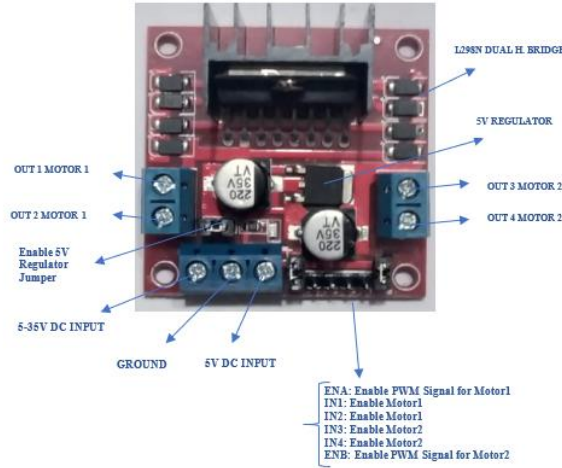
3.2.3. MOTOR SÜRÜCÜ

Sensörlerden gelen bilgiler LFR'nin çizgi üzerindeki konumuna göre Arduino nano mikro denetleyici tarafından işlendikten sonra 12V DC motorlara PWM sinyali gönderilir. PWM sinyalinin maksimum genliği 5 volt olduğu için, bu gerilim motorların hareket etmesini sağlayamaz. Bundan dolayı PWM sinyalinin genliğini yükseltmek için motor sürücü kullanmak gerekir. Bu çalışmada L298 motor sürücü devresi kullanılmıştır.



Şekil 3. 10 . (STMicroelectronics, 2000)

L298 devresi, iki adet H Köprü transistör sistemi sayesinde aynı anda iki adet DC redüktörlü motorun saat yönü ve saat yönünün tersi yönlerinde dönmelerini sağlar. Örneğin mikrodenetleyiciden L298'in Input1 girişine HIGH (5V), Input2 girişine LOW (0V) bilgisi verildiğinde motor saat yönünde dönerken, Input1 girişine LOW (0V), Input2 girişine HIGH (5V) bilgisi verildiğinde motor saat yönünün tersi yönde döner (Gupta, 2010).

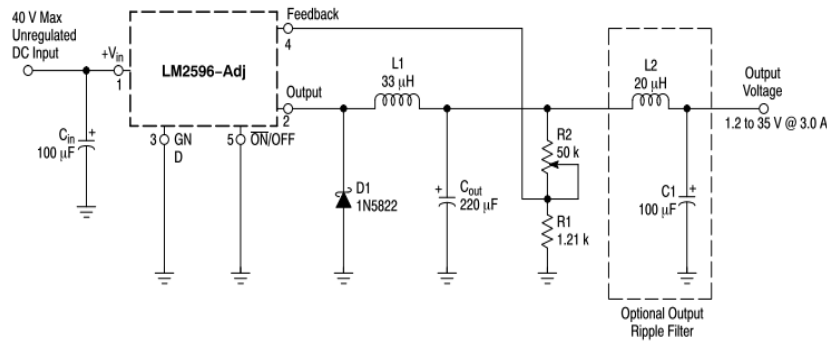


Şekil 3. 11. L298 Motor Sürücü Devresi

Enable pinleri ile motorlara pilden aktarılabacak güç miktarının süresi belirlenir. Enable pinlerine, mikrodenetleyiciden HIGH (5V) bilgisi verildiğinde motorlar çalışır. Eğer Enable pinlerine, mikrodenetleyiciden LOW (0V) bilgisi verildiğinde motorlar durur. PWM sinyalleri Enable pinlerine gönderilerek ile motorların hız kontrolü sağlanır.

3.2.4. LM2596 Ayarlanabilir Gerilim Düşürücü Güç Modülü

LM 2596 Ayarlanabilir DC-DC çevirici 4V DC- 35V DC arası giriş gerilimlerini 1.23V DC 30V DC gerilim aralığında regüle işlemi yapar. Çıkış akımı 3 amperdir. LFR sistemlerinde mikrodenetleyici, motor ve sensör dizilerinin sabit bir gerilim ve akımla beslenmesi gerekir. Besleme geriliminde oluşabilecek dalgalanmalar sistemin yanlış çalışmasına yol açar.



Şekil 3. 12. (Semiconductor, n.d.)

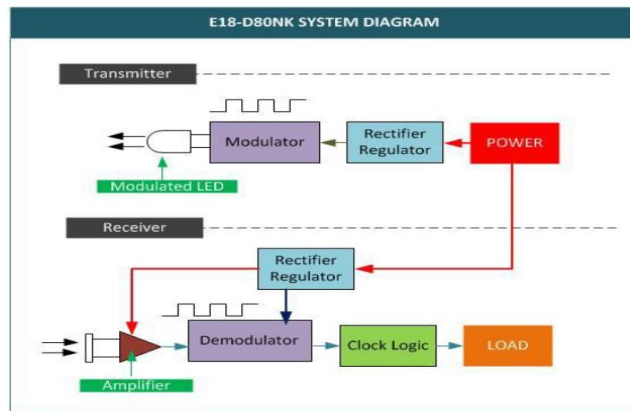


Şekil 3. 13. LM 2596 Gerilim Regülatörü

LM2596 ile pilden alınan gerilim devre üzerindeki 50k potansiyometre yardımıyla 5V gerilime düşürülür. 3 amper kadar akım verdiği için hemen ısınmaz. LFR üzerindeki mikrodenetleyici, sensör dizisi için besleme gerilimi ve motor sürücünün aktif edilmesi için gerekli 5V gerilimin uzun süre sağlanmasında kullanılır. LFR’de ikinci LM2596 ile motorlara sabit bir gerilim ve akım beslemesi sağlanır.

3.2.5. Kızılötesi Mesafe Sensörü - MZ80(E18-D80NK)

E18-D80NK Infrared uzaklık sensörüdür. Mesafesi 3cm-80cm arasındadır. Infrared’den çıkan sinyal karşı taraftaki cisme çarparak fototransistöre gelir. Sensörün çıkış gerilimi dijital moddadır. Sensöre monte edilen potansiyometre yardımıyla mesafe ayarı yapılır. E18-D80NK Infrared uzaklık sensöründe gönderilen sinyale, modülatör tarafından modülasyon işlemi uygulanır. Dönen sinyal ise demodülatör tarafından çözümlenerek doğru sinyalin okunması sağlanır (*Wiring the E18-D80NK Infrared Distance Ranging Sensor*, n.d.).

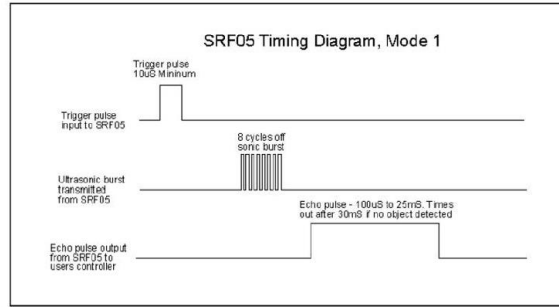


Şekil 3. 14 . (Wiring the E18-D80NK Infrared Distance Ranging Sensor, n.d.)

MZ80 uzaklık sensörünün cevap verme süresi 2ms'dir (MZ80, n.d.). Uzaklık sensörünün cevap verme süresinin mümkün olduğunca az olması gerekmektedir. Eğer bekleme süresi artarsa PID fonksiyonunda gecikmeler olur. Bu durum çizginin doğru olarak takip edilmesini engeller. Örneğin SRF05 ultrasonic sensörünün cevap verme süresi 30 ms'ler seviyesine çıkmaktadır (Getting Started with Ultrasonic Module and Arduino •, n.d.). LFR testlerinde SRF05 ultrasonic sensör kullanıldığında, sensörün sinyal gönderme ve cevap alma sürelerindeki beklemlerden dolayı, çizgi takip eden sensörlerin algoritmasında ve PID algoritmasında hatalar oluşmuştur. Şekil 3.13.'te SRF05 modülü ve Şekil 3.14.'te SRF05 çalışma diyagramı görülmektedir.



Şekil 3. 15. (Getting Started with Ultrasonic Module and Arduino , n.d.)

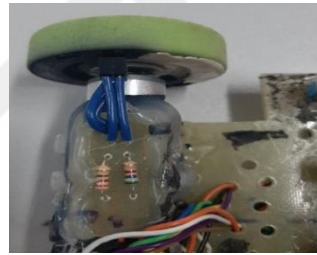


Şekil 3. 16. (Getting Started with Ultrasonic Module and Arduino, n.d.)

Şekil 3.14'te SRF05 modülünün trigger pinine minimum 10µs süresince bir pulse uygulanır. Daha sonra 40kHz frekansında sekiz adet sinyal modül tarafından otomatik olarak gönderilir ve Echo pinin lojik seviyesi bir yapılır. Echo pin yansıyan pulse gelinceye kadar lojik bir seviyesinde kalır. SRF05 modülünün doğru bir okuma yapması için bekleme sürelerinin program algoritmasında yazılması gereklidir.

3.2.6. Kodlayıcı (Encoder)

Kodlayıcı milin açısal konumunu ölçen bir cihazdır. Kodlayıcının ana performans göstergesi, kodlayıcının algılayabileceği minimum açısal yer değiştirmeyi tanımlayan çözünürlüğüdür. Çözünürlük bit olarak ifade edilir. N bit çözünürlüğe sahip bir kodlayıcının minimum seviyede algılayacağı açı $\frac{360}{2^N}$ formülü ile bulunur. Kodlayıcılar artımlı kodlayıcı ve mutlak kodlayıcı olmak üzere iki çeşittir. Artımlı kodlayıcılar, basit yapılı, yüksek çözünürlüklü ve düşük fiyatlı oldukları için bir çok sistem tarafından kullanılmaktadır (Lee et al., 2020). Çizgi izleyen robotlarda, robotun hızını ölçmek ve katettiği yol miktarını bulmak için kodlayıcılar kullanılmaktadır. Kodlayıcı, robotun miline monte edilerek, kodlayıcının diskindeki yarıklardan geçen infrared ışınların sayısı, LM393 dijital çıkış veren karşılaştırıcı (komparatör) kullanılarak mikrodenetleyici tarafından okunur. Işınların sayısına göre LFR'nin hızı veya katettiği yol miktarı tespit edilir.



