

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

OTONOM MAYIN TARAMA ROBOTU

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Onur Ulaş BAYSALLI
503051609**

Anabilim Dalı : Makine Mühendisliği

Programı : Sistem Dinamiği ve Kontrol

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Kenan Refah KUTLU

HAZİRAN 2010

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

OTONOM MAYIN TARAMA ROBOTU

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Onur Ulaş BAYSALLI
503051609

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 06 Mayıs 2010

Tezin Savunulduğu Tarih : 11 Haziran 2010

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Kenan Refah KUTLU (İTÜ)
Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Can ÖZSOY (İTÜ)
Yrd. Doç. Dr. Vasfi Emre ÖMÜRLÜ (YTÜ)

HAZİRAN 2010

ÖNSÖZ

“Otonom Mayın Tarama Robotu” isimli yüksek lisans tezimi hazırlama sürecinde bana her konuda yardımcı olan tez danışmanım Sayın Doç. Dr. Kenan KUTLU’ya; her zaman yanımda olan anneme ve babama, nişanlım Başak HASKÖSE’ye; desteklerini benden esirgemeyen dayım Hasan ÇİN ve arkadaşım Melih Koçak’a teşekkürü borç bilirim.

Haziran 2010

Onur Ulaş Baysallı

Makine Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ	i
İÇİNDEKİLER	iii
KISALTMALAR	v
ÇİZELGE LİSTESİ	vii
ŞEKİL LİSTESİ	ix
ÖZET	xi
SUMMARY	xiii
1. GİRİŞ	1
2. SİSTEMİN TANITIMI VE KULLANILAN TEKNOLOJİLER	3
2.1 Denetim ve Karar Verme Birimi	5
2.2 7805 Voltaj Regülatörü	6
2.3 ICD-U40 Programlayıcısı	7
2.4 PIC18F452 Bacak Bağlantıları	8
2.5 LiPo Pil ve Özellikleri	9
2.5.1 LiPo pilin anlık ve sürekli akımları	11
2.5.2 LiPo pilin avantaj ve dezavantajları	11
2.6 Pil Voltaj Durum Devresi	12
2.7 RF Haberleşme Modülleri	13
2.7.1 ER400TRS alıcı verici modülü	14
2.7.2 Devantech RF04 - 400 USB radyo telemetri modülü	17
2.8 Dijital Pusula	17
2.9 Analog Kamera Sistemi	18
2.10 DC Motorlar	19
2.11 DC Motor Sürücü Tasarımı	20
2.12 Enkoder	22
2.13 Ultrasonik Algılayıcılar	23
3. KULLANILAN YAZILIMLAR ve DONANIMI PROGRAMLAMA	25
3.1 PIC PCWHD C Derleyicisi	25
3.2 Tasarlanan Arayüz	26
3.3 PIC18F452'nin Yazılım Tasarımı	26
3.3.1 Saat sinyali	27
3.3.2 PIC18F452 ve LMD18200 motor sürücü entegresi	27
3.3.3 PIC18F452 ve SRF05 ultrasonik algılayıcı	29
3.3.4 PIC18F452 ve enkoder	31
3.3.5 PIC18F452 ve dijital saat	33
3.3.6 PIC18F452 ve RF	33
3.3.7 PIC18F452 ve dijital pusula	35
4. KONTROL ALGORİTMALARI	39
4.1 PID Kontrol Algoritması	39
4.1.1 Yazılımsal PID kontrolör	40

4.2 Karar Algoritması	41
5. MAYIN TARAMA BİRİMİ	43
5.1 Kara Mayınları.....	43
5.5.1 Anti personel mayınları	45
5.2 Mayın Dedektörü	47
6. MATLAB SİMÜLASYONLARI	51
6.1 Matlab Simulink Hız Kontrol Simulasyonu	52
6.2 Matlab Sistem Tanımlama.....	56
6.2.1 Matlab System Identification Toolbox ile model oluşturma	58
6.2.2 ARX model yapısı ve model elde etme.....	59
6.2.3 ARMAX model yapısı ve model elde etme	63
7. SONUÇ	71
KAYNAKLAR.....	73

KISALTMALAR

CPR	: Cycles Per Revolution
EEPROM	: Electronically Erasable Programmable Read-Only Memory
HS	: High Speed
I2C	: Inter-Integrated Circuit
ICD	: In-Circuit Debugger
LiPo	: Lityum Polimer
NTSC	: National Television Standards Committee
PAL	: Phase Alternating Line
PWM	: Pulse-width modulation
RF	: Radio Frequency
RPM	: Revolution Per Minute
us	: Mikro Saniye
USB	: Universal Serial Bus
WDT	: Watch Dog Timer
PI	: Pulse Induction

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1 : ER400TRS bacak açıklamaları.....	15
Çizelge 2.2 : Bir veri paketinin havada geçirdiği süre.....	16
Çizelge 2.3 : Bir veri paketinin PIC'den bilgisayara toplam iletim süresi.....	16
Çizelge 3.1 : enkoder A ve B girişlerinin karşılaştırması.....	32

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1	: RoboUB prototip.	3
Şekil 2.2	: FT232.	4
Şekil 2.3	: PIC18F452.	5
Şekil 2.4	: 18F452 bacak diyagramı.	6
Şekil 2.5	: PIC ve kristal osilator.	6
Şekil 2.6	: 7805 prototip devresi.	7
Şekil 2.7	: 7805 devre şeması.	7
Şekil 2.8	: ICD-U40.	8
Şekil 2.9	: ICD soketi ve PIC bağlantı şeması.	8
Şekil 2.10	: 18F452 bacak bağlantıları.	9
Şekil 2.11	: LiPo pil.	10
Şekil 2.12	: LiPo şarj cihazı.	11
Şekil 2.13	: Pil voltaj durum devresi.	13
Şekil 2.14	: ER400TRS.	14
Şekil 2.15	: ER400TRS iç yapısı.	14
Şekil 2.16	: ER400TRS bacak bağlantıları.	15
Şekil 2.17	: RF04 radyo telemetri modülü.	17
Şekil 2.18	: Devantech CMPS03 dijital pusula.	18
Şekil 2.19	: RF kamera ve alıcı sistem.	19
Şekil 2.20	: Lynxmotion GHM-16.	19
Şekil 2.21	: Lynxmotion GHM-16 ölçüleri.	20
Şekil 2.22	: LMD18200.	20
Şekil 2.23	: LMD18200 bacak bağlantıları.	21
Şekil 2.24	: LMD18200 ile motor sürücü devre tasarımı.	21
Şekil 2.25	: Enkoder üstten görünüş.	22
Şekil 2.26	: Motor ve enkoder.	22
Şekil 2.27	: Devantech SRF05 ultrasonik algılayıcı.	23
Şekil 2.28	: Devantech SRF05 bacak bağlantıları.	24
Şekil 2.29	: SRF05 zaman diyagramı, mode 2.	24
Şekil 3.1	: PIC PCWHD C derleyicisi.	25
Şekil 3.2	: RoboUB arayüzü.	26
Şekil 3.3	: PWM dalgası.	28
Şekil 3.4	: Görev çevrimi.	28
Şekil 3.5	: SRF05 bacak bağlantıları.	30
Şekil 3.6	: Ultrasonik algılayıcının alıcı ve vericisi.	30
Şekil 3.7	: Dört evreli iki kare dalga (Saat yönünde dönüş).	32
Şekil 3.8	: I2C bilgi akışı.	36
Şekil 3.9	: I2C akış diyagramı.	37
Şekil 4.1	: PID yazılım ve donanım.	41
Şekil 4.2	: Karar algoritması akış diyagramı.	42
Şekil 5.1	: Çeşitli tank ve personel mayınları.	44
Şekil 5.2	: Mayın tarama ve tespit.	44

Şekil 5.3 : Mayın tuzağı.	45
Şekil 5.4 : Anti personel kara mayınının iç yapısı.	46
Şekil 5.5 : Mayın tarama robotunun bobin kısmı.	47
Şekil 5.6 : Mayın tarama robotunun dedektör devresi.	48
Şekil 5.7 : PI dedektör devresi üst görünüş.	49
Şekil 5.8 : PI dedektör devresi alt görünüş.	49
Şekil 5.9 : PI dedektör açık devre şeması.	50
Şekil 6.1 : Matlab GUI.	51
Şekil 6.2 : Matlab Simulink veri alma kısmı.	52
Şekil 6.3 : PID katsayıları.	53
Şekil 6.4 : P katsayıları.	54
Şekil 6.5 : PD katsayıları.	54
Şekil 6.6 : PI katsayıları.	55
Şekil 6.7 : PI kontrollü ve kontrolsüz.	56
Şekil 6.8 : Sistemimizin yüksüz giriş ve çıkış verileri.	57
Şekil 6.9 : Gerçek zamanlı sistem tanımlama.	57
Şekil 6.10 : Matlab System Identification arayüzü.	58
Şekil 6.11 : Model hesaplama ve onaylama verileri.	59
Şekil 6.12 : ARX model yapısı.	60
Şekil 6.13 : Model yapısının seçimi.	60
Şekil 6.14 : ARX modellerin karşılaştırılması.	61
Şekil 6.15 : ARX131 modelinin pole-zero birim çemberi.	62
Şekil 6.16 : ARX131 modelinin otokorelasyon ve çapraz korelasyon analizi.	62
Şekil 6.17 : ARMAX model yapısı.	63
Şekil 6.18 : ARMAX3221 modelinin pole-zero birim çemberi.	63
Şekil 6.19 : ARMAX322 otokorelasyon ve çapraz korelasyon analizi.	64
Şekil 6.20 : ARMAX modellerin karşılaştırılması.	64
Şekil 6.21 : ARMAX3221 modelinin adım cevabı.	65
Şekil 6.22 : ARMAX3221 modelinin impuls cevabı.	65
Şekil 6.23 : Yüklü model hesaplama ve onaylama verileri.	66
Şekil 6.24 : Yüklü sistemin model yapısının seçimi.	66
Şekil 6.25 : Yüklü ARX221 model çıkışı.	67
Şekil 6.26 : Yüklü ARX221 modelinin pole-zero birim çemberi.	68
Şekil 6.27 : Yüklü ARX221 otokorelasyon ve çapraz korelasyon analizi.	68
Şekil 6.28 : Yüklü ARMAX221 model çıkışı.	69
Şekil 6.29 : Yüklü ARMAX221 otokorelasyon ve çapraz korelasyon analizi.	69

OTONOM MAYIN TARAMA ROBOTU

ÖZET

Bu projemizde, insanların ulaşamadığı bölgelere ve giremediği yerlere girerek, o bölgeyi veya yeri araştırarak, elde ettiği görsel bilgileri ve dijital verileri bilgisayara iletecek, ilettiği bu görüntü ve verilerin bilgisayardan gözlenebileceği, bir otonom mobil robot gerçekleştirilmiştir.