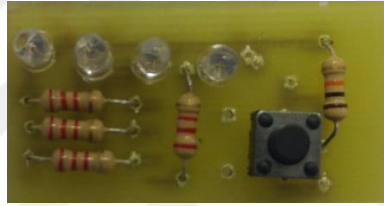
Şekil 3. 17. QRD114 Kodlayıcı ve LFR üzerine Monte Edilmesi

Bu çalışmada kullanılan kodlayıcıda QRD114 sensörü kullanılmış ve motorun üstüne monte edilmiştir. Tekerleğin iç tarafı siyah ve beyaz renklere boyanarak, sensörün siyah-beyaz renk ayrımı yapması sağlanmıştır. Siya-beyaz renklerin okunması için Arduino-Nano mikrodenetleyicisinin analog girişi kullanılmıştır. Okunan değerler 2^{10} (1024) bit çözünürlük kullanılarak elde edilmiştir. Sensörden gelen gerilim değeri maksimum 5V olduğunda dolayı ADC modülü bu gerilim değerini $\frac{5}{2^{10}}$ olarak 0.0048 voltluk gerilimlere böler. İstenilen gerilim aralığında, tekerlek dönerken okuma yapılır. Örneğin; sensörün önünden beyaz bölüm geçerken mikrodenetleyiciye yüklenen program kullanılarak, önceden belirlenen gerilim aralığındaki değer elde edildiğinde, program içindeki sayıcının değeri bir artırılır. Böylece ortam ışığından kaynaklanan yanlış

okumaların önüne geçilmiş olur. Tekerleğin çevre uzunluğu ölçülüp programda sabit bir sayı olarak tanımlanarak, sayıcıda kaydedilen değer ile çevre uzunluğu çarpılır. Böylece LFR'nin kat ettiği yol miktarı hesaplanır. Dijital olarak yapılan okumalarla karşılaştırıldığında bu yöntem, herhangi bir karşılaştırıcı (komparatör) kullanılmadığı için daha hızlı bir okuma ve daha az elektronik parça kullanılarak LFR'nin kurulum maliyetini düşürmektedir.

3.2.7. Buton – Sinyal Devresi

LFR'de kullanılan buton-sinyal devresi ile LFR'nin gideceği yolun uzunluğu belirlenir. Örneğin; butona bir kez bastığımızda programda kullandığımız sayıcının değeri bir arttırılır ve birinci led yanar. Eğer butona iki kez basılırsa sayıcı değeri iki arttırılır. Birinci ve ikinci led beraber yanar.

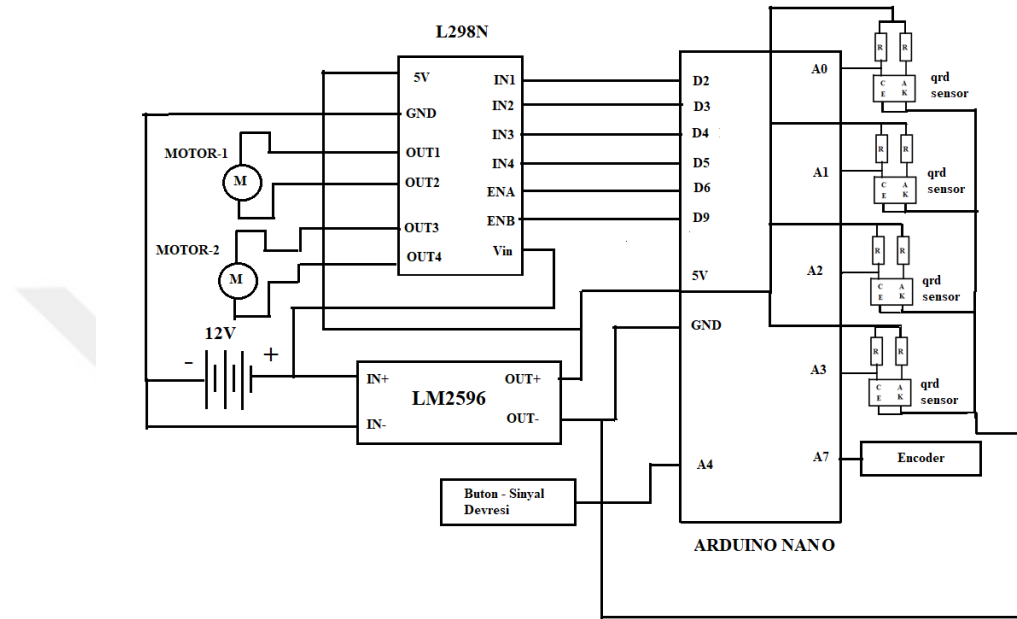


Şekil 3. 18. Buton-Sinyal Devresi

Sayıcı değeri ile daha önceden belirlenmiş sabit bir sayı çarpılarak tekerleğin dönmesi gereken tur sayısı hesaplanır. Encoder'dan elde edilen değerle tur sayısı çarpılarak LFR'nin istenilen uzunluktaki yolu alması ve belirlenen noktada durması sağlanır. LFR durduktan sonra tekrar butona basıldığında sayıcı sıfırlanır, ledler söner ve LFR başlangıç noktasına döner.

3.2.8. LFR ELEKTRONİK DEVRE BAĞLANTI ŞEMASI

Şekil 3.18 elektronik devre şemasında LFR motorları için 12V DC besleme gerilimi kullanılmıştır. LM2596 regülatörünün girişine 12V uygulanmış ve çıkışından 5V gerilim elde edilerek, Arduino Nano, qrd114, MZ80 ve L298'in iç yapısında bulunan elektronik devrelerin besleme gerilimleri sağlanmıştır.



Şekil 3. 19. LFR Elektronik Bağlantı Şeması

Arduino Nano'nun D2-D3-D4-D5 pinleri L298'in IN1, IN2, IN3, IN4 girişlerine bağlanarak motorların ileri veya geri dönmesi kontrol edilmiştir. IN1ve IN2 giriş pinleri ile OUT1-OUT-2 çıkış pinleri MOTOR-1'in, IN3 ve IN4 giriş pinleri ile OUT3-OUT4 çıkış pinleri MOTOR-2'in, ileri veya geri dönme yönlerini kontrol eder. D6-ENA bağlantısı ile MOTOR-1'in, D9-ENB bağlantısı ile MOTOR-2'in hız kontrolleri sağlanır. ENA VE ENB pinlerine PID fonksiyonundan elde edilen PWM değerleri program tarafından gönderilerek MOTOR1 ve MOTOR2'ye pilden aktarılacak güç miktarı belirlenir. D12 pini MZ80'den gelen dijital bilgilerin okunmasında kullanılmaktadır. A4 pinine bağlı buton sinyali devresi LFR'nin gideceği yol miktarının belirlenmesinde kullanılır. Arduino Nano'da bulunan A4 pini analog okuma yapabileceği gibi programda dijital okuma yapması için programlanmıştır. A7 pinine bağlı encoder ile motorlara bağlı tekerleklerin dönme tur sayısı kontrol edilir. Arduino Nano'da bulunan A7 pini analog okuma yapmak için programlanmıştır. A0, A1, A2, A3 pinleri ile qrd1114 sensörlerinden gelen bilgiler analog mod kullanılarak okunur.

3.2.9. Hareket Elemanları

Çizgi izleyen robotta hareket elemanları olarak DC motorlar ve tekerlekler kullanılmıştır. Bir elektrik motoru elektrik enerjisini hareket enerjisine çeviren araçlardır. Bu çalışmamızda LFR’de dişli kutularına sahip DC motorlar kullanılmıştır. Böylece LFR’nin herhangi bir yükseklikten inerken veya çıkarken sabit bir hızda hareket etmesi sağlanmıştır. Kullanılan tekerleklerin çapına göre LFR’nin hızı değişir.



Şekil 3. 20. (Tekerlek, n.d.)



Şekil 3. 21. (Redüktörlü Motor, n.d.)

3.2.10. Ana Gövde (Şasi)

LFR’nin parçalarının monte edileceği ana gövde çeşitli materyallerden oluşabilir. Burada önemli olan kullanılan malzemenin sağlam olması ve hafif olmasıdır. Sert plastik, alüminyum gibi hafif ve esneme yapmayan malzemeler tercih edilebilir.

3.2.11. Programlama

LFR hareket edeceği zemin üzerine sensör dizisinin orta noktası beyaz çizgi üzerine gelecek şekilde yerleştirilir. Sensörlerden gelen gerilim değerlerine ADC işlemi uygulanır. Bu işlem sonunda elde edilen sayısal değerler bir dizi içinde toplanır. Dizi içindeki değerlerin en büyük ve en küçük olanı bir algoritma ile bulunduktan sonra bu iki değer toplanır ve ikiye bölünür. Böylece bir ışık referans noktası belirlenir. Dizi içindeki değerler elde edilen ışık referans noktasına göre bir algoritma ile değerlendirilir. Işık referans noktasının altında kalan değerler işleme alınırken, referans noktasının üstünde kalan değerler sıfır kabul edilir. Böylece dizi içindeki değerlerin sayısal değeri değişir. Bu sayısal değerler sensörün bulunduğu yere göre bir katsayı ile çarpılır ve toplanır. Örneğin mikro

denetleyicinin A0 ADC pininden okunan değer 0 ile, A1 ADC pininden okunan değer 1000 ile, A2 ADC pininden okunan değer 2000 ile, A3 ADC pininden okunan değer 3000 ile çarpılır. Sensör dizisinde kullanılan sensör sayısına göre bu işlem devam eder. Seçilen katsayı arttıkça pozisyon bilgisindeki hassasiyet artar. Fakat, PWM çıkışlarından bu hassasiyete uygun sinyal alınamayabilir. Katsayı ile çarpılan değerlerin toplamı, ADC pinlerinden alınan ham değerlerin toplamına bölünür. Bu değer bizim pozisyon bilgimizdir (*Arduino Library for the Pololu QTR Reflectance Sensors*, n.d.). Çizelge 3.4.'de Arduino Nano mikro denetleyicisinin ADC pinlerine bağlı sensörlerin seri port ile bilgisayardan yapılan ölçüm değerleri ve elde edilen pozisyon bilgileri ile ilgili örnekler verilmiştir. Sensör değerleri ışık referans noktasına göre hesaplanan değerlerdir. Farklı ışık referans noktalarında yapılan ölçümlerde sensör ölçüm değerlerinin farklı olmasına karşın hesaplanan hata bilgisinin aynı olduğu görülmüştür. Hata bilgisinin hesaplanmasında izlenecek adımlar Çizelge 3.2'de gösterilmiştir.

Çizelge 3. 2. LFR Hata Bilgisinin Hesaplanması

1.	Sensör dizisinde kullanılan dört adet sensör katsayılarından en büyük ve en küçük toplanarak ikiye bölünür. Bu değer bizim sensör dizisindeki pozisyon bilgimizin orta noktası olacaktır.
2.	En yüksek katsayı üç bin (3000) değerine sahip olan sensör s3 ve en düşük katsayı sıfır (0) sahip sensör s0 ise $(3000+0) / 2=1500$ değeri orta nokta pozisyon değerimizdir.
3.	Hata değeri orta noktaya göre olan uzaklıkla artı veya eksi olarak hesaplanır.

3.2.11.1. Mikro Denetleyicide Sensör Okuma Programının Uygulanması

LFR sensörlerinden alınan bilgileri kullanarak hata bilgisini hesaplayan örnek program Çizelge 3.3’de gösterilmiştir.

Çizelge 3. 3. LFR Sensör Okuma Örnek Program

```
function readsensor()
{
for(i=0; i < sensornumber; i++)
{
array[i]=analogread[i];
y = array[i];
rawsum = rawsum + y;
}
largestnumber = array[0];
smallestnumber = array[0];
for(k = 0;k < arraynumber; k++)
{
if ( array[k] > largestnumber)
{
largestnumber =array[k];
}
if ( array[k] < smallestnumber)
{
smallestnumber = array[k];
}
}
lightreferencepoint = (largestnumber + smallestnumber) / 2;
for (j = 0; j < sensornumber; j++)
{
if (array[j] > lightreferencepoint)
{
array[j] = 0;
}
```






```



x = array[j] * 1000 * j;
weightsum = weightsum + x;
}
positiondata = weightsum / rawsum;
return positiondata;
}
function main ( )
{
position = readsensor();
midpoint = array[last number] * 1000 / 2;
error = midpoint – position;

```

Arduino Nano mikrodenetleyici seri port ekranından örnek alınan farklı ışık referans değerlerine göre sensörlerden okunan bilgiler, pozisyon bilgisi ve hata bilgisi Çizelge 3.4’de gösterilmiştir. Hata bilgisinin elde edilmesi için Çizelge 3.2’de uygulanan adımlara göre hesaplama yapılmıştır. Çizelge 3.3 LFR Sensör okuma örnek programında dört adet sensörün orta noktası 1500 değeri olarak hesaplanmış ve hata değeri orta nokta değerinden pozisyon bilgisinin çıkarılması ile bulunmuştur. Çizelge 3.4’de sensörlerin çizgi üzerindeki durumları kırmızı renkte gösterilmiştir. Sensörlerin çizgi üzerindeki durumları değişmemesine rağmen, farklı ışık referans değerlerine göre sensörlerden okunan değerler değişmiş, fakat pozisyon bilgisi ve hata bilgilerindeki hesaplamalar aynı kalmıştır. Bu durum LFR robotun değişen çevresel ışık şiddetine göre yeni ışık referans noktaları oluşturduğu ve bu noktalara göre sensörlerden okunan değerleri düzenlediği görülmektedir. Çizelge 3.4’de gösterilen verilere göre, uygulanan algoritma ile sensörlerin değişen ortamların ışık şiddetine göre ayarlanması, pozisyon bilgisinin hatasız olarak elde edilmesini sağlamıştır. Böylece LFR çevresel ışık değişimlerinden etkilenmeyerek izleyeceği çizgisel yolda güvenli bir sürüşü otonom olarak gerçekleştirir.

Çizelge 3. 4. Sensör Ölçüm-Pozisyon ve Hata Bilgileri

SIRA NO	Arduino Nano Seri Port Ölçülen Örnek Değerler						Hata Bilgisi Hesaplama
	Sensör referans değeri:						
	s0 sensörü	s1 sensörü	s2 sensörü	s3 sensörü	Pozisyon Bilgisi	Hata Bilgisi	
1	 <pre> referans 519 s3 s2 s1 s0 pozisyon hata 0 191 191 0 1500.00 0 referans 457 s3 s2 s1 s0 pozisyon hata 0 124 124 0 1500.00 0 </pre>						Pozisyon bilgisi: 1500 Hata = 1500 – 1500 = 0
2	 <pre> referans 335 s3 s2 s1 s0 pozisyon hata 0 0 293 0 1000.00 500 referans 520 s3 s2 s1 s0 pozisyon hata 0 0 478 0 1000.00 500 </pre>						Pozisyon bilgisi: 1000 Hata=1500 – 1000 = 500
3	 <pre> referans 528 s3 s2 s1 s0 pozisyon hata 0 0 388 489 442.00 1058 referans 527 s3 s2 s1 s0 pozisyon hata 0 0 387 487 442.00 1058 </pre>						Pozisyon bilgisi: 442 Hata = 1500 – 442 = 1058
4	 <pre> referans 508 s3 s2 s1 s0 pozisyon hata 0 404 0 0 2000.00 -500 referans 502 s3 s2 s1 s0 pozisyon hata 0 406 0 0 2000.00 -500 </pre>						Pozisyon bilgisi: 2000 Hata = 1500-2000 =-500
5	 <pre> referans 520 s3 s2 s1 s0 pozisyon hata 415 0 0 0 3000.00 -1500 referans 512 s3 s2 s1 s0 pozisyon hata 411 0 0 0 3000.00 -1500 </pre>						Pozisyon bilgisi: 3000 Hata=1500-3000 = -1500

6	<div style="text-align: center;"> <table border="0"> <tr> <td>s3</td> <td>s2</td> <td>s1</td> <td>s0</td> </tr> <tr> <td>3000</td> <td>2000</td> <td>1000</td> <td>0</td> </tr> </table>  </div> <pre> referans 516 s3 s2 s1 s0 pozisyon hata 0 0 480 480 500.00 1000 referans 525 s3 s2 s1 s0 pozisyon hata 0 0 489 488 500.00 1000 </pre>	s3	s2	s1	s0	3000	2000	1000	0	<p>Pozisyon bilgisi: 500 Hata=1500-500=1000</p>
s3	s2	s1	s0							
3000	2000	1000	0							
7	<div style="text-align: center;"> <table border="0"> <tr> <td>s3</td> <td>s2</td> <td>s1</td> <td>s0</td> </tr> <tr> <td>3000</td> <td>2000</td> <td>1000</td> <td>0</td> </tr> </table>  </div> <pre> referans 516 s3 s2 s1 s0 pozisyon hata 472 472 0 0 2500.00 -1000 referans 487 s3 s2 s1 s0 pozisyon hata 443 442 0 0 2500.00 -1000 </pre>	s3	s2	s1	s0	3000	2000	1000	0	<p>Pozisyon bilgisi: 2500 Hata=1500-2500=-1000</p>
s3	s2	s1	s0							
3000	2000	1000	0							

Çizelge 3.4’de sensör dizisindeki sensörlerin durumunu gösteren bir numaralı bölümde kırmızı ile belirtilen s1 ve s2 sensörlerinin tam çizginin üzerinde oldukları, ışık referans değeri 519 olarak hesaplanan ortamın değerine göre 191 değerini aldıkları görülmektedir. Referans değeri 457 olarak hesaplanan başka bir ortamda aynı şekilde s1 ve s2 sensörlerinin tam çizginin üzerinde bulunmalarına karşın 124 değerini aldıkları ve pozisyon değerlerinin her iki ortamda da 1500, aynı zamanda hata değerlerinin her iki ortamda da sıfır olduğu hesaplanmıştır.

İki numaralı bölümde kırmızı ile belirtilen sadece s1 sensörü çizginin üzerindedir. Birinci referans değeri 335 olarak hesaplanmış ve buna bağlı s1 sensör değeri 293 olarak ölçülmüştür. İkinci referans değeri 520 ve s1 sensör değeri 478’dir. Her iki ölçümde de pozisyon bilgileri 1000 ve hata değerleri 500 olarak hesaplanmıştır.

Üç numaralı bölümde kırmızı ile belirtilen s1 sensörünün bir bölümü ve s0 sensörünün tamamı çizginin üzerindedir. Üçüncü bölümün birinci referans değeri 528 olarak hesaplanmış ve buna bağlı s1 sensör değeri 388 ve s0 sensör değerinin 489 olduğu görülmektedir. İkinci referans değeri 527, s1 sensör değeri 387, s0 sensör değeri 487, pozisyon değerlerinin her iki ölçümde de 442 değerini almıştır. Hata her iki ölçümde de 1058 olarak ölçülmüştür.

Dört numaralı bölümde kırmızı ile belirtilen sadece s2 sensörü çizginin üzerindedir. Birinci referans değeri 508 ve s2 değeri 404 olarak hesaplanmıştır. İkinci referans değeri

502, s2 sensör ölçüm değeri 406 olarak görülmektedir. Her iki ölçüm ve hesaplamalarda pozisyon değerleri 2000, hata değerleri -500 olarak hesaplanmıştır.

Beşinci bölümde kırmızı ile belirtilen sadece s3 sensörü çizginin üzerindedir. Birinci referans değeri 520 ve s3 değeri 415'tir. İkinci referans değeri 512, s3 sensör değeri 411'dir. Her iki ölçüm de de pozisyon bilgileri 3000 ve hata bilgileri -1500 değerlerini almıştır.

Altıncı bölümde kırmızı ile belirtilen s1 sensörünün bir bölümü ve s0 sensörünün tamamı çizgi üzerindedir. Birinci referans değeri 516, s0 ve s1 sensörlerinin 480 değerini aldıkları görülmektedir. İkinci referans değeri 525, s1 sensör değeri 489 ve s0 sensör değeri 488'dir. Her iki ölçüm de de pozisyon değerleri 500 ve hata değerleri 1000 olarak hesaplanmıştır.

Yedinci bölümde kırmızı ile belirtilen s2 sensörünün tamamı ve s3 sensörünün bir kısmı çizgi üzerindedir. Birinci referans değeri 516, s2 ve s3 sensör değerleri 472'dir. İkinci referans değeri 487, s2 sensör değeri 442 ve s3 sensör değeri 443'tür.

Üçüncü bölüm ile altıncı bölüm karşılaştırıldığında, her iki bölümde de s1 sensörünün bir kısmı ve s0 sensörünün tamamı çizgi üzerindedir. Üçüncü bölümde s1 sensörü 387 ve 388 değerlerini alırken, altıncı bölümde s1 sensörü 480 ve 489 değerlerini almıştır. Üçüncü bölümde s1 sensör değerleri ile referans değerleri arasındaki farklar; $528 - 388 = 140$, $527 - 387 = 140$ 'tır. Altıncı bölümde s1 sensör değerleri ile referans değerleri arasındaki farklar; $516 - 480 = 36$, $525 - 489 = 36$ 'dır. Bu hesaplamalarda görüldüğü gibi üçüncü bölümde referans değerleri ile sensör değerleri arasındaki fark daha fazladır. Sensörler çizginin üzerine doğru yaklaştıkça mikrodenetleyicinin ADC portlarından okuduğu sinyal, sensör sinyallerini işlemek için kullanılan algoritma sayesinde referans noktalarına yakın olarak ve sensörler çizgiden uzaklaştıkça referans noktası değerlerinden daha düşük olarak hesaplanmaktadır. Sonuç olarak; algoritma sensörün çizginin üzerindeki durumuna göre işlem yapmaktadır.