Otonom mobil robotun dizayn ve montajı, tüm donanım parçalarının uyumlu bir yapıda bütünleşeceği şekilde yapılmıştır. Bu sayede algılama ve hareket bütünleştirilerek, hesaplamada sensörlerden gelen veriler kullanılmıştır. Otonom mobil robot vereceği kararlarda sensörlere bağımlı olduğundan dolayı robota, tasarlanan yazılım sayesinde, davranışsal yapay zeka kazandırılmıştır. Veriler otonom mobil robot üzerindeki üç adet ultrasonik mesafe sensörü, bir adet dijital pusula, bir adet enkoder sensörü ve bir adet kameradan elde edilmektedir. Toplanan tüm veriler otonom mobil robot üzerinde bulunan bir RF alıcı / verici yardımı ile iletilmektedir. Gönderilen veriler bilgisayar üzerinde bulunan başka bir alıcı / verici vasıtası ile alınıp bilgisayarda işlenmektedir. Ultrasonik mesafe sensörleri sayesinde cisimler algılanmakta ve otonom mobil robota olan uzaklıkları belirlenmektedir. Dijital pusuladan ise robotun yön verisi elde edilmektedir. Otonom mobil robot üzerindeki mikrodenetleyici aldığı mesafe ve yön verileri doğrultusunda kendi kararlarını vererek yönünü bulmaktadır. İstenildiği takdirde bilgisayardan verilecek komutlar ile mobil robot durdurulabilmekte ve kamera vasıtası ile objeler gözlenebilmektedir.

Mobil robot mayın tarama görevlerinde kullanılabilecek şekilde tasarlanmıştır. İleride gerçekleştirilecek projelerde değişik kontrol algoritmaları robota adapte edilebilir.

AUTONOMOUS MINE DETECTION ROBOT

SUMMARY

We're aiming to develop an autonomous mobile robot which can operate different hazardous environments, collect visual and digital data, transmit these data to the computer.

All parts of the robot can be designed and assembled as compact as possible. The robot makes its decision based on sensor so that artificial intelligence is added to its firmware. I'm aiming to develop an autonomous mobile robot which can operate different hazardous environments, collect visual and digital data, transmit these data to the computer. These data are collected from 3 ultrasonic range finders, a digital compass, 1 encoder and an analog camera on the mobile robot. Data is transmitted with RF transmitter and received by RF receiver and processed by the computer. 3 ultrasonic range finders sense and measure the distance between objects and the mobile robot. Direction data is collected from the digital compass. Data are processed and objects are localized with the computer. The mobile robot can make its own decisions with respect to sensor data. The mobile robot is designed that either works autonomously or manually from the computer. In manual mode, the operator can give orders to the robot for observing the environment with the RF camera.

The mobile robot can be used in land-mine detection. Also new control algorithms can be adapted for future works.

1. GİRİŞ

1948 yılında Grey Walter tarafından tasarlanan Elmer ve Elsie isimli iki robotla başlayan otonom mobil robotların gelişimi, günümüzde hizmet sektöründen savunma sanayisine kadar birçok alanda yeni projelerin üretilmesi ile hız kesmeden devam etmektedir. Kendi başına ev süpüren temizlik robotu Roomba gibi ticari amaçla imal edilen robotlardan, NASA tarafından tasarlanmış ve Mars'ın keşif görevinde kullanılmış Sojourner isimli bilimsel araştırma amacıyla üretilen robotlara kadar çok geniş bir yelpazede karşımıza çıkan otonom mobil robotlar, kendilerine verilen görevleri, çevrelerinde olan biteni algılayarak ve elde ettikleri sonuçlara göre kararlar alarak, yerine getirmek üzere geliştirilmiştir. Otonom mobil robotları bu açıdan değerlendirdiğimiz zaman algılama, karar verme ve uygulama birimleri robotu oluşturan üç ana yapı olarak karşımıza çıkmaktadır. Bunların dışında çevresinden elde ettiği verileri başka birimler ile paylaşmasını sağlayacak haberleşme birimi de bu birimlere eklenebilir.

Algılama birimi robotun bir anlamda duyu organı olarak adlandırılabilir. Çevresinde meydana gelen olaylar hakkında bilgi sahibi olabilmesi, robotun doğru kararlar alabilmesi açısından oldukça önemlidir. Kullanılan algılayıcıların tipi, robotun yerine getireceği göreve göre, sayısı ise görevin karmaşıklığına göre değişmektedir. Bununla birlikte algılayıcıların seçiminde, robotun tasarım maliyeti de göz önünde bulundurulmalıdır. Işık algılayıcılar, manyetik algılayıcılar, akustik algılayıcılar, gaz fazı algılayıcıları, önemli bazı algılayıcı tiplerine örnek olarak verilebilir.

Karar verme birimi mobil robotun beynidir. Algılayıcılardan gelen verileri değerlendirme ve tasarlandığı şekilde tepki verme bu birim sayesinde gerçekleştirilir. Tasarımcı, seçtiği karar verme biriminin tipine göre uygun algoritmalar geliştirir ve robotun görevini tanımlar. Karar verme birimi, Microchip PIC ya da Atmel AVR gibi bir mikrodenetleyici olabilirken, robota eklenmiş bir bilgisayar da olabilmektedir.

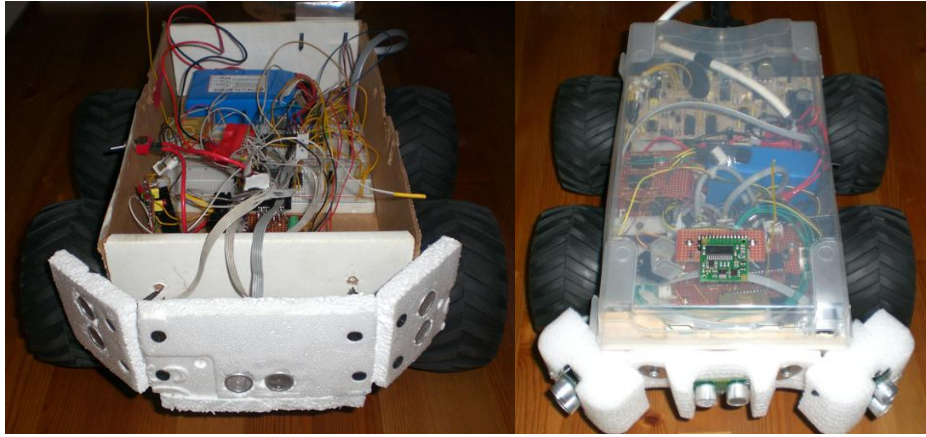
Uygulama birimi, robotun hangi görevi gerçekleştirmek için tasarlandığına göre değişiklik gösterir. Bomba imha mobil robotlarında bu birim, bir robot kol olabilir. Ya da savunma mobil robotlarındaki gibi bu bir silah olabilir. Bununla birlikte tüm mobil robotların ortak özelliği hareket etme yetenekleri olduğu için tekerlekli, paletli ya da ayaklı tüm robotlara hareket kabiliyeti kazandıran ana parça motorlarıdır. DC, servo ya da step motorlar, mobil robotlarda kullanılan başlıca motor tipleridir.

Tasarladığımız mobil robot, gözlem amaçlı olarak kullanılmak üzere otonom ve yarı otonom olarak geliştirilmiştir. Bu geliştirme esnasında şu aşamalar takip edilmiştir:

1. Mobil robotun gözlem amaçlı kullanılacağı göz önünde bulundurularak görev planlaması yapılmıştır.
2. Bu görevler doğrultusunda ihtiyaç duyacağı donanımsal ve yazılımsal gereksinimler belirlenmiştir.
3. İhtiyaç duyulan donanım ve yazılımlar temin edilmiştir.
4. Mobil robotun gerçekleştireceği görevler bölümlere ayrılarak algoritmaları hazırlanmıştır.
5. Bu algoritmaları karşılayacak yazılımlar mikrodenetleyiciye yüklenmiştir.
6. Deneyler ve simülasyonlar gerçekleştirilerek robotun testleri gerçekleştirilmiştir.

2. SİSTEMİN TANITIMI VE KULLANILAN TEKNOLOJİLER

Mobil robot birçok görevi yerine getirebilecek şekilde geliştirilmiştir. Üzerine robot kol eklenerek insanlar için zor ya da tehlikeli görevlerde kullanılabileceği gibi bazı özel algılayıcılar eklenerek bomba imha robotu olarak da kullanılabilir. Mobil robot, mayın tarama amaçlı kullanılabilecek şekilde geliştirilmiştir. Otonom ve yarı otonom olarak kullanılabilen mobil robot, tanımlanan bir bölgenin taranması ve mayınların yerlerinin tespit edilmesi amacıyla kullanılabileceği gibi birliklerin önünde giderek yolun güvenliğinin sağlanması için de kullanılabilir. Alanın mayın haritasının çıkarılması ve bilgisayara iletilmesi veya yolda güvenli bir geçiş koridorunun tespiti de geliştirilen mobil robotun rahatlıkla yerine getirebileceği görevlerdendir.



Şekil 2.1 : RoboUB prototip hali ve son hali

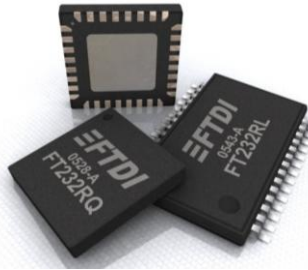
Mobil mayın robotu, bulunduğu bölgenin anlık durumunun operatöre gönderilebilmesini sağlayacak kablosuz bir kameraya sahiptir. Bunun dışında robota kameranın görüş alanı dışında kalan engel veya tehlikeleri algılayabilmesi için 3 adet ultrasonik algılayıcı eklenmiştir. Bunlar robotun önünde bulunan tampona yerleştirilmiştir. Algılayıcılardan biri robotun önüne, diğerleri ise 45 derecelik açıyla sağ ve sol tarafa yerleştirilmiştir.

Ön tarafında sensörler mevcut olduğundan dolayı arama bobini, robotun arka kısmına monte edilmiştir. Ayrıca robotun çıkış merkezine göre bulunduğu konumu belirlemeyebilmesi için dijital pusula robota ilave edilmiştir.

Robotun dört tekerleğinde aynı tip 4 adet motor bulunmaktadır. Mobil robot, 4x4 bir araç olarak tasarlanmıştır. Sağdaki ve soldaki motorlar, iki ayrı motor sürücü devre ile sürülmektedir. Motorlardan birinin arka miline enkoder takılmıştır. Bu enkoder sayesinde motorun devri bulunabilmektedir. Elde edilen devir bilgisi yazılan algoritmalar sayesinde mobil robotun hız ve konumunun elde edilmesinde kullanılmaktadır.

Mobil robotun karar verme birimi olarak PIC18F452 isimli mikrodenetleyici kullanılmıştır. Mikrodenetleyicinin yazılım tasarımı CCS C isimli C tabanlı program ile yapılmıştır. Mikrodenetleyicinin programlaması ise yine aynı firmaya ait olan ICD-U40 isimli programlayıcı cihaz ile yapılmıştır.

Haberleşme birimi olarak iki adet 433 Mhz RF modül kullanılmıştır. Bu modüller hem alıcı hem verici özelliğine sahiptir. Modüllerden biri mobil robota entegre edilmişken diğeri bilgisayarın USB portuna bağlanmıştır. Bilgisayara USB portundan bağlanan RF modül aslında RS232 haberleşme protokolü ile çalışmaktadır. Modülün üzerindeki FT232 entegresi sayesinde modülün USB portu seri porta dönüşmektedir. Bunun yanında bilgisayarın USB portu da gerekli yazılımlar yüklenerek sanal seri port şeklinde kullanılmaktadır.



Şekil 2.2: FT232

Robotun yarı otonom olarak bir operatör tarafından kullanılması, Visual Basic ile yazılan arayüz sayesinde gerçekleşmektedir. Bu arayüzde ayrıca robot üzerindeki kameradan gönderilen görüntüler ile robotun hız, devir, konum, yön, pil seviye bilgileri izlenebilmektedir.

Ara yüz ile mobil robotun iletişimi, RF modüller ile karşılıklı olarak yapılmaktadır. Robot, bilgisayara bulunduğu durum bilgilerini gönderirken bilgisayar da robota operatörün yönlendirme isteklerini göndermektedir.

2.1 Denetim ve Karar Verme Birimi

Mobil robotun denetim ve karar verme birimi mikrodenetleyicidir. Mikrodenetleyici bu şekliyle robotun beyni olarak adlandırılabilir.

Mikrodenetleyiciler, tek bir silikon yonga üzerinde birleştirilmiş; bir mikroişlemciyi, veri ve program belleklerini, sayısal giriş ve çıkışları (I/O), analog girişleri ve öteki çevre birimlerini (zamanlayıcılar, sayaçlar, kesiciler, analogdan sayısala çeviriciler), barındıran mikrobilgisayarlardır.

Projemizde kullanılan mikrodenetleyici Microchip firmasının ürettiği PIC18F452 isimli mikrodenetleyicidir.



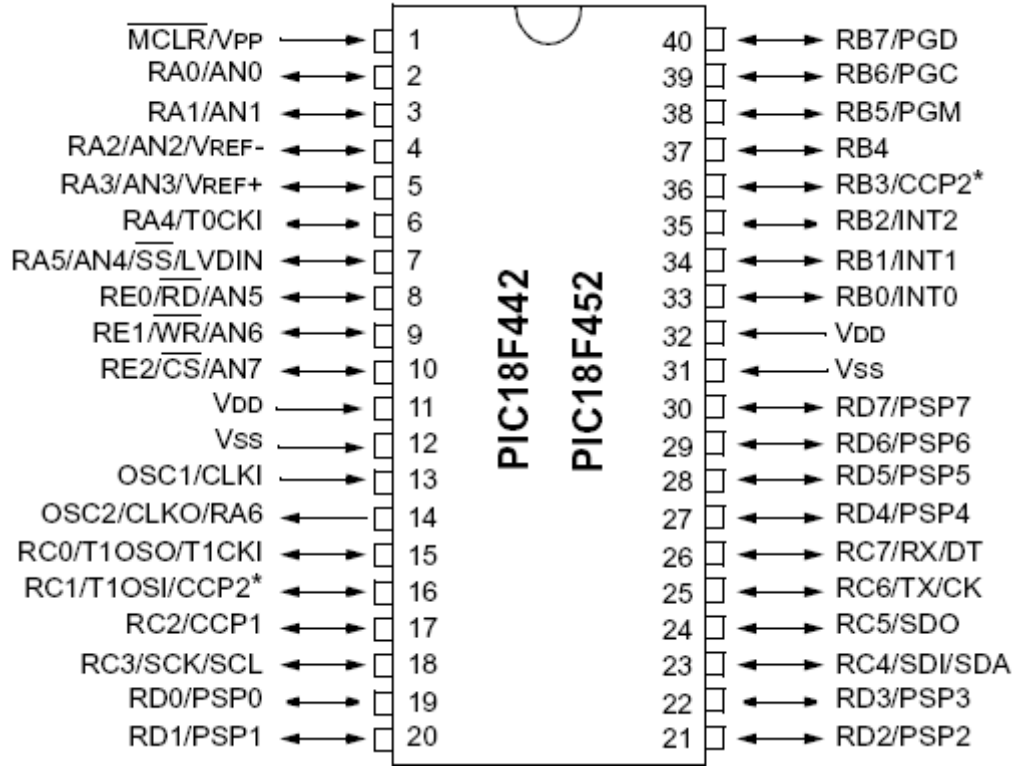
Şekil 2.3 : PIC18F452

PIC18F452 40 Mhz'e kadar çalışma hızına sahiptir. 40 adet bacağı vardır. Bunların 33 adedi giriş çıkış olarak ayarlanabilmektedir. Bacaklarından 3 tanesi dış kesme için programlanabilmektedir. Giriş çıkışların sekiz tanesi analog giriş olarak ayarlanabilmektedir. 32Kbyte flash hafızaya, 256 byte EEPROM belleğe sahiptir.

Bu mikrodenetleyicide 4 adet timer bulunmaktadır. Bu timer'lerden birisi 8 bit, iki tanesi 16 bitliktir. Sonuncusu ise 8 bit ya da 16 bit olarak ayarlanabilmektedir.

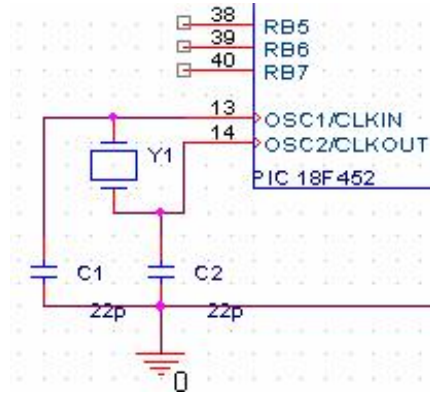
18F452 yüksek hızlı RISC işlemciye sahiptir. 75 adet komut mevcuttur. Ayrıca bu mikrodenetleyicide Watchdog Timer modu (WDT), enerji tasarrufu için uyku (SLEEP) modu ve programlanabilen kod koruma modu bulunmaktadır. 5V'luk kaynak ile çalışmaktadır ve düşük güç harcama özelliğine sahiptir.

PIC, hafızasındaki komutları işlemek için bir sinyale ihtiyaç duyar. Bu sinyale clock sinyali yani saat sinyali denir. PIC, bu saat sinyalini osilatör uçlarına bağlanan osilatör devresinden alır. PIC18F452'nin osilatör uçları 13 ve 14 bacaklarıdır.



Şekil 2.4 : 18F452 bacak diyagramı

Bu projede kristal osilatör olarak 10Mhz lik yüksek hızlı (HS) kristal osilatör kullanılmıştır. Kristal osilatöre bağlanan kondansatörler, 22pF olarak seçilmiştir.

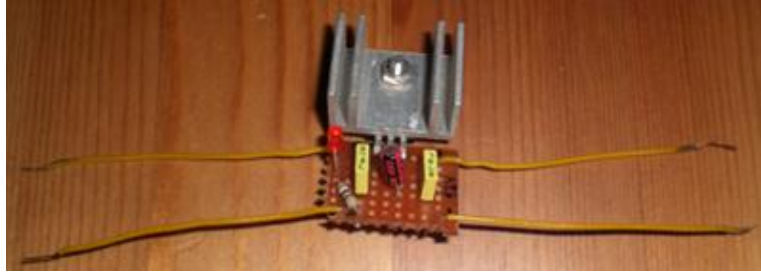


Şekil 2.5 : PIC ve kristal osilatör

2.2 7805 Voltaj Regülatörü

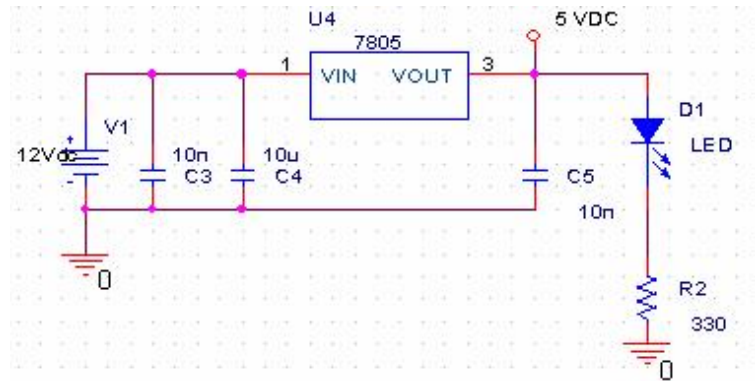
Devrede kullanılan mikrodenetleyici, RF modülü, ultrasonik algılayıcılar, ICD-U40 programlayıcısı, enkoder ve dijital pusula, çalışabilmek için 5V'a ihtiyaç duymaktadır.

Kullanılan LiPo pil 14,4V üretmektedir. 5V'luk değerin elde edilebilmesi için 7805 voltaj regülatörü ile kurulan devre kullanılmıştır.



Şekil 2.6 : 7805 prototip devresi

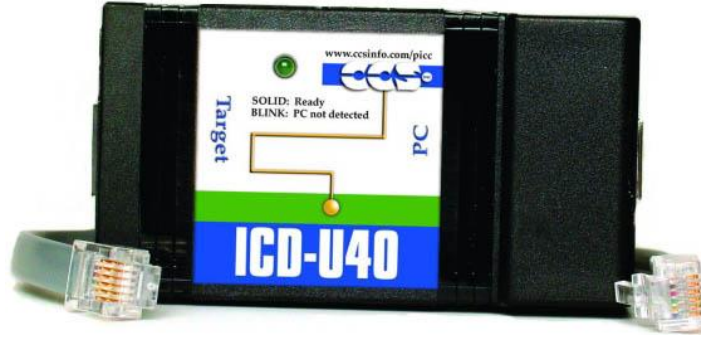
Bu devrede giriş tarafında kullanılan kondansatörler, eğer devre güç kaynağına uzaksa, bu uzaklığın meydana getirdiği bozucu etkileri gidermek için kullanılır. Çıkış tarafında kullanılan kondansatör ise kararlılığı arttırmak ve geçici hal cevabını düzenlemek için eklenir. Bu kondansatörlerin değerleri, tasarlanan devreye göre belirlenmiştir.



Şekil 2.7 : 7805 devre şeması

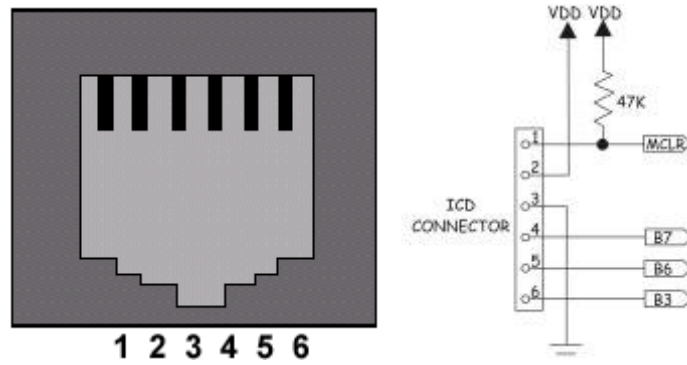
2.3 ICD-U40 Programlayıcısı

Bu programlayıcı CCS INC firması tarafından üretilmiştir. PIC entegrelerinin tüm modellerini programlayabilme ve debug edebilme özelliğine sahiptir. Yine aynı firma tarafından geliştirilen PIC-C derleyicisi ile beraber kullanılmaktadır. PIC-C derleyicisi C tabanlı bir derleyicidir. PIC assembly veya PIC Basic'e göre çok daha az kod satırı ile program geliştirilebilmektedir.