Altıncı ve yedinci bölümde kırmızı ile belirtilen sensörlerin bir kısmının çizginin üzerinde, diğerlerinin ise tam çizginin üzerinde olmasına karşın sensör değerlerinin aynı olması veya birbirine çok yakın olması, algoritmanın hesaplamada kullandığı sensör katsayılarından kaynaklanmaktadır.

LFR'nin güvenli bir şekilde ilerleyebilmesi için program algoritması tarafından elde edilen hata bilgisinin aynı zamanda motorların kontrolünde de doğru bir şekilde kullanılması gerekir. Bunun için bu projede PID kontrol metodu kullanılmıştır.

Mikrodenetleyici tarafından hassas ve otonom olarak üretilen hata bilgisi PID kontrolünün daha verimli çalışmasını sağlamaktadır.

3.2.12. PID KONTROL

PID kontrol; uygulaması basit, kolay kontrol edilebilen ve kullanılabilen aynı zamanda birçok sistemin kontrolünde iyi bir kontrol kalitesine ulaştığından dolayı endüstriyel işlemlerin kontrolünde vazgeçilmez bir konuma sahiptir. (Vocational, 2023) PID oransal, integral ve türevsel denetim yapan geri beslemeli bir kontrol sistemidir. PID sisteminin ayarlanmasında genel olarak J.G. Ziegler and N.B. Nichols metodu kullanılır. PID önceden belirlenen bir değer ile kontrol edilecek sistemden gerçek zamanlı ölçülen değer arasındaki hata oranını hesaplar (Gheorghe, 2018; Panda, 2012). PID kontrolde; P harfi sistemin çalışma anındaki hatasını, I harfi sistemin çalışmaya başlamasından itibaren sistemin kontrol edilen zamanına kadar geçmiş hataların toplamını ve D harfi, sistemin gelecekteki hatalarının bir tahminidir. PID kontroldeki bu üç farklı parametrenin ağırlıklı toplamı elde edilerek kontrol edilecek sistemin en az hata ile çalışabilmesi sağlanır.(Goldewijk & Ramankutty, 2014) Sensörlerden elde ettiğimiz pozisyon değeri ile LFR'nin orta noktası olarak belirlediğimiz değeri arasındaki fark LFR'nin hata bilgisidir. Bu bilgi PID algoritması ile işlenerek sonuçta elde edilen düzeltme değeri motorlara Arduino pwm çıkış pinlerinden gönderilir.

$$\text{Düzeltilme} = K_p * e(t) + K_i * \int_0^t e(t) dt + K_d * \frac{d}{dt} e(t) \quad (\text{Goud \& Swarnkar, 2019; Panda, 2012})$$

K_p : Oransal kazanç

K_i : İntegral kazanç

K_d : Türevsel Kazanç

t: işlem yapılan zaman

e: hata

Sistemimize uygun PID değerlerini bulabilmek için testler yapılmalı, ve yapılan testlerden elde edilen değerlere göre LFR için uygun PID değerleri uygulanmalıdır (Kurniawan et al., 2016).

3.2.12.1. Mikro Denetleyicide PID Programının Uygulanması

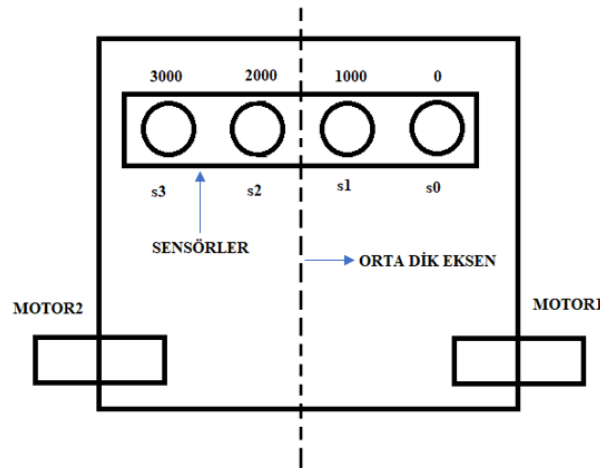
PID program örneği Çizelge 3.5.'de gösterilmiştir.

Çizelge 3. 5. PID Program Örneği

```
function PID ( )
{
lasterror = error;
proportional = Kp * error;
derivative = Kd * (error - lasterror);
integral = (integral + error) * Ki;
correction = proportional + derivative + integral;
motor 1 = power + correction;
motor 2 = power - correction;
}
```

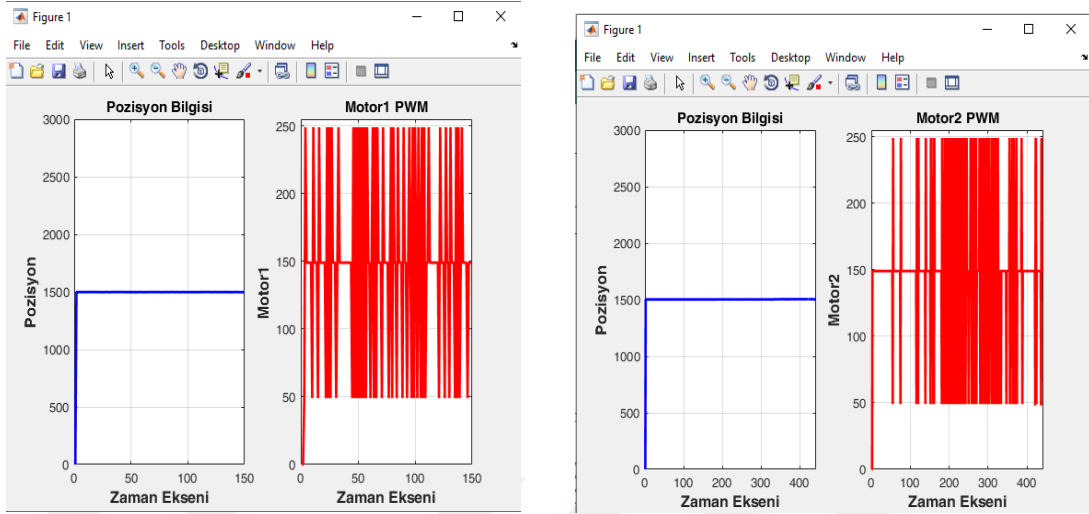
3.2.12.2. PID Algoritması Çalışma Analizi

Şekil 3.21.'de LFR'nin sensör konumları, pozisyon bilgisinin elde edilmesi için kullanılan sensör katsayıları, sensörlerin ve LFR'nin orta noktasından geçen dik eksen ve motor konumları gösterilmiştir. Farklı pozisyon bilgilerine göre, PID algoritmasının motorlar için ürettiği PWM değerleri, MATLAB programı kullanılarak elde edilen analiz sonuçları Şekil 3.21.'e göre değerlendirilmiştir.



Şekil 3. 22. LFR Orta Dik Eksen-Sensörler-Motorların Konumları

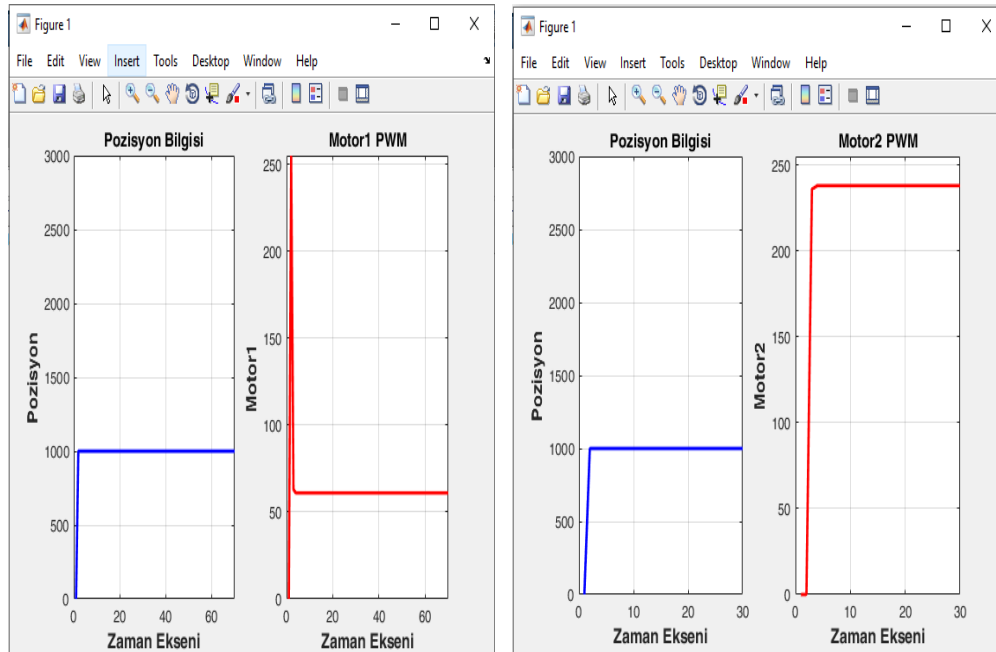
Çizgi takip etmek için dört adet sensörün kullanıldığı LFR robotta pozisyon bilgisi 1500 olarak hesaplandığında Çizelge 3.4.'de belirtildiği gibi hata değeri sıfırdır.



Şekil 3. 23. Pozisyon Bilgisi 1500

LFR'nin s1 ve s2 orta sensörleri çizgi üzerindedir. Bu durum, LFR'nin orta dik ekseninin takip edilen çizgi üzerinde olduğunu gösterir. LFR'nin iki motoruna belirlenen maksimum güç verilir. LFR'nin hızı istenilen maksimum seviyeye çıkar. Şekil 3.22'de Motor1 ve Motor2'ye aynı oranda maksimum güç verildiği görülmektedir.