Şekil 2.8 ICD-U40

ICD-U40 bilgisayara USB ile, 18F452'ye ise RJ-12 konnektörü ile bağlanmaktadır. ICD ile PIC arasında 6 adet bağlantı vardır.

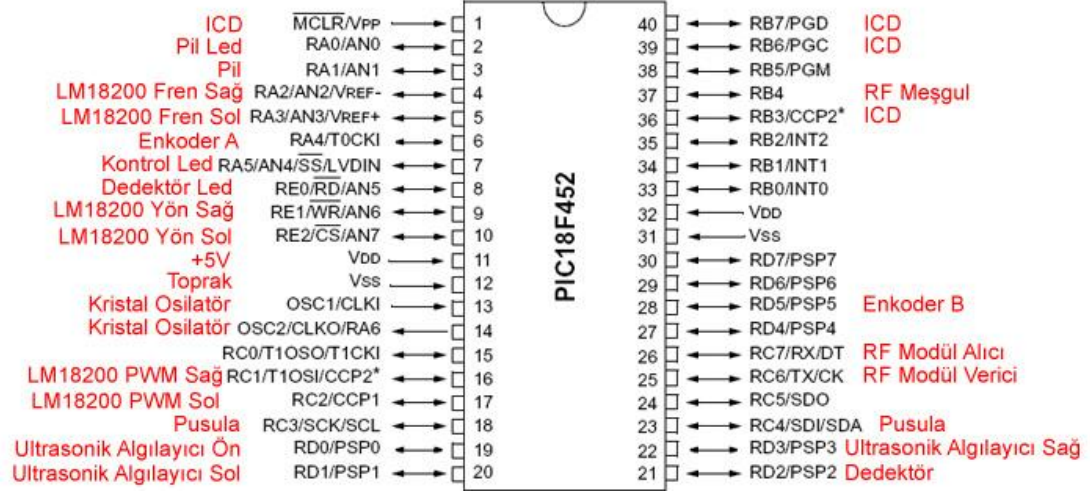


Şekil 2.9 : ICD soketi ve PIC bağlantı şeması

ICD'nin 1 numaralı girişi PIC'in MCLR girişine ve 47K direnç üzerinden 5V'a bağlanır. 2 numaralı girişi 5V'a, 3 numaralı girişi toprağa, 4,5 ve 6 numaralı girişleri ise sırasıyla PIC'in B7, B6 ve B3 bacaklarına bağlanır.

2.4 PIC18F452 Bacak Bağlantıları

Devre şeması şekil 2.10'da görülen kontrol kartı devresinin tasarımında, özellikle 18F452'nin bacak bağlantılarının olabildiğince verimli olarak kullanılmasına dikkat edilmiştir. Mesela Ultrasonik algılayıcıda tetikleme ve dinleme aynı çıkış üzerinden yapılmış ve böylece 18F452'nin tek bacağına bağlanmıştır. Böylece, 3 algılayıcı olduğu için, PIC'in 3 bacağından tasarruf edilmiştir.



Şekil 2.10 : 18F452 bacak bağlantıları

Şekil 2.10’da görüldüğü gibi bazı bağlantılar bacaklara rastgele bağlanmışken enkoder A, PWM, RF modül alıcı ve verici bağlantıları, PIC’in bazı özelliklerini kullanabilmek için uygun olan bacaklara bağlanmıştır.

2.5 LiPo Pil ve Özellikleri

Sistemin tasarımında, daha önceki tasarımlardan esinlenilerek 12V 7.2A lik kuru akü kullanılmıştır. Bu akünün ağırlığı 2,65 kg’dır. Bu ağırlık robotun, özellikle dönüş esnasındaki performansını olumsuz yönde etkilediği için başka seçenekler araştırılmaya başlanmıştır. Bu arayış esnasında göz önünde bulundurulan kıstaslar, kullanılacak pilin; robotun dönüşü esnasında ihtiyaç duyacağı yüksek akımı karşılayabilmesi, hafif olması ve uzun süre şarj edilmeye ihtiyaç duyulmadan robotun ihtiyaçlarına cevap verebilmesidir.

Tasarlanan 4 çeker mobil robotun ön tekerlekleri sabittir. Bu nedenle bu tekerlekler kullanılarak yön verme ve dönme gerçekleştirilememektedir. Bunun yerine kayma yönlendirmesi (Skid Steering) denen bir yöntem ile dönme gerçekleştirilmektedir. Bu yöntemde dönülecek yöndeki tekerlek çifti geriye doğru çalışırken diğer taraftaki tekerlekler öne doğru çalışmaktadır. Bir anlamda robot, paletli araç gibi hareket etmektedir. Bu sayede robot, nokta dönüş yapabilmektedir. Ama bu yöntemde tekerleklerde oluşan sürtünme kuvveti oldukça fazladır ve bu sürtünme kuvvetini yenmek için motorlar normalden daha fazla akım çekmektedir. Motorlardaki bu akım motor başına maksimum 3 A olmaktadır.

Dönme için ihtiyaç duyulan akım, tekerleklerde oluşan sürtünme kuvvetine, bu kuvvet de robotun hareket ettiği zemine bağlıdır. Robot, halı gibi yüzeylerdeki dönme manevralarında oldukça fazla akım çekmektedir. İşte bu sebepten dolayı kuru akü kullanmak, robota fazladan ağırlık yükleyeceği için tercih edilmemiştir.

Araştırmalarımız sonucunda ihtiyaçlarımıza en uygun pil LiPo olarak belirlenmiştir.

Lityum polimer (LiPo) piller, sıradan pillere (NiCd ve NiMh) göre çok daha fazla deşarj kapasitesi, enerji barındırma ve daha az ağırlık özelliklerine sahip yeni nesil pil türüdür. Aynı kapasitedeki NiMh pillere göre daha fazla kullanım süresine sahiptir. İçerisinde katı anotlar gibi parçalar bulunmadığından istenilen şekilde ve ölçüde üretilebilir.

İlk olarak ağırlık avantajlarından dolayı, uçak ve helikopter gibi R/C türlerinde kullanılmaya başlanmıştır. Daha sonra kara araçlarında Brushless (fırçasız) motorların kullanılmaya başlamasından sonra LiPo piller, daha fazla gündeme gelmiş ve daha geniş kullanıcı kitlesi kazanmıştır.

LiPo piller, cep telefonlarında kullanılan pillerle büyük ölçüde benzerlik gösterir. LiPo pillerin 1 hücresinin nominal voltajı 3,7 voltur. Fakat şarjlı hali maksimum 4,2 V ve boş hali minimum 3 V olmalıdır. Kendi kendine deşarj oranları düşüktür. LiPo piller, NiMh piller gibi dururken boşalmaz. Bu da çok uzun aralıklar hariç, her kullanımdan önce şarj etme sorunun önüne geçer. Aynı kapasitedeki sıradan pillere göre daha hafif ve daha uzun ömürlüdür.

Genellikle 2s1p, 3s1p, 4s1p ve 6s1p gibi seri bağlanmış paketler halinde; sırasıyla $2 \times 3,7 = 7,4V$; $3 \times 3,7 = 11,1V$; $4 \times 3,7 = 14,8V$; $6 \times 3,7 = 22,2V$ olarak satılır.

Projede kullanılan LiPo pili, THY Model Uçak Kurumu'ndan alınmıştır. Seçilen pilin özellikleri; 14,8 V 25C ve 3400 mAh'dir. 14,8 V seçilmesinin sebebi, LMD18200 motor sürücü entegresinin minimum çalışma geriliminin 12 V olmasıdır.



Şekil 2.11 : LiPo pil

2.5.1 LiPo pilin anlık ve sürekli akımları

LiPo pil seçiminde göz önünde bulundurulan diğer bir unsur da C değeridir. C değeri pilin deşarj katsayısıdır. Bu katsayı sayesinde pilin ne kadar akım verebileceğı ve maksimum akım değeri bulunabilmektedir. Akım değeri, pilin kapasitesi (mAh) x C değeri / 1000 şeklinde bulunabilir. Bu durumda, kullanılan pil sürekli maksimum 100 A akım verebilmektedir. Bu akımı verebileceğı süre ise 1 / C saattir.

Kullanılan pil için bu süre 1 / 25 saat; yani 2,4 dakikadır. Sonuç olarak seçtiğimiz pil 2,4 dakika boyunca 100 A sürekli akım verebilmektedir.

Robotun motorlarının 0,78 kg.cm yük için çektiğı ortalama akım motor başına 300 mA'dır. 4 motorun da aynı akımı çektiğı kabul edilirse toplam 1,2 A'lık akım değeri elde edilir. Bu durumda robot, 3 saat boyunca şarja ihtiyaç duymadan rahatlıkla hareket edebilecektir. Bu değer de mobil robot için gayet tatminkâr bir değerdir.

2.5.2 LiPo pilin avantaj ve dezavantajları

Avantajları olarak kabul edilen özellikleri; hafiflikleri, uzun süre üzerinde gücü tutabilmeleri, yüksek deşarj kapasiteleri ve normal pillere göre daha uzun süre kullanılabilmesidir. Dezavantajları ise kullanımı ve şarj edilmesi sırasında çok dikkat istemesidir. Ayrıca diğer pillere göre çok daha pahalıdır. Özel şarj aletleri ile şarj edilmelidir. Şarj ederken mutlaka dengeleyiciye sahip bir şarj aletiyle, pilin dengeleyici soketinden ve her hücreyi ayrı olarak şarj etmeye dikkat etmek gerekmektedir.



Şekil 2.12 : LiPo şarj cihazı

Özel LiPo şarj aletleri sürekli olarak her hücrenin voltajını kontrol ederek pilin her hücresinin eşit voltajda şarj edilmesini sağlar.

Şarj ederken her hücrenin 4,2 V'u geçmemesi gerekir, deşarj sırasında ise minimum 3 V olması gerekir. Pilin voltaj değerin 3 V'un altına düşmesini engellemek için sürekli olarak pilin voltaj değeri ölçülmüş ve bunu PIC'e bildiren bir devre tasarlanmıştır.

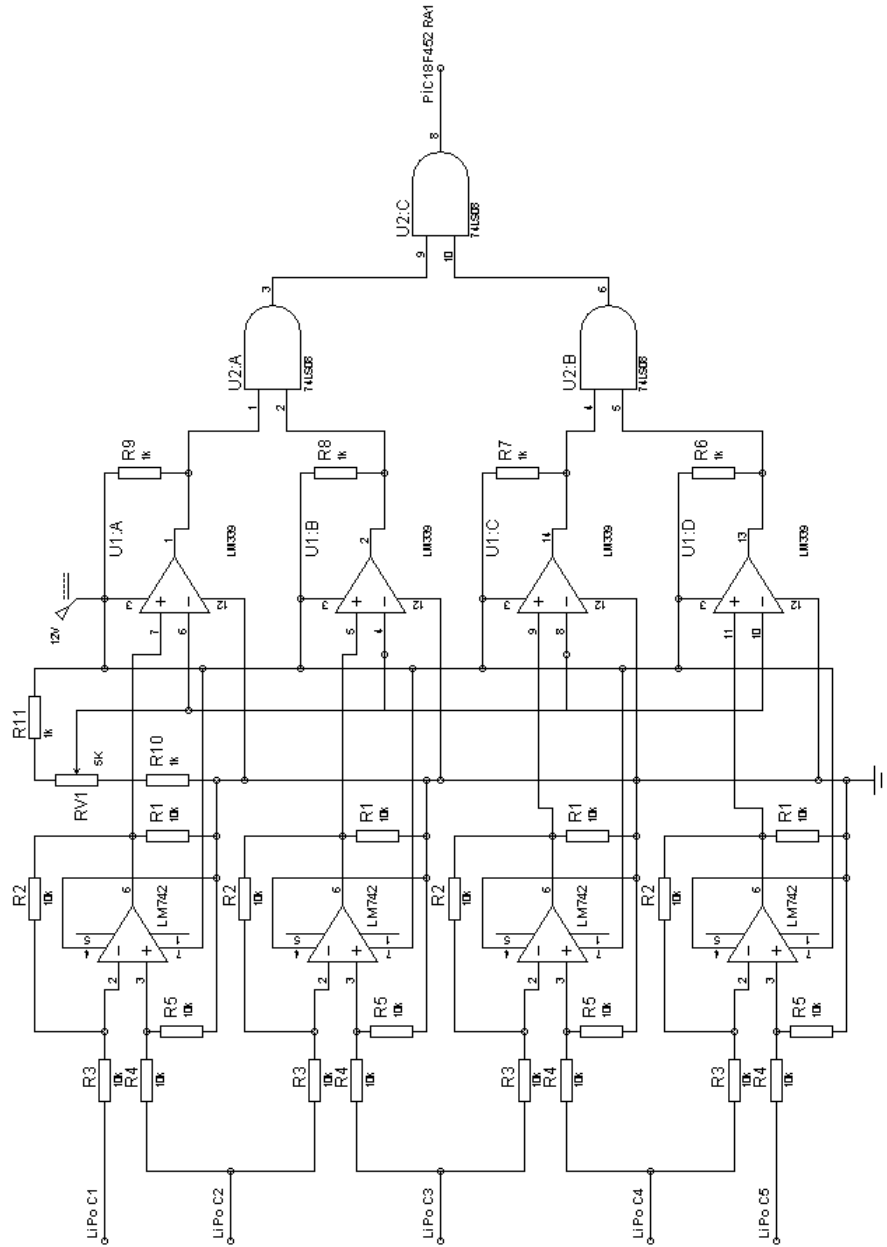
2.6 Pil Voltaj Durum Devresi

LiPo pillerinin pahalı olması, kullanımı esnasında özen gösterilmesini gerektirmektedir. Özellikle pilin deşarj seviyesinin hücre başına 3 V'un altına düşmemesine dikkat edilmelidir. Bu durumun kontrolü için bir devre tasarlanmıştır. Bu devrede LM339 voltaj karşılaştırma entegresi kullanılmıştır. Pilin her bir hücresi ayrı ayrı kontrol edilmiştir. Bu hücrelerden biri bile 3 V'un altına düştüğünde pil kullanılmayacak duruma gelebilmektedir. Bu nedenle pilin tüm voltajı yerine, ayrı ayrı hücrelerin voltajları kontrol edilmektedir.

LM339 voltaj karşılaştırma entegresinden önce, pil LM742 işlemsel yükselteç entegresine bağlanmıştır. Bu devrede LM742, fark yükseltici olarak kullanılmıştır. LM742 entegresi, pilin hücreleri arasındaki farkı elde ederek bunu karşılaştırma için LM339 entegresine göndermektedir. LM339 entegresine gelen voltaj değerleri; 3,2 V'luk referans voltaj değeri ile karşılaştırılmaktadır. Bu referans değeri 5 K'luk trimpot kullanılarak ayarlanabilmektedir. Referans voltaj değeri, 3 V yerine 3,2 V seçilmiştir. Bunun sebebi pil 3 V'un altına düşmeden robotun geri dönebilmesini sağlamaktır. LM339 entegresi, pil hücrelerinin 3,2 V'un altına düşmeleri halinde çıkışından 0 V vermektedir. Pil hücreleri 3,2 V'un üzerinde ise entegre çıkışı + 5 V olmaktadır.

LM339 entegresinin çıkışındaki dört pil hücresine ait karşılaştırma değerleri, 74LS08 entegresine girerek VE işlemine tabi tutulmaktadır. Böylece pilin dört ayrı hücresi için PIC mikrodenetleyiciye dört giriş sinyali uygulamak yerine bir giriş sinyali uygulanmıştır.

Dört hücrenin değerleri VE işlemine tabi tutulur. Hücrelerden biri 3,2 V'un altına düştüğünde LM339 entegresinin o hücre çıkışı 0 V olur. Bu durumda 74LS08 entegresinin çıkışı da 0 V olur ve bu değer PIC entegresine giriş olarak uygulanır.



Şekil 2.13 : Pil voltaj durum devresi

2.7 RF Haberleşme Modülleri

Mobil robotun ve operatörün kullandığı bilgisayar arasındaki iletişim bu modüller sayesinde sağlanmaktadır. Robottan bilgisayara, robotun hareket esnasında çevresinden elde ettiği veriler ve robotun durumu hakkındaki veriler; bilgisayardan robota ise operatörün robotu kontrol etmesi için gereken veriler gönderilmektedir. RF haberleşme için robota takılan modül LPRS firmasının ürettiği Easy Radio ER400TRS'tir. Bilgisayara bağlanan ise Devantech RF04 - 400 USB radyo telemetri modülüdür.

Bu modül USB'den bağlandığı halde üzerindeki FT232 entegresi sayesinde seri porttan bağlanmış gibi kullanılmaktadır. Ayrıca bilgisayarın USB portu, sanal seri port yazılımı sayesinde, seri port gibi kullanılmaktadır.

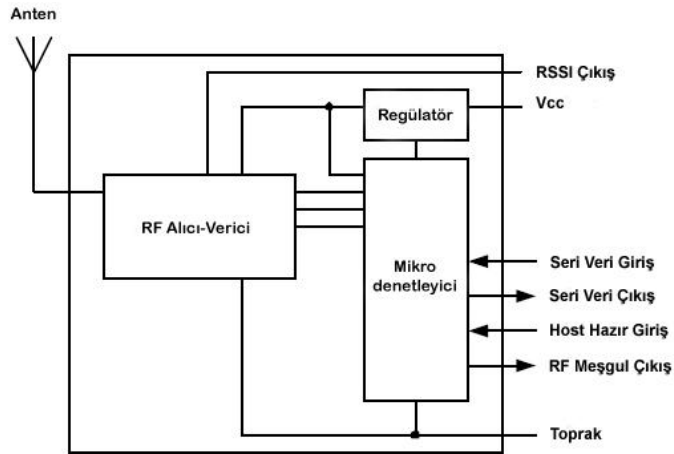
2.7.1 ER400TRS alıcı verici modülü

Bu RF alıcı verici modülü 250 metreye kadar seri veri iletebilmektedir. Alıcı verici olarak tasarlanmış modül, 433 Mhz frekans bandında ve 3,3 V ile 5,5 V arasında düşük güç ile çalışmaktadır.



Şekil 2.14 : ER400TRS

Modülün iç yapısı, yüksek performanslı düşük güç ile çalışabilen RF alıcı-verici, programlanabilir flash bellekli mikrodenetleyici ve bir voltaj regülatöründen oluşmaktadır.

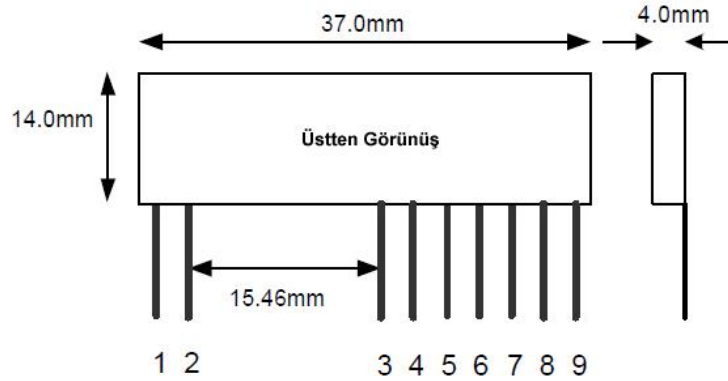


Şekil 2.15 : ER400TRS iç yapısı

Seri veri giriş ve çıkış baud hızı programlanabilmektedir. Baud hızı standart olarak 19200'dür. Alıcı-verici modülünde baud hızı, 19200 olarak seçilmiştir.

Alıcı verici modülümüz 128 byte'a kadar veri gönderme ve alma olanağına sahiptir. Bu değerin üzerindeki değerlerde veri kaybı olmaktadır. RF alıcı-vericilerde kullanılan anten boyu 16,7 cm'dir. Anten boyu frekansla ters orantılı olduğundan frekans arttıkça anten boyu da kısalmaktadır.

Anten üzerinden gönderilen radyo frekansının gücü maksimum 10 mW'tır. 10 mW güçte açık alanda ortalama veri iletim mesafesi 250 m'dir.



Şekil 2.16 : ER400TRS bacak bağlantıları

Çizelge 2.1'de alıcı-verici modülünün bacak bağlantıları PIC'in uygun olan bacaklarına bağlanmıştır.

Çizelge 2.1 : ER400TRS bacak açıklamaları

Bacak No	Adı	Açıklama
1	Anten	16,7 cm'lik anten bağlanacak.
2	RF Toprak	0 V'a bağlanacak.
3	RSSI	Alınan sinyal güç göstergesi
4	Meşgul Çıkış	Modülün PIC'ten seri veri almaya hazır olup olmadığını gösteren dijital çıkış. 1 ise meşguldür.
5	Veri Çıkış	Alınan veri dijital çıkış
6	Veri Giriş	Gönderilecek veri dijital giriş
7	Host Hazır Giriş	PIC'in modülden seri veri almaya hazır olup olmadığını belirten giriş. 1 ise meşguldür.
8	Vcc	+5 V
9	Toprak	0 V'a bağlanacak.

4 numaralı bacağın aktif olması, alıcı-vericinin o an için PIC'ten gelecek ve gönderilmesi gereken seri veriyi alamayacağını belirtir. Bu bacağı kontrol ederek veri kaybının önüne geçilmelidir. Aktif olduğu durumda PIC'ten alıcı-vericiye veri gönderilmesi, yazılan algoritma ile engellenmelidir.