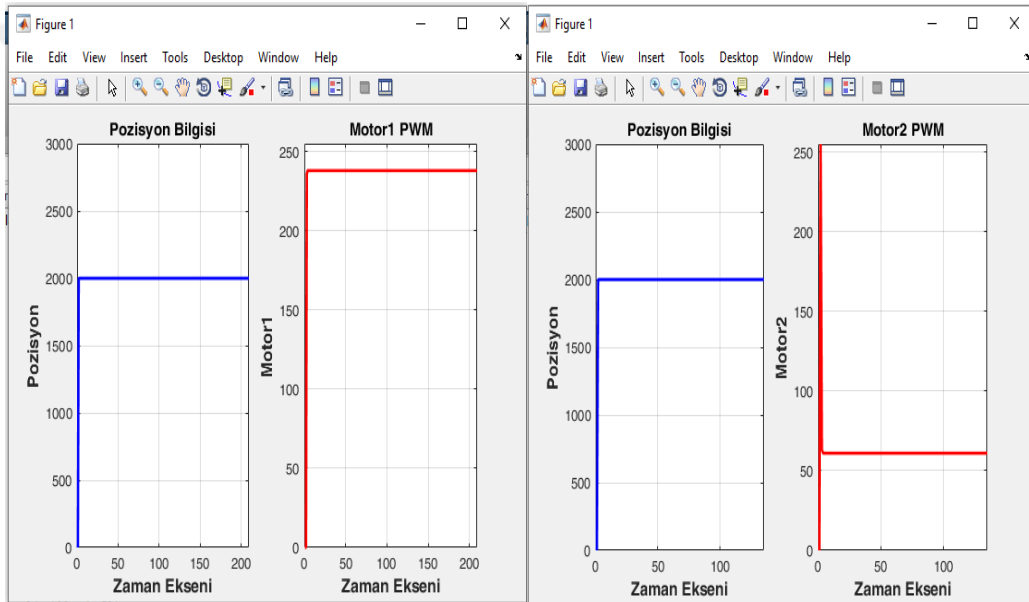
LFR'nin pozisyon bilgisi 1000 olduğunda Çizelge 3.4.'de belirtildiği gibi sadece s1 sensörü çizgi üzerindedir ve hata değeri 500 olarak hesaplanır.



Şekil 3. 24. Pozisyon Bilgisi 1000

LFR'nin orta dik eksenine sola doğru kaymıştır. LFR'nin orta dik ekseninin çizgi üzerine gelmesi için, 500 hata değeri PID fonksiyonunda işlendikten sonra Şekil 3.23.'deki grafiklerde Motor1'in PWM değerinin, Motor2'nin PWM değerinden daha düşük olduğu görülmektedir. PID fonksiyonunda Motor1'in PWM değeri düşürülür, Motor2'nin PWM değeri artırılır. LFR 1000 pozisyon bilgisini hesapladığı zamanlarda LFR'nin orta dik eksenini sağa doğru kaydırabilmek için motorlara PWM değerleri Şekil 3.23'deki grafik değerlerine göre uygulanmaya devam eder.

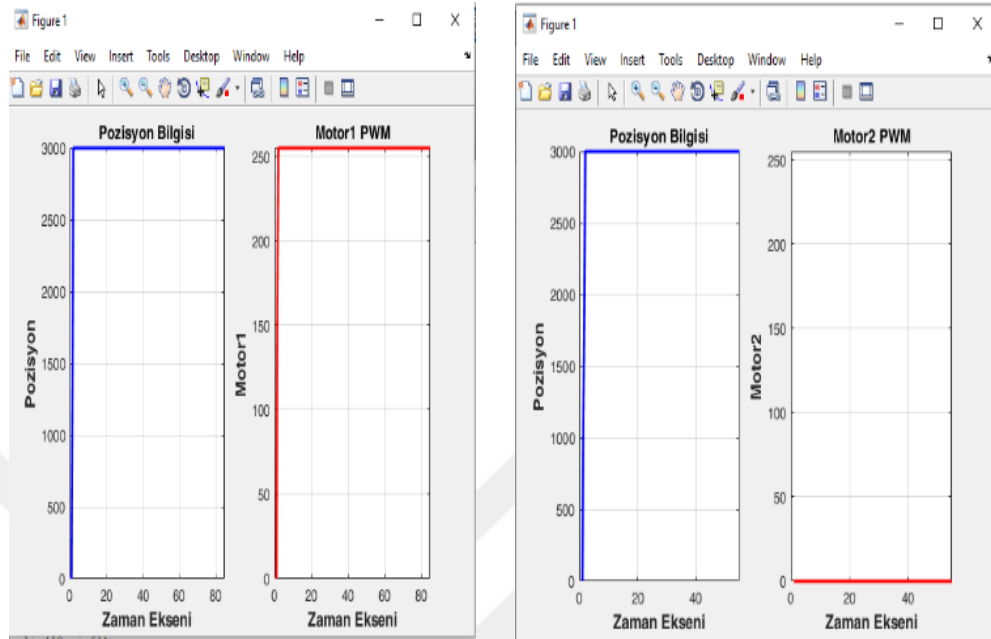
LFR'nin pozisyon bilgisi 2000 olduğunda Çizelge 3.4.'de belirtildiği gibi sadece s2 sensörü çizgi üzerindedir ve hata değeri -500 olarak hesaplanır.



Şekil 3. 25. Pozisyon Bilgisi 2000

LFR'nin orta dik eksenine sağa doğru kaymıştır. LFR'nin orta dik ekseninin çizgi üzerine gelmesi için, -500 hata değeri PID fonksiyonunda işlendikten sonra Şekil 3.24'deki grafiklerde Motor1'in PWM değerinin, Motor2'nin PWM değerinden daha yüksek olduğu görülmektedir. PID fonksiyonunda Motor1'in PWM değeri artırılır, Motor2'nin PWM değeri düşürülür. LFR 2000 pozisyon bilgisini hesapladığı zamanlarda LFR'nin orta dik eksenini sola doğru kaydırabilmek için motorlara PWM değerleri Şekil 3.24'deki grafik değerlerine göre uygulanmaya devam eder.

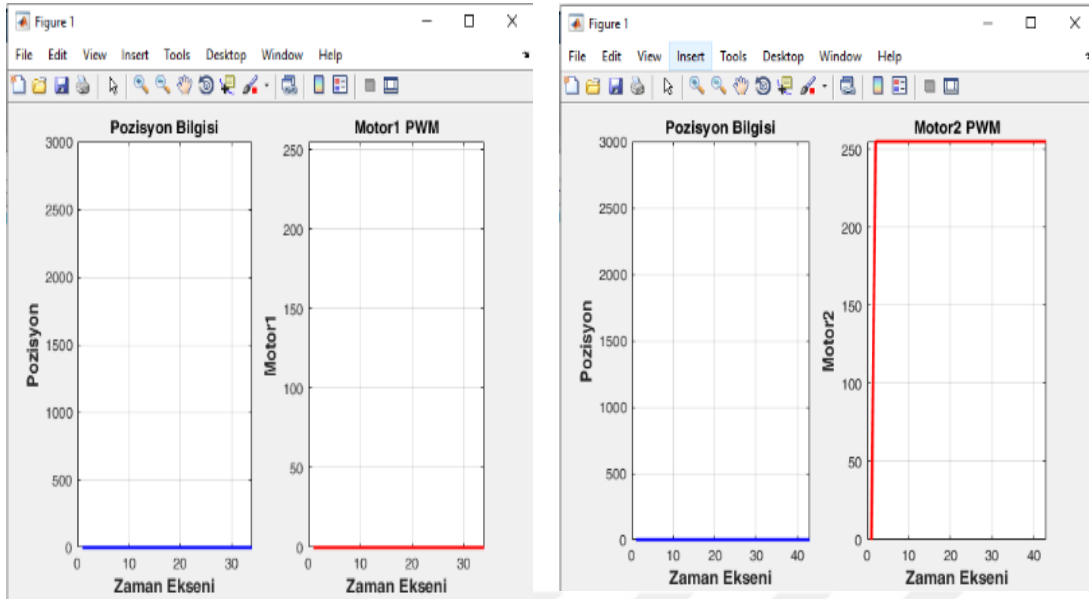
LFR'nin pozisyon bilgisi 3000 olduğunda Çizelge 3.4.'de belirtildiği gibi sadece s3 sensörü çizgi üzerindedir ve hata değeri -1500 olarak hesaplanır.



Şekil 3. 26. Pozisyon Bilgisi 3000

LFR'nin orta dik eksenini sağa doğru kaymıştır. LFR'nin orta dik ekseninin çizgi üzerine gelmesi için, -1500 hata değeri PID fonksiyonunda işlendikten sonra Şekil 3.25'deki grafiklerde Motor1'in PWM değerinin en yüksek seviyede, Motor2'nin PWM değerinin ise sıfır olduğu görülmektedir. PID fonksiyonunda Motor1'in PWM değeri artırılır, Motor2'nin PWM değeri düşürülür. LFR 3000 pozisyon bilgisini hesapladığı zamanlarda LFR'nin orta dik eksenini sola doğru kaydırabilmek için motorlara PWM değerleri Şekil 3.25'deki grafik değerlerine göre uygulanmaya devam eder

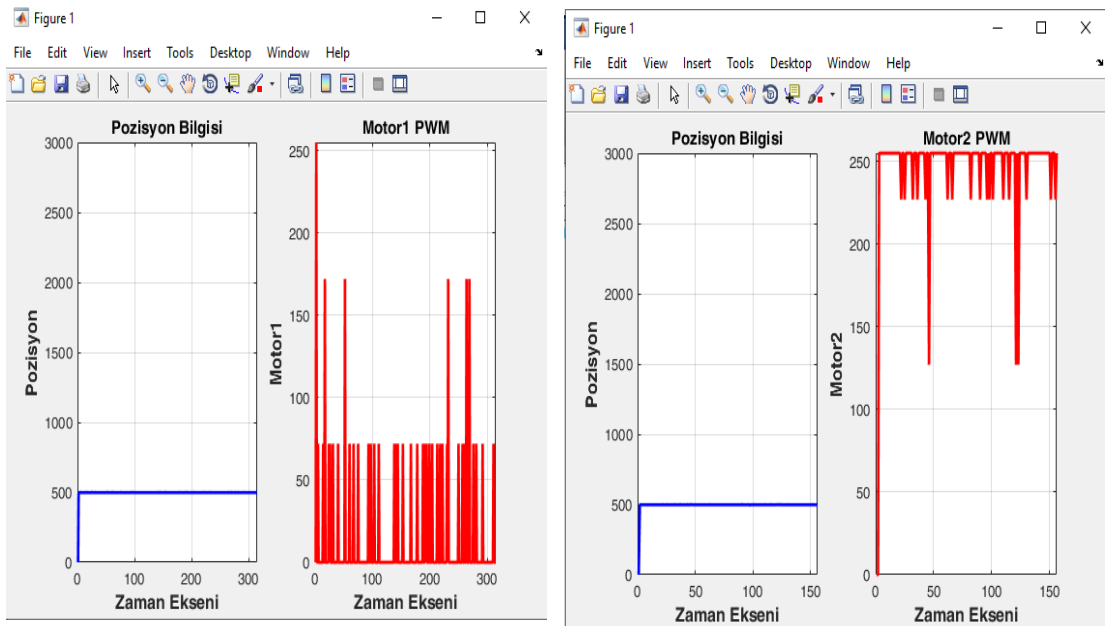
LFR'nin pozisyon bilgisi sıfır olduğunda Çizelge 3.4.'de belirtildiği gibi sadece s0 sensörü çizgi üzerindedir ve hata değeri 1500 olarak hesaplanır. LFR'nin orta dik eksenini sola doğru kaymıştır. LFR'nin orta dik ekseninin çizgi üzerine gelmesi için, 1500 hata değeri PID fonksiyonunda işlendikten sonra Şekil 3.26'daki grafiklerde Motor1'in PWM değerinin sıfır, Motor2'nin PWM değerinin ise en yüksek seviyede olduğu görülmektedir.