PIC'in, alıcı-vericinin ön belleğinde tutulan veriyi almaya hazır olmadığını belirtmek için alıcı-vericinin 7 numaralı bacağı aktif tutulur. Bu sırada modül PIC'e veri göndermez.

Dikkat edilmesi gereken diğer bir husus ise alıcı-vericinin RS232'ye direkt bağlanmamasıdır. Çünkü RS232 +/-12 V ile çalışır ve bu voltaj, alıcı-vericiye kalıcı olarak zarar verir. Eğer böyle bir bağlanma ihtiyacı varsa MAX232 entegresi kullanılmalıdır.

Alıcı-verici, ön belleğinde 128 byte veri tutabilmektedir. Bu değer üzerinde veri alışverişi yapılmamasına dikkat edilmelidir. Paketteki 1 byte'lık, yani 8 bit'lik veri, bir başlangıç biti bir de bitiş biti eklenerek toplam 10 bit olarak gönderilmektedir. 19200 baud hızında bir karakterin, yani 8 bit'in gönderilmesi 0,52 mS sürmektedir. Her paketin başına 5 mS başlangıç eklenmektedir.

Çizelge 2.2 : Bir veri paketinin havada geçirdiği süre

Başlangıç	'Sync' Byte1	'Sync' Byte2	Byte Sayma	Veri Byte'ları 1'den n'ye (maks = 128)	CRC Byte
5mS	800uS	800uS	800uS	n x 800uS	800uS

Bu durumda 32 byte'lık bir verinin iletim esnasında havada geçirdiği toplam süre $5mS + (4 \times 800uS) + (32 \times 800uS) = 33.8mS$ şeklinde olmaktadır. Çizelge 2.3'te ise 19200 baud hızında 32 byte'lık verinin PIC'ten bilgisayara gönderilmesi esnasında geçen toplam süre görülmektedir.

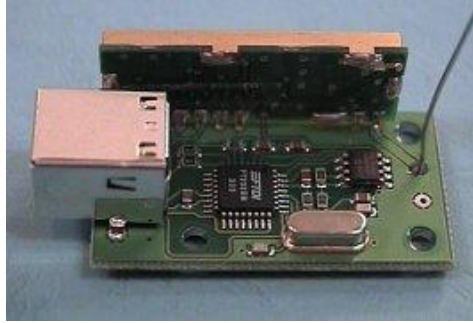
Çizelge 2.3 : Bir veri paketinin PIC'den bilgisayara toplam iletim süresi

İşlem	Zaman	Toplam(mS)	Not
PIC'den Tx'e	32 x 0,52 mS	16,64	Ön Belleğin doldurulması
Data Sonu gecikmesi	2 x 0,52 mS	1,04	Maksimum
Havada geçen zaman	33,8 mS	33	
Rx'ten Bilgisayara	32 x 0,52 mS	16,64	Ön belleğin boşaltılması
Data Sonu Gecikmesi	2 x 0,52 mS	1,04	Maksimum
	Toplam	69,16 mS	

Data sonu gecikmesi iki karakter zamanı olarak belirlenmiştir. Çizelge 2.3'teki Tx, robotun üzerinde bulunan ER400TRS'nin 6 numaralı veri giriş bacağıdır. Rx ise Devantech RF04 - 400 USB radyo telemetri modülünün veri çıkış bacağıdır.

2.7.2 Devantech RF04 - 400 USB radyo telemetri modülü

Gücünü USB'den alan bu radyo telemetri modülünün üzerinde ER400TRS bulunmaktadır. Bu telemetri modülünün avantajı, USB'den kolaylıkla bilgisayara bağlanabilmesi ve herhangi bir ekstra elemana ihtiyaç duymayan hazır bir modül olmasıdır. Üzerinde bulunan ER400TRS'den dolayı daha önce belirtilen tüm özellikler bu telemetri modülü için de geçerlidir.



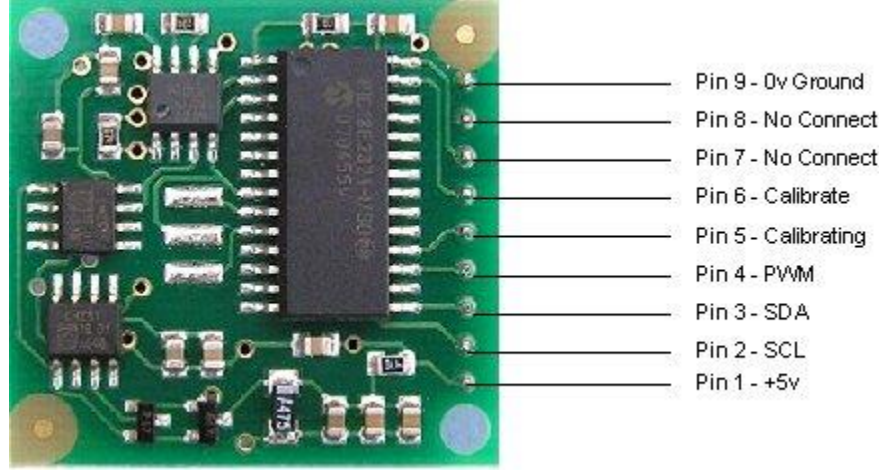
Şekil 2.17 : RF04 radyo telemetri modülü

Radyo telemetri modül ve modülün bağlandığı bilgisayar, USB üzerinden iletişim kurduğu halde seri port üzerinden iletişim kuruyormuş gibi davranmaktadır. Modül, bunu üzerindeki FT232 entegresinin yardımıyla sağlarken, bilgisayar ise üzerine kurulan sanal seri port yazılımı ile sağlamaktadır. Modül, bilgisayara bağlandıktan ve sanal seri port yazılımını kurulduktan sonra Windows'un Aygıt Yöneticisi'nden hangi portun modül için atandığına bakılabilir. Daha sonra bu bilgi, MATLAB ve Visual Basic 6.0 ile tasarlanan ara yüzlerin robot ile iletişim kurmasını sağlamak için kullanılacaktır.

2.8 Dijital Pusula

Robotta dijital pusula olarak Devantech Manyetik Pusula Modülü CMPS03 kullanılmıştır. Bu modül, egemen olan manyetik akının yatay bileşeninin yönünü vermektedir. Eğer çevrede baskın herhangi bir manyetik eleman yoksa bu yön dünyanın manyetik akısından dolayı kuzey yön olacaktır. Fakat bunun için pusulanın 6. bacağı üzerinden kalibrasyonunun yapılması gerekmektedir.

Pusula PWM veya I2C üzerinden veri iletebilmektedir. PWM, motor kontrolünde kullanıldığı için pusulanın ölçüm sonuçları I2C üzerinden alınmıştır.



Şekil 2.18 : Devantech CMPS03 dijital pusula

Pusulanın PWM üzerinden veri aralığı 0-255, I2C üzerinden ise 0-3599'dur. Bundan dolayı I2C protokolü kullanıldığında pusulanın çözünürlüğü 0,1 derece olacaktır.

Pusulanın 3-4 derecelik hata payı vardır.

Pusula sayesinde robotun doğrultusu ve dönüş yaptığı zaman, kaç derecelik dönüş yaptığı tespit edilebilmektedir. Bu bilgi kullanılarak parakete hesabı (dead reckoning) yapılmıştır. Parakete hesabı, bilinen bir başlangıç noktasından sonra alınan yol ve aracın rota açısı kullanılarak yapılan hesaplama ile aracın o anki konumunu belirlemenin bir yoludur.

2.9 Analog Kamera Sistemi

Robotun bulunduğu ortamdaki görsel bilgiyi operatöre gönderebilmesi için RF kablosuz analog kamera sistemi robota monte edilmiştir. Robot üzerindeki kamera 9 voltluk gerilim ile çalışmaktadır. Görüntü formatı PAL ya da NTSC olabilmektedir. Kamera 2,4 Ghz'lik frekans ile görüntüyü göndermektedir. Yalnız, kameranın çalışma mesafesi sadece 100 metredir. Robot, bu mesefeden daha uzağa gittiği takdirde iletilen görüntüde donmalar ve kesilmeler olmaktadır. Operatör bu kameradan gelen görüntüyü VB 6.0 ile tasarlanan arayüz vasıtasıyla izlemektedir. Bu sayede robotun konumu hakkında bilgi sahibi olabilmekte ve verilen görevi yerine getirebilmek için robotu uzaktan kontrol edebilmektedir.



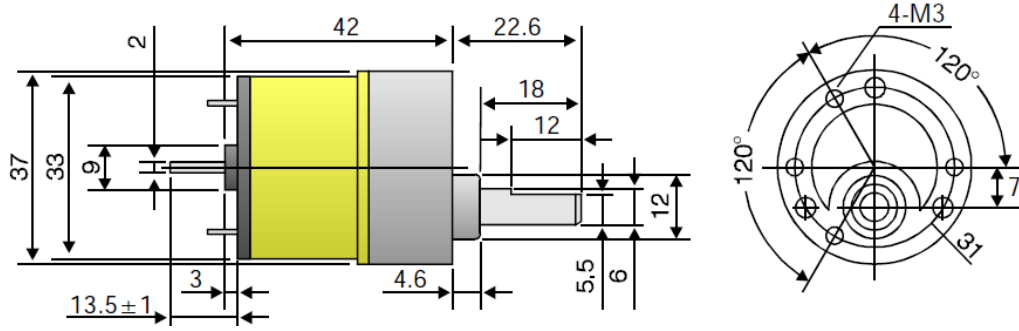
Şekil 2.19 : RF kamera ve alıcı sistem

2.10 DC Motorlar

Robotun hareket edebilmesi için 4 adet Lynxmotion GHM-16 12 V dc motor kullanılmıştır. Her bir motor kendi dişli kutusuna sahip olup oranı 30:1'dir. Motor yüksüz 200 rpm hıza kadar çıkabilmektedir. Yüklü halde bu değer 163 rpm olmaktadır. 0,78 kg-cm torka sahip olan motor 154 gramdır. Ayrıca motorlar, üzerlerine enkoder takılabilmesi için arka şafta sahiptir. Bu motor modelinin tercih edilmesindeki en önemli etkenlerden biri de bu olmuştur.



Şekil 2.20 : Lynxmotion GHM-16



Şekil 2.21 : Lynxmotion GHM-16 ölçüleri

Kullandığımız motor 6 V ila 12 V arasında çalışmaktadır. Bu voltaj aralığı sayesinde motorun hızı kontrol edebilmektedir. Herhangi bir zarar görmemesi için motor, maximum güç ile çalıştırılmamıştır. Motor, aniden dönüş yönünün değiştirmesi durumunda zarar görebilmektedir. Ani dönüşler için tasarlanmamıştır. Bu yüzden dönüş yönünü değiştirmeden önce durdurulmalıdır. Yazılan algoritma sayesinde bu sağlanmıştır. Ayrıca motor su veya toz için korumaya sahip değildir. Eğer motor, zor koşullar altında çalıştırılacaksa mutlaka bu yalıtımların yapılması gerekmektedir.

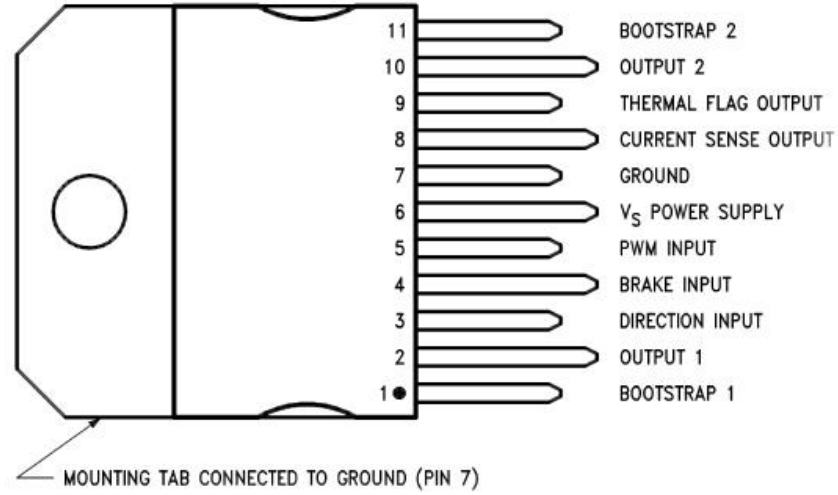
2.11 DC Motor Sürücü Tasarımı

Robotun kayma yönlendirmesi (skid steering) yöntemi ile noktasal dönüş yapması, dönüş yönüne göre sağ ya da sol motor çiftinin farklı yönlerde hareket ettirilmesi ile gerçekleşeceği için sağ ve sol motor çiftinin kontrolü, iki ayrı motor sürücüsü ile sağlanmıştır. Böylece hem maliyet açısından hem de yapılacak kontrolün basitleştirilmesi açısından önemli avantajlar elde edilmiştir. İlk olarak L298 motor sürücü entegresi ile denemeler yapılmıştır. Ancak motor hız kontrolünde çok sağlıklı sonuçlar alınamadığı için LMD18200 entegresi tercih edilmiştir. Bu entegrenin üzerindeki PWM girişi sayesinde hız kontrolü kolaylıkla yapılabilmiştir.



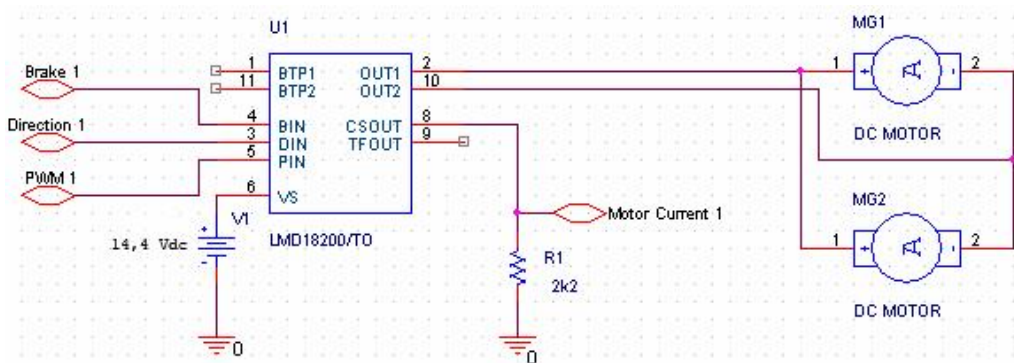
Şekil 2.22 : LMD18200

LMD18200 12 V ile 55 V arasında çalışabilmektedir. 3 Ampere kadar sürekli akım sağlayabilmektedir. Anlık 6 Amperlik (200ms) akıma dayanabilecek şekilde geliştirilmiştir. Entegre yapı olarak H-köprüsü olarak tasarlanmıştır.



Şekil 2.23 : LMD18200 bacak bağlantıları

Entegrenin Lojik girişlerine +5 V ve güç girişine ise +14,8 V uygulanmıştır. Motor, maksimum 12 V ile çalıştığı için LMD18200 ile hiçbir zaman tam kapasite ile sürülmemiştir. Sürücü entegresinin V_S ve toprak bacaklarının arasına 300 uF'lık geçici yük dekuplaj kondansatörü koyulmuştur. Bunun sebebi robotun dönüşlerde ihtiyaç duyduğu anlık akım ihtiyacının karşılanabilmesidir. PWM, fren ve hız girişleri PIC'e bağlanmıştır. Böylece yazılan algoritma ile PIC'in, motorun hızını ve yönünü kontrol etmesi sağlanmıştır. Enkodere sahip olduğundan motorun hızının bulunabilmesi için entegrenin akım çıkışı kullanılmamıştır.



Şekil 2.24 : LMD18200 ile motor sürücü devre tasarımı

Fren bacağına lojik 1 uygulandığında sürücü, motorları durdurmaktadır. Yön bacağına lojik 1 veya 0 uygulanarak motorun dönüş yönü belirlenebilir.

Eğer hız kontrolü yapılmak istenmiyorsa PWM bacağına lojik 1 verilmemesi gerekmektedir. Fakat hız kontrolü yapılacağı için bu giriş, PIC'in CCP girişine bağlanmıştır. Devrenin kurulumu esnasında motora giden bağlantılar kalın tasarlanmıştır. Böylece motorun ihtiyaç duyacağı yüksek akımı alabilmesi sağlanmıştır.

2.12 Enkoder

Robotun hız ve konum ölçümlerinin yapılması için Easy Roller marka 300 CPR Quadrature Motor Enkoder kullanılmıştır. Seçilen enkoder 2 kanallıdır. Bu sayede motorda meydana gelen yön değişimi de enkoder sayesinde bilinebilecektir. Enkoder üzerinde A ve B şeklinde isimlendirilmiş 2 kanal dışında, + 5 V ve toprak içinde iki giriş vardır.



Şekil 2.25 : Enkoder üstten görünüş

Çözünürlüğü 300 CPR'dir (Cycles Per Revolution). Yani 1 devirlik dönüş 300 adıma bölünmüştür. Bu değer; motorun değil, enkoderin çözünürlüğüdür. Motor şaftının çözünürlüğünü bulabilmek için (2.1) kullanılmaktadır.

$$\text{Şaft Çözünürlüğü} = \text{Dişli Oranı} \times \text{CPR} \quad (2.1)$$

Motorun dişli oranı 30'dur. Bu durumda şaft çözünürlüğü 9000 olur. Bu değer, PIC'te enkoder için algoritma yazarken kullanılmıştır.



Şekil 2.26: Motor ve enkoder

Enkoderin motora montajında özellikle dikkat edilmesi gereken nokta, enkoderin motorun arka şaftına tam olarak ortalanmasıdır. Bunun için enkoder ile beraber gelen montaj parçaları kullanılmıştır. Özel dikkat isteyen bu işlem gerçekleştirilirken hata yapılırsa enkoder ile doğru ölçüm yapılamayabilir.

Enkoderimizin voltaj çalışma aralığı 4,5 V - 5,5 V'tur. Bu nedenle enkoderin ihtiyaç duyduğu voltaj, 7805 voltaj regülatörü ile kurulan devre vasıtasıyla sağlanmıştır.

2.13 Ultrasonik Algılayıcılar

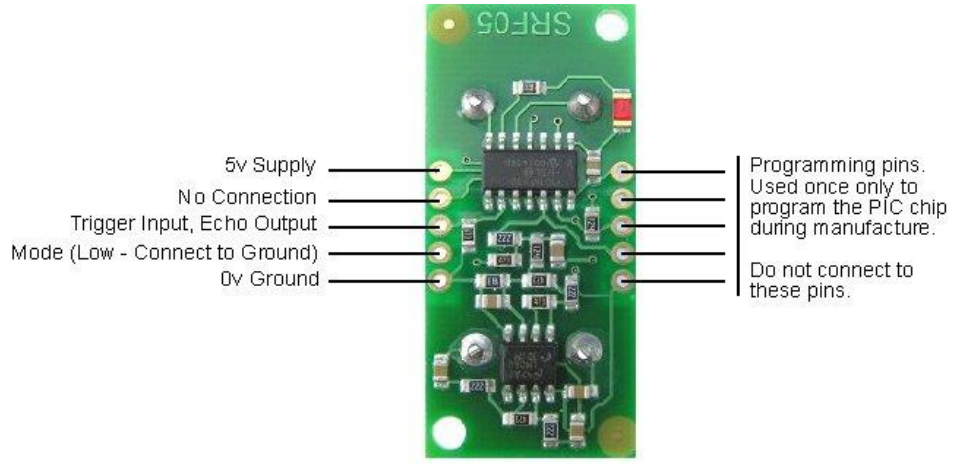
Otonom olarak da hareket edebilen robot tasarımının en önemli parçası ultrasonik algılayıcılardır. Bu algılayıcılar sayesinde mobil robot, bulunduğu ortam hakkında bilgileri derlemekte ve bu bilgiler sonucunda rotasını tayin etmektedir. Robotta kullanmak için Devantech firmasının SRF05 modeli seçilmiştir. 3 adet SRF05; biri öne, diğer ikisi 45 derecelik açı ile yanlara olmak üzere yerleştirilmiştir. Böylece robot 180 derecelik bir görüş açısı kazanmıştır.



Şekil 2.27 : Devantech SRF05 ultrasonik algılayıcı

4mA gibi düşük bir akım ile çalışabilen bu algılayıcının besleme voltajı da 5 V'tur. Minimum 1cm'den maksimum 4 m'ye kadar menzile sahiptir. 40 Khz frekansta çalışan algılayıcı, 2 farklı tetikleme/yankı modunda çalışabilmektedir. Bunlardan biri tetikleme ve dinleme işleminin ayrı ayrı bacaklardan gerçekleştirilmesidir. Diğer ise tetikleme ve dinleme işleminin aynı bacak üzerinden yapılmasıdır. PIC mikrodenetleyicisinin giriş ve çıkışlarının verimli kullanılabilmesi için tetikleme ve dinleme işlemi aynı hat üzerinden yapılmıştır.

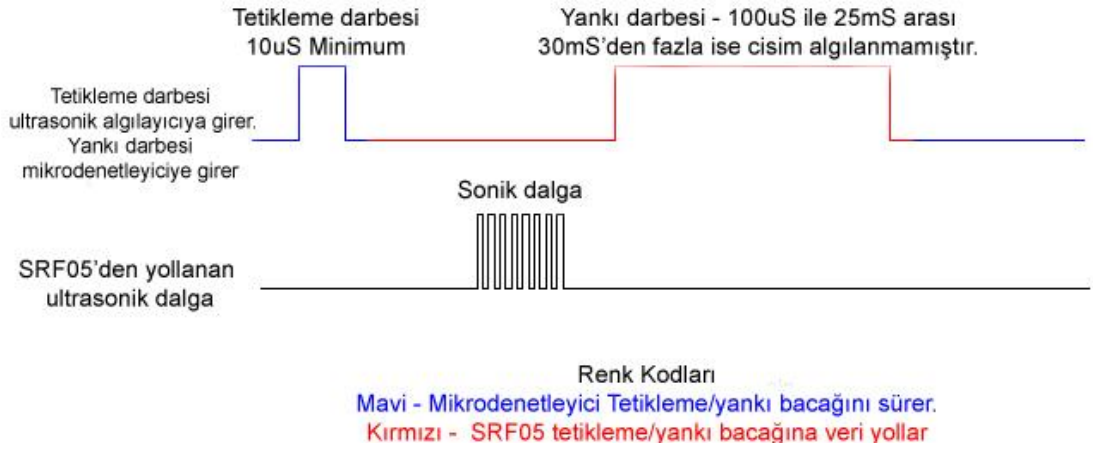
Şekil 2.26'da görüldüğü gibi algılayıcının 1. bacağı +5V, 5. bacağı ise toprak bağlantısıdır. 2. bacağı, bu modda kullanıldığı zaman bağlantı yapılmamaktadır. 3. bacak tetikleme/yankı bacağıdır.