Şekil 3. 27. Pozisyon Bilgisi Sıfır

PID fonksiyonunda Motor1'in PWM değeri azaltılır, Motor2'nin PWM değeri artırılır. LFR sıfır pozisyon bilgisini hesapladığı zamanlarda LFR'nin orta dik eksenini sağa doğru kaydırabilmek için motorlara PWM değerleri Şekil 3.26'daki grafik değerlerine göre uygulanmaya devam eder

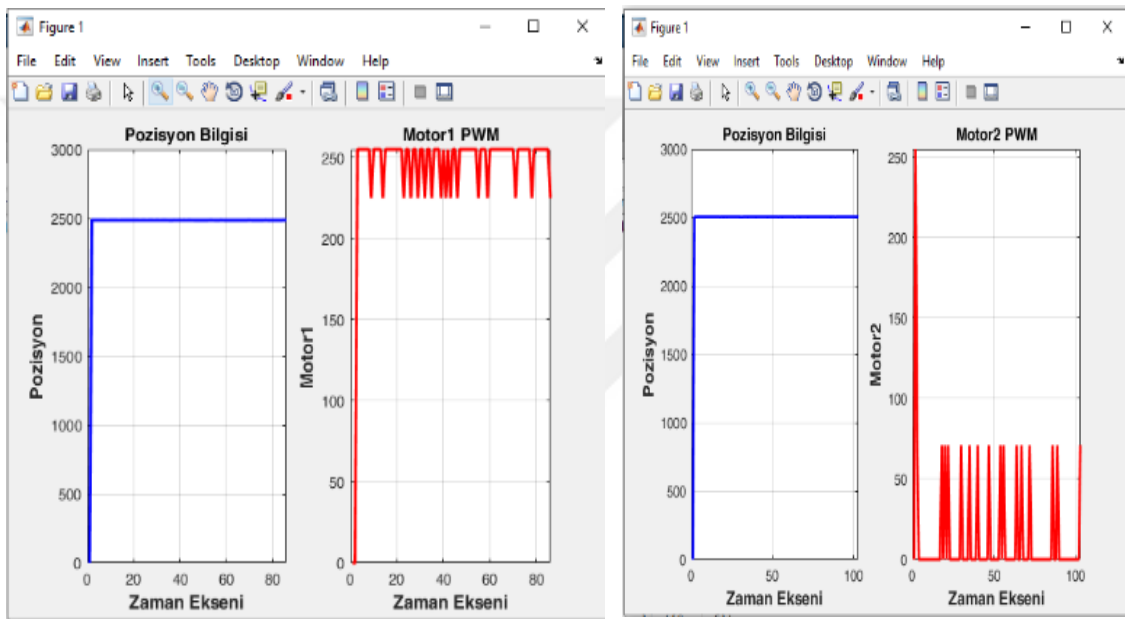
LFR'nin pozisyon bilgisi 500 olduğunda Çizelge 3.4.'de belirtildiği gibi s0 sensörünün tamamı ve s1 sensörünün yarısı çizgi üzerindedir ve hata değeri 1000 olarak hesaplanır.



Şekil 3. 28. Pozisyon Bilgisi 500

LFR'nin orta dik eksenine sola doğru kaymıştır. LFR'nin orta dik ekseninin çizgi üzerine gelmesi için, 1000 hata değeri PID fonksiyonunda işlendikten sonra Şekil 3.27'deki grafiklerde Motor1'in PWM değerinin, Motor2'nin PWM değerinin 1/3'ü olduğu görülmektedir. Motor1 yavaşlarken, Motor2 hızlanmıştır. Bu şekilde PID fonksiyonu, LFR'nin orta dik ekseninin salınım yapmadan, çizgi üzerine gelmesini sağlar.

LFR'nin pozisyon bilgisi 2500 olduğunda Çizelge 3.4.'de belirtildiği gibi s2 sensörünün tamamı ve s3 sensörünün yarısı çizgi üzerindedir ve hata değeri -1000 olarak hesaplanır. LFR'nin orta dik eksenine sağa doğru kaymıştır.



Şekil 3. 29. Pozisyon Bilgisi 2500

LFR'nin orta dik ekseninin çizgi üzerine gelmesi için, -1000 hata değeri PID fonksiyonunda işlendikten sonra Şekil 3.28'deki grafiklerde Motor2'nin PWM değerinin, Motor1'in PWM değerinin 1/3'ü olduğu görülmektedir. Motor1 hızlanırken, Motor2 yavaşlamıştır. Bu şekilde PID fonksiyonu, LFR'nin orta dik ekseninin salınım yapmadan, çizgi üzerine gelmesini sağlar.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Günümüzde artan ekonomik rekabet, küresel çapta meydana gelen salgın hastalıklar, endüstri ve sağlık gibi birçok alanda robotların kullanılmasını gerektirmektedir. Robotların çalışırken kontrolleri çok önemlidir. Robotların kontrolünde sensörler kullanılmakta ve sensörlerden gelen bilgilere göre robot hareketleri mikrodenetleyiciler

tarafından kontrol edilmektedir. Sensörlerden gelen bilgilerin mikrodenetleyicilere yüklenen programlar ile doğru olarak işlenebilmesi, robotların en az hata ile çalışmasını sağlayacaktır.

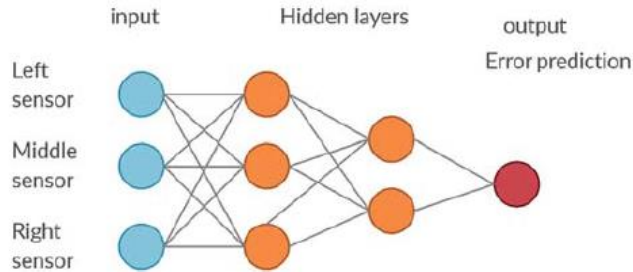
Sensörlerden gelen bilgilerin işlenmesinde farklı program algoritmaları kullanılmaktadır. Örneğin; fuzzy kontrol ile yapılan bir çizgi izleyen robotta sensörlerden gelen [0V – 5V] aralığındaki bilgiler, belirli bölümlere ayrılarak motor hızları ayarlanmaktadır. Her bir bölüm için ayrı bir harf tanımlaması yapılır. Çizelge 4.1. 'de fuzzy algoritma için sensör bilgilerinin sınıflandırılması görülmektedir.

Çizelge 4. 1. Fuzzy Algoritma İçin Sensör Bilgilerinin Sınıflandırılması(Głowicki & Butkiewicz, 2013)

İsim	Değer Aralığı	Kısaltma
Büyük (Large)	0V – 3.6V	D
Orta (Medium)	3V – 4.3V	S
Az (Little)	3.6V – 4.85V	T
Daha Az (Small)	4.3V – 5V	M

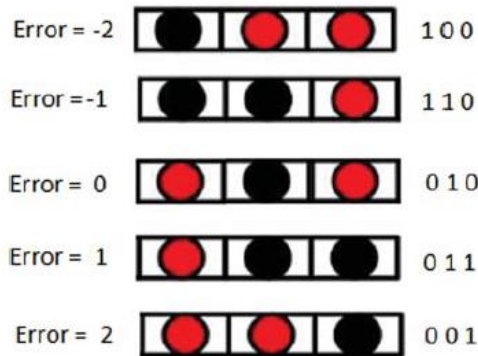
Çizelge 4.1.'de LFR'nin hareketi sırasında sensörlerin çizgi üzerindeki konumlarına göre elde edilen gerilim değerleri dört kategoriye ayrılmıştır. Bu değerlerin durumlarına göre motorlara verilecek PWM değerleri de dört farklı değerde olacaktır. LFR çizgiyi takip edebilir, fakat gerilim değerleri arasındaki fark fazla olduğu için LFR hareketi sırasında, çizgi üzerinde sağa ve sola salınım yaparak ilerler. Salınımı engellemek için sensörlerden elde edilen gerilim değerlerinin daha fazla kategoriye ayrılması gereklidir. Matematik işlemi olarak dört adet bölüm için 256 farklı PWM çıkışı kullanılacağı düşünüldüğünde bir kategoriden diğer kategoriye geçişte $256/4=61$ PWM değeri kadar bir fark olacaktır. Fakat ADC ile elde edilen sensör bilgileri 1024 kategoriye ayrıldığı için $1024/256=4$ değeri her dört bölümün bir PWM değerini değiştirdiği anlamına gelir. Böylece sensörlerden elde edilen değerlere göre 256 PWM çıkışlı bir mikrodenetleyicinin bütün PWM değerleri adım adım kullanılır. Ayrıca Fuzzy algoritma ile her bir kategori için farklı PWM değerlerinin belirlenmesi gerekir. [0 – 255] arası PWM çıkışı olan bir mikrodenetleyici için 256 adet PWM değerinin, sensörlerden gelen bilgilere göre, hassas bir şekilde kategorilere ayrılması çok zor bir işlemdir. Bu işlemin mikrodenetleyici tarafından otomatik hesaplamalarla anlık yapılması LFR'nin düzgün bir sürüş ile kontrol edilmesini sağlayacaktır.

Robotların sensörlerden gelen bilgilerle kontrol edilmesinde kullanılan diğer bir algoritma da yapay sinir ağları metodudur. Bu metot ile sensörlerden gelen bilgiler yapay sinir ağlarındaki katmanlar tarafından işlenerek bir hata bilgisi üretilmekte ve bu bilgi PID fonksiyonu tarafından kullanılmaktadır.



Şekil 4. 1 Yapay Sinir Ağlarının Robot Kontrolünde Kullanılması(Farkh et al., 2021)

Yapay sinir ağlarının robotların hareketlerinin kontrolünde kullanılması için yapılan çalışmalarda sensörlerden gelen bilgiler dijital olarak okunmuş ve Şekil 4.1.'de görüldüğü gibi sinir ağlarındaki nöronlar tarafından işlenerek bir hata bilgisi çıkışı elde edilmiştir. Mikrodenetleyiciye gelen bilgi dijital olduğu için, hata bilgisi de dijital olacaktır. PID fonksiyonunda bu bilgiler dijital olarak değerlendirileceği için, motorların hassas bir şekilde kontrolünü sağlamak çok zordur. Şekil 4.2.'de sensörlerin dijital pozisyon bilgilerine göre hata bilgileri üretilmiştir. Dijital pozisyon bilgisi üretilirken sensörlerin tam olarak takip edilen çizginin üzerinde olması gereklidir. Eğer sensörün bir bölümü çizginin üzerinde, diğer bölümü çizginin dışında ise sensörün IR led tarafından zemine gönderilen ışığın yansımaya göre sıfır bilgisi (0V), bir bilgisi (5V) veya mikrodenetleyicinin tam olarak değerlendiremeyeceği bir gerilim değeri elde edilecektir. Bu durum mikrodenetleyicinin yanlış çalışmasına neden olacak ve motorların kontrolü de doğru bir şekilde sağlanamayacaktır.



Şekil 4. 2. Yapay Sinir Ağlarındaki Sensör Pozisyonları Ve Hata Bilgileri(Farkh et al., 2021)

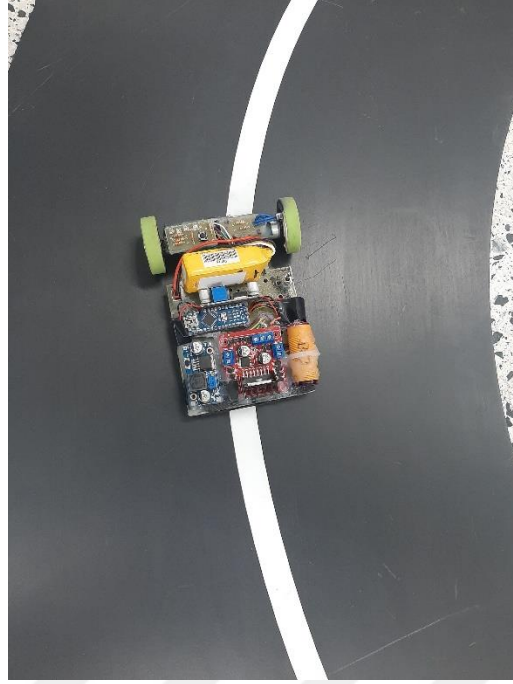
Bu tez çalışması ile mikrodenetleyicinin 10 bitlik ADC modülü kullanılarak, her bir sensörden gelen bilgi 1024 parçaya ayrıldı. Elde edilen bilgi parçaları önceki bölümlerde bahsedilen algoritma ile işlenerek bir pozisyon bilgisi üretildi. Dört adet sensör kullanılan bu sistemde [0 – 3000] aralığında 3001 adet pozisyon bilgisi üretilmiştir. Bunun anlamı; 3001 adet dijital çıkış veren sensörün sistemde kullanılmasıdır. Böylece, önerilen sistemle çevresel değişiklikleri algılayan sensörlerle hassas bir okuma sağlanmış ve 3001 adet sensörün kullanılacağı bir sistemde, aynı algılama süreci dört adet sensörle gerçekleştirilmiştir. Aynı zamanda 3001 adet sensörün mikrodenetleyici tarafından okunması için gereken süre ve sistemin kurulması için gerekli olan maliyet en az seviyeye indirilmiştir. LFR hareket halindeyken çevresel ışık değişimlerine karşı, gerçek zamanlı ışık referans noktaları oluşturularak, LFR sensörlerinin o andaki ortamın ışık şiddetine göre okuma yapmaları ve mikrodenetleyicinin hatasız bir pozisyon bilgisi üretmesi sağlanmıştır.

Elde edilen pozisyon bilgisi PID fonksiyonunda işlenerek motorların kontrolleri, mikrodenetleyicinin maksimum seviyede sağlayacağı PWM çıkışlarına göre ayarlanarak motorların en hassas bir şekilde kontrolü yapılmıştır.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Hastaların ve ilaçların taşınmasında çizgi izleyen robot kullanılan bu çalışma ile en az maliyet ve enerji harcanarak insanların günlük hayatta robot teknolojilerinden kolay bir şekilde faydalanmalarını sağlayacak güvenli bir metot geliştirilmiştir.

Tez çalışmasında kullanılan LFR hastaların ve ilaçların taşınmasında kullanılabileceği gibi, askeri tesislerde, endüstride, insanlara zarar verebilecek maddelerin taşınmasında da güvenli bir şekilde kullanılabilir.



Şekil 5. 1. LFR Prototip

Robotların sensörlerden gelen bilgilere göre güvenli bir şekilde kontrolünü sağlamak için, bu tez çalışmasında geliştirilen yöntem ile renk sensörlerinden gelen bilgiye göre pozisyon bilgisi üretilebileceği gibi, aynı zamanda önerilen yöntem ile ısı sensörlerinden, nem sensörlerinden veya endüstride kullanılan diğer sensörlerden elde edilen bilgilerin işlenmesi ve doğru çıkış bilgilerinin elde edilmesi de sağlanacaktır. Örneğin; bir fırının sıcaklığı farklı ısıtıcılar tarafından sağlanıyorsa ve fırın içi sıcaklığın fırının her yerinde aynı olması isteniyorsa, ısıtıcılara verilecek gerilim değerleri geliştirilen algoritma ile ayarlanabilir. İkinci bir örnek olarak; bir tarladaki nem sensörlerinden gelen bilgiye göre, tarlanın belirlenen noktalarına ne kadar su verileceği belirlenir ve tarlaya su veren motor veya valflerin kontrolü sağlanarak, tarlanın her noktasının eşit oranda sulanması sağlanır.

KAYNAKLAR

- Abdulhussein, H., & Hadi, H. (2020). *Line Follower Robot Arduino (using robot to control Patient bed who was infected with Covid-19 Virus); Line Follower Robot Arduino (using robot to control Patient bed who was infected with Covid-19 Virus)*. <https://doi.org/10.14456/jti.2018.7>
- Alwan, M., Green, A., Noori, A., & Aldair, A. (2021). Design and Implementation of Line Follower Arduino Mobile Robot Using Matlab Simulink Toolbox. *Iraqi Journal for*

- Electrical and Electronic Engineering*, 17(2), 11–16.
<https://doi.org/10.37917/ijeec.17.2.2>
- Arduino. (2019). *Arduino Nano*. <https://protosupplies.com/product/nano-3-0-with-usb-cable/> (Erişim Tarihi:20.10.2022)
- Arduino Library for the Pololu QTR Reflectance Sensors. (n.d.). <https://www.pololu.com> (Erişim Tarihi:04.01.2022)
- Bakhshi Nejad Beigzadeh Mahaleh, M., & Mirroshandel, S. A. (2022). Real-time application of swarm and evolutionary algorithms for line follower automated guided vehicles: a comprehensive study. *Evolutionary Intelligence*, 15(1), 119–140. <https://doi.org/10.1007/s12065-020-00496-4>
- Ballard, Z., Brown, C., Madni, A. M., & Ozcan, A. (2021). *Machine learning and computation-enabled intelligent sensor design*. <https://doi.org/10.1038/s42256-021-00360-9>
- Bendimrad, A., Amrani, A. El, & Amrani, B. El. (2020). Design and implementation of line follower and obstacle detection robot. *International Journal of Power Electronics and Drive Systems*, 11(1), 160–168. <https://doi.org/10.11591/ijpeds.v11.i1.pp160-168>
- Buyrukbilen, Y., & Uzun, Y. (2023). Participation of Disability People to Working and Learning Environments with the Help of Robots. In *International Journal of Innovative Science and Research Technology* (Vol. 8, Issue 6). www.ijisrt.com458
- Cerrahpaşa, İ. Ü. (2020). *Lisansüstü Eğitim Enstitüsü*.
- Chatterjee, S. (2020). Impact of AI regulation on intention to use robots: From citizens and government perspective. *International Journal of Intelligent Unmanned Systems*, 8(2), 97–114. <https://doi.org/10.1108/IJIUS-09-2019-0051>
- Çiçek, S. (2009). *CCS C ile PIC programlama*. Altaş Yayıncılık.
- Çıkan, N. N. (2016). *Analog to digital converters(ADCs); effective number of bits(ENOB); signal to noise ratio(SNR); figure of merits(FOM)*. <https://doi.org/10.1109/EMS.2016.41>
- D'auria, D., & Persia, F. (2021). Robots against the Coronavirus: The need for a new generation of robots to help global society. *Proceedings - 2021 IEEE 15th International Conference on Semantic Computing, ICSC 2021*, 421–424. <https://doi.org/10.1109/ICSC50631.2021.00087>
- Farkh, R., Marouani, H., Al Jaloud, K., Alhuwaimel, S., Quasim, M. T., & Fouad, Y. (2021). Intelligent autonomous-robot control for medical applications. *Computers, Materials and Continua*, 68(2), 2189–2203.

- <https://doi.org/10.32604/cmc.2021.015906>
- Getting Started with Ultrasonic Module and Arduino •. (n.d.).
<https://electropeak.com/learn/getting-started-with-ultrasonic-module-and-arduino/>
 (Erişim Tarihi:27.08.2022)
- Gheorghe, G. (2018). *The Design and Control of a MOBILE Vehicle With Arduino Microcontroller Based on Algorithm PID*.
- Głowicki, M., & Butkiewicz, B. S. (2013). Autonomous line-follower with fuzzy control. *2013 Signal Processing Symposium, SPS 2013*.
<https://doi.org/10.1109/SPS.2013.6623591>
- Goldewijk, K. K., & Ramankutty, N. (2014). Sc Ls. *Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS)*, I(May), 1990–2010.
- Goud, H., & Swarnkar, P. (2019). Investigations on Metaheuristic Algorithm for Designing Adaptive PID Controller for Continuous Stirred Tank Reactor. *Mapan - Journal of Metrology Society of India*, 34(1), 113–119. <https://doi.org/10.1007/s12647-018-00300-w>
- Gugaratshan, G., Barthlow, D., Lingenfelter, D., & Thumati, B. (2023). Machine learning-driven ram analysis using multi-variate sensor data. *Proceedings - Annual Reliability and Maintainability Symposium, 2023-Janua*, 1–6.
<https://doi.org/10.1109/RAMS51473.2023.10088229>
- Gupta, V. (2010). Working and analysis of the H - Bridge motor driver circuit designed for wheeled mobile robots. *Proceedings - 2nd IEEE International Conference on Advanced Computer Control, ICACC 2010*, 3, 441–444.
<https://doi.org/10.1109/ICACC.2010.5486818>
- Hasan, K. M., Abdullah-Al-Nahid, & Al Mamun, A. (2012). Implementation of autonomous line follower robot. *2012 International Conference on Informatics, Electronics and Vision, ICIEV 2012*, 865–869.
<https://doi.org/10.1109/ICIEV.2012.6317486>
- Hassan Tariq et al. (2018). *2018 International Conference on Electrical Engineering (ICEE) : February 15 - 16, University of Engineering and Technology, Lahore, Pakistan*.
- Hastahanelerde Kullanılan Servis Robotu. (n.d.).
<https://www.modernhealthcare.com/article/20130525/MAGAZINE/305259957/robots-get-to-work> (Erişim Tarihi:22.11.2023)
- History, T. L. (n.d.). *What is Transistor Transistor Logic (TTL) & Its Working*.

- <https://www.elprocus.com/transistor-transistor-logic-ttl/> (Erişim Tarihi:24.09.2022)
- Iliev, I. (2020). Wideband signal detection with software DSP processor implemented on a microcontroller. *2020 21st International Symposium on Electrical Apparatus and Technologies, SIELA 2020 - Proceedings, 2020–2023*. <https://doi.org/10.1109/SIELA49118.2020.9167081>
- Joy, A., Varghese, R. A., Varghese, A., Sajeev, A. M., Raveendran, J., Thomas, A., & Saran, K. B. (2021). MedRobo Medicine Delivering and Patient Parameter Monitoring Robot. *2021 7th International Conference on Advanced Computing and Communication Systems, ICACCS 2021, 1808–1812*. <https://doi.org/10.1109/ICACCS51430.2021.9441692>
- Junghan Park et al. (2019). Improved optical performance of multi-layer MoS₂ phototransistor with see-through metal electrode _ Enhanced Reader. *Park et Al. Nano Convergence*.
- K.Khade et al. (2017). *2017 7th International Symposium on Embedded Computing and System Design (ISED)*. IEEE.
- Kasaei, S. H., Melsen, J., van Beers, F., Steenkist, C., & Voncina, K. (2021). The State of Lifelong Learning in Service Robots:: Current Bottlenecks in Object Perception and Manipulation. *Journal of Intelligent and Robotic Systems: Theory and Applications, 103*(1). <https://doi.org/10.1007/s10846-021-01458-3>
- Kurniawan, W., Ichsan, M. H. H., & Setiawan, E. (2016). Segway Line Tracer Using Proportional-IntegralDerivative Controllers. *Telkomnika (Telecommunication Computing Electronics and Control), 14*(2), 489–496. <https://doi.org/10.12928/TELKOMNIKA.v14i1.3156>
- Lee, K. min, Gu, T., & Bang, Y. bong. (2020). Measurement and compensation of errors in absolute encoder using dual absolute encoder system. *Microsystem Technologies, 26*(11), 3469–3476. <https://doi.org/10.1007/s00542-020-04925-3>
- Li, W., Wenli, C., Tequan, T., & Wenjian, Z. (2020, December 13). A Method to Improve the Testing Efficiency of ADC and Some RF Chips. *2020 Cross Strait Radio Science and Wireless Technology Conference, CSRSWTC 2020 - Proceedings*. <https://doi.org/10.1109/CSRSWTC50769.2020.9372695>
- Matiřák, J., Rosinová, D., řapák, P., & řáková, K. (2019). PID Control of Towercopter System. *IFAC-PapersOnLine, 52*(27), 288–292. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.12.675>
- McGinn, C. (2020). Why Do Robots Need a Head? The Role of Social Interfaces on

- Service Robots. *International Journal of Social Robotics*, 12(1), 281–295.
<https://doi.org/10.1007/s12369-019-00564-5>
- Mohammed, N. N., Mohammed, Z. A., & Faraj, A. N. (2021). Line-Following Service Robot Using Arduino with Face Recognition for Offices. *ICIIBMS 2021 - 6th International Conference on Intelligent Informatics and Biomedical Sciences*, 116–119. <https://doi.org/10.1109/ICIIBMS52876.2021.9651634>
- Moulay, A., Laoufi, F., Benslimane, T., & Abdelkhalek, O. (2020). FPGA-Based Car-Like Robot Path Follower with Obstacle Avoidance. *Proceedings of the 2020 International Conference on Mathematics and Information Technology, ICMIT 2020*, 125–131. <https://doi.org/10.1109/ICMIT47780.2020.9047008>
- Muhammad Farhan Fahim Adnan et al. (2020). *Modelling and Simulation of Omnidirectional Mobile Robot with Line Follower and Obstacles Avoidance*.
- Munshi, R., Hussain, F., Bristi, F., Karmoker, S. K., Zefat, Z. M., & Sumu, F. B. (2020). Design and fabrication of microcontroller-based dual axis light-sensitive rotating solar panel. *Advances in Materials and Processing Technologies*, 00(00), 1–17. <https://doi.org/10.1080/2374068X.2020.1815137>
- MZ80. (n.d.). 80. <https://www.direnc.net/mz80-kizilotesi-sensor-en> MZ80 (Erişim Tarihi:25.01.2023)
- Pakdaman, M., & Sanaatiyan, M. M. (2009). Design and implementation of line follower robot. *2009 International Conference on Computer and Electrical Engineering, ICCEE 2009*, 2, 585–590. <https://doi.org/10.1109/ICCEE.2009.43>
- Panda, R. C. (2012). Introduction to PID Controllers - Theory, Tuning and Application to Frontier Areas. In *Introduction to PID Controllers - Theory, Tuning and Application to Frontier Areas*. InTech. <https://doi.org/10.5772/2422>
- Pelgrom, M. (2017). Introduction. In *Analog-to-Digital Conversion* (pp. 1–4). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-44971-5_1
- Poeppel, A., Eymuller, C., & Reif, W. (2023). SensorClouds: A Framework for Real-Time Processing of Multi-modal Sensor Data for Human-Robot-Collaboration. *2023 9th International Conference on Automation, Robotics and Applications, ICARA 2023*, 294–298. <https://doi.org/10.1109/ICARA56516.2023.10125740>
- QRD 1114. (2022). <http://www.datasheetbank.com/datasheet-download/766470/1/QT/QRD1114> (Erişim Tarihi:23.12.2021)
- Rapuano, S., Daponte, P., Balestrieri, E., De Vito, L., Tilden, S. J., Max, S., & Blair, J. (2005). *IEEE Instrumentation & Measurement Magazine Part 6 in a series of tutorials*

- in instrumentation and measurement*. <http://grouper.ieee.org/groups/>.
- Redüktörlü Motor. (n.d.). <https://www.direnc.net/reduktorlu-dc-motor> (Erişim Tarihi:31.03.2023)
- Ruiz-Amaya, J., Delgado-Restituto, M., & Rodríguez-Vázquez, Á. (2011). Pipeline ADC Overview. In *Device-Level Modeling and Synthesis of High-Performance Pipeline ADCs* (pp. 1–28). Springer New York. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-8846-1_1
- Santoso Gunawan, A. A., Alicia, Dede, J., Mennawi, M. D., Ngarianto, H., Budiharto, W., Tolle, H., & Attamimi, M. (2021). Line Follower Smart Trolley System V2 using RFID. *Proceedings of 2021 1st International Conference on Computer Science and Artificial Intelligence, ICCSAI 2021*, 17–21. <https://doi.org/10.1109/ICCSAI53272.2021.9609710>
- Semiconductor, O. (n.d.). *LM2596 - 3.0 A, Step-Down Switching Regulator*. <http://onsemi.com> (Erişim Tarihi:08.04.2022)
- Siregar, Y., Novalina, S. D., & Erman, K. (2021). Design of Detectors on Automatic Trolley Using Ultrasonic Distance Sensors at Airports. *Proceedings - 2021 IEEE 5th International Conference on Information Technology, Information Systems and Electrical Engineering: Applying Data Science and Artificial Intelligence Technologies for Global Challenges During Pandemic Era, ICITISEE 2021*, 349–353. <https://doi.org/10.1109/ICITISEE53823.2021.9655821>
- Skrobek, D., Cekus, D., & Zajac, T. (2018). Control of the mobile robot using controllers of types P, PI, PID. *Journal of Applied Mathematics and Computational Mechanics*, 17(1), 69–78. <https://doi.org/10.17512/jamcm.2018.1.07>
- STMicroelectronics. (2000). *DUAL FULL-BRIDGE DRIVER*.
- Subero, A. (2018). ADC and DAC. In *Programming PIC Microcontrollers with XC8* (pp. 311–325). Apress. https://doi.org/10.1007/978-1-4842-3273-6_11
- Sumantri, B., Binugroho, E. H., Putra, I. M., & Rokhana, R. (2019). Fuzzy-PID controller for an energy efficient personal vehicle: Two-wheel electric skateboard. *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, 9(6), 5304–5311. <https://doi.org/10.11591/ijece.v9i6.pp5304-5311>
- Tart, M. (2022). *Sensör*. 2–5. <https://tr.wikipedia.org/wiki/Sensör>
- Tayal, S., Pallav, H., Rao, G., Bhardwaj, S., & Aggarwal, H. (2020). *Line Follower Robot: Design and Hardware Application; Line Follower Robot: Design and Hardware Application*.
- Tekerlek. (n.d.). <https://www.fldepo.com/BaneBots-Wheel-1-58-x-04-12-Hex-Mount->

30A-BlackGreen-BaneBots-Tekerlek-41x10mm,PR-1030.html (Erişim Tarihi:31.03.2023)

Valeriy I. Akimov et al. (2019). *Proceedings, 2019 International Russian Automation Conference (RusAutoCon) : Sochi, Russia, September 8-14, 2019.*

Vocational, C. (2023). Research on reliability design optimization of electronic products based on Fuzzy PID control. *2023 IEEE 3rd International Conference on Electronic Technology, Communication and Information (ICETCI), 575–580.* <https://doi.org/10.1109/ICETCI57876.2023.10176421>

Wiring the E18-D80NK Infrared Distance Ranging Sensor. (n.d.). (Erişim Tarihi:25.04.2022)

Yavuz BUYRUKBİLEN, Yusuf UZUN, E. B. (2022). *Engelsiz Bilişim 2022: Teknoloji Işığında Yaşam.* www.kriteriyayinevi.com

Zamora, M. L., Zuidema, C., & Koehler, K. (n.d.). *SENSOR.* 1–16. <https://doi.org/10.1002/0471435139.hyg144>