Connections for single pin Trigger/Echo Mode

Şekil 2.28 : Devantech SRF05 bacak bağlantıları

Bu baktan minimum 10uS tetikleme yapılması gerekmektedir. 4. bacak ise bu modda toprağa bağlanmalıdır. Eğer algılayıcının tetikleme ve dinleme işlemi, ayrı ayrı yapılmak istenirse 2. bacak yankı bacağı olarak kullanılacaktır. Bu durumda mode bacağı yani 4. bacağı bağlantı yapılmayacaktır.



Şekil 2.29 : SRF05 zaman diyagramı, mode 2

10 uS'lik tetikleme darbesi sonucunda, algılayıcı önündeki cismin uzaklığı ile orantılı olarak 100 uS ile 25 mS arası yankı darbesi alınacaktır. 30 mS boyunca yankı darbesi gelmezse algılayıcı, bunu önünde cisim yok şeklinde değerlendirir.

SRF05'in yaklaşık 55 derecelik algılama açısı vardır. Bu algılama açısı bize yeterli gelmeyeceği için birbirlerine 45 derece açı ile yerleştirilmiş 3 adet algılayıcı kullanarak 180 derecelik görüş açısı elde ettik.

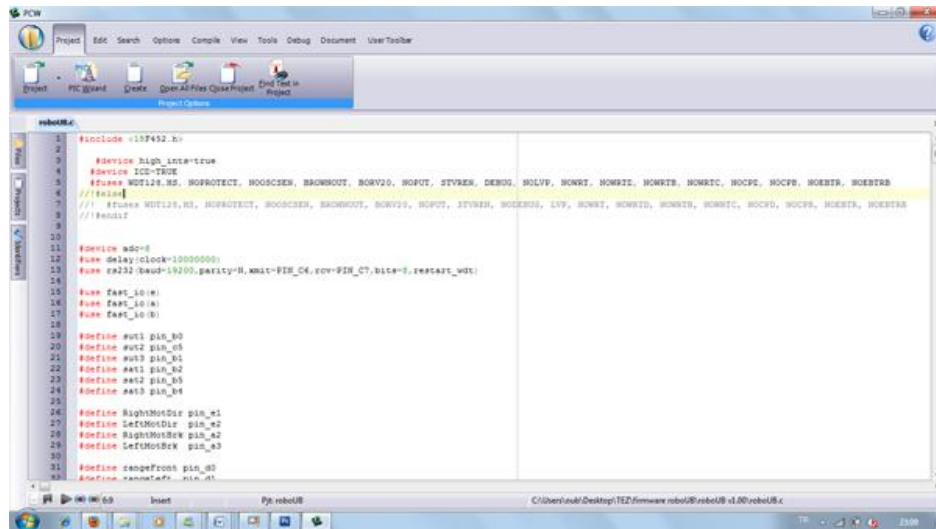
3. KULLANILAN YAZILIMLAR ve DONANIMI PROGRAMLAMA

Bir önceki bölümde robotu oluşturan donanım parçaları tanıtılmıştır. Bu bölümde ise robotu oluşturan parçaların birbirleri ile iletişim kurmalarını sağlayacak, yani ayrı yetenekleri olan donanım parçalarının bir bütün olarak çalışmasını sağlayacak yazılım tanıtılacaktır.

PIC18F452 mikrodenetleyicisini programlamak için birçok program ve programlama dili mevcuttur. Bu projede CCS C programlama dili kullanılmıştır. Bu dil Custom Computer Services Inc. firması tarafından geliştirilmiş, C tabanlı PIC programlama dilidir. Bu dili derlemek ve PIC'e yüklemek için ise yine aynı firmaya ait PIC PCWHD C Compiler programı kullanılmıştır. .

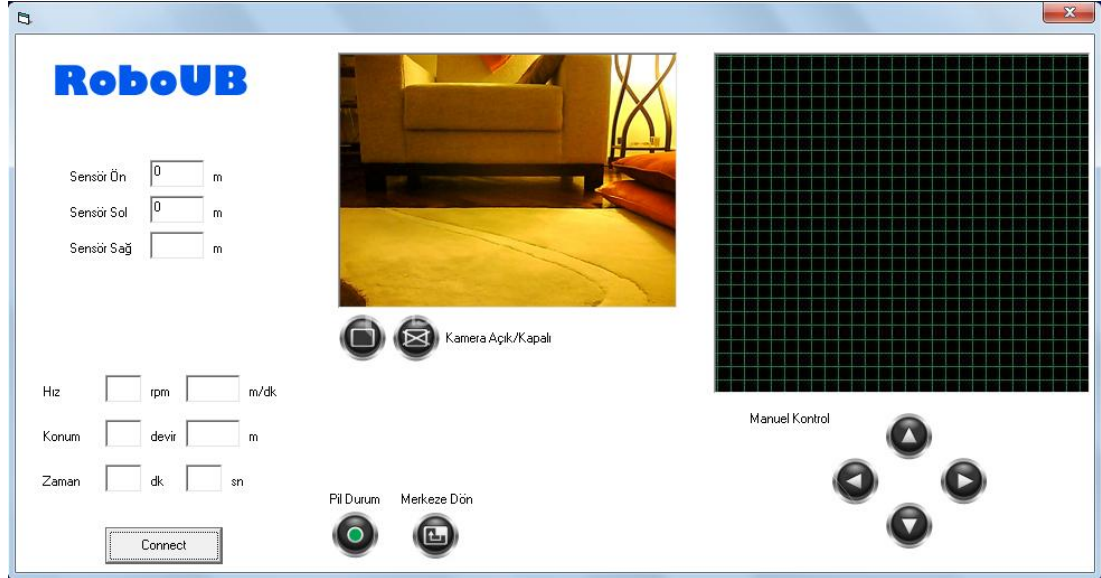
3.1 PIC PCWHD C Derleyicisi

Derleyicinin PIC'i programlamak dışındaki en önemli özelliği, adım adım programı yürütmek vasıtasıyla akış içindeki hataların kolaylıkla ortaya çıkarılabilmesini sağlamasıdır. Ayrıca PIC'i programlamadan C derleyicisi üzerinden yazılan yazılımın işleyişi görülebilir, değişkenlerin nasıl değiştikleri takip edilebilir. Bu da yazılım geliştirilirken zaman kazandırır.



3.2 Tasarlanan Arayüz

Robottan gelen verilere ulaşabilmek ve gerektiğinde robotu kontrol edebilmek için Visual Basic 6.0 ile bir arayüz tasarlanmıştır.



Şekil 3.2 : RoboUB arayüzü

Bu arayüz ile robotun hızı rpm ve m/dk cinsinden görülebilmektedir. Ayrıca aldığı konum, metre cinsinden elde edilebilmektedir. Bunun dışında, robotun hareket ettiği andan itibaren geçen süreye ulaşılabilir. Ön, sağ ve sol algılayıcıların mesafe ölçümleri ve robotun pil durumu öğrenilebilmektedir. Robotun üzerindeki kameranın görüntüleri de bu arayüzde operatöre iletilmektedir. Bunun dışında, robota merkeze geri dönmesi bu arayüz sayesinde bildirilebilmektedir. Ayrıca gerektiği durumlarda operatörün kontrolü eline almasını sağlamak için arayüze kumanda modülü de eklenmiştir. Ek olarak hareketi esnasında çizdiği rota, grafik olarak görülebilmekte ya da robotun dolaştığı bölge haritalandırılabilir. Geliştirilmeye açık olan bu arayüz sayesinde robot verilen her görevi yerine getirebilecek duruma getirilmiştir.

3.3 PIC18F452'nin Yazılım Tasarımı

Mikrodenetleyici robot da çevre elemanları kontrol etmek için geliştirilen bir yazılımı kullanmaktadır. Bu yazılım sayesinde PIC18F452; enkoderi, algılayıcıları, pusulayı, motor sürücü devresini kontrol etmektedir.

Her bir birimin kontrolü için çeşitli fonksiyonlar oluşturulmuştur. Bu sayede yazılım daha kolay bir şekilde tasarlanabilecektir.

3.3.1 Saat sinyali

PIC hafızasındaki komutları işlemek için bir sinyale ihtiyaç duyar. Bu sinyale saat (clock) sinyali denir. PIC bu saat sinyalini osilatör uçlarına bağlanan osilatör devresinden alır. PIC18F452 için osilatör uçları 13 (OSC1) ve 14 (OSC2) numaralı bacaklarıdır.

PIC mikrodenetleyicisi, girişine bağlanan osilatör frekansını (f_{osc}) 4'e bölerek komut işlemek için kullanır. Bu şekilde bir komutun işlenmesi için gereken zaman (clock cycle, $T_{CY} = T_{komut}$) ortaya çıkar.

$$f_{komut} = \frac{f_{osc}}{4} , T_{komut} = \frac{1}{f_{komut}} \quad (3.1)$$

(3.1)'deki formüller kullanılarak PIC'in komut işleme zamanı bulunabilmektedir. PIC'e 10 Mhz'lik kristal osilatör bağladığımız için,

$$f_{komut} = \frac{10Mhz}{4} = 2.5Mhz , T_{komut} = \frac{1}{2.5Mhz} = 4 \times 10^{-7} = 0.4\mu s \quad (3.2)$$

(3.2)'deki hesaplamalar sonucunda komut işleme süresi 0,4 mikrosaniye olarak bulunmuştur. Bu değere PIC'in timer'larını programlarken ihtiyaç duyulacaktır.

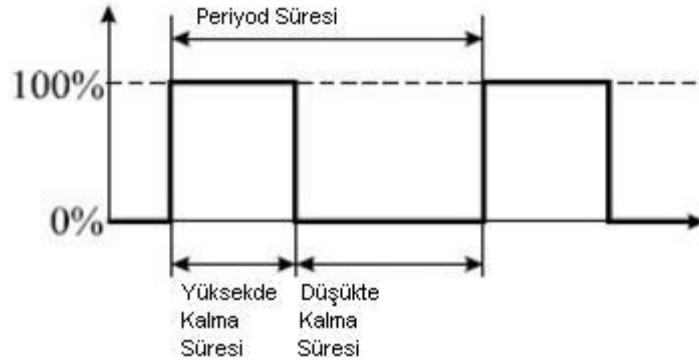
3.3.2 PIC18F452 ve LMD18200 motor sürücü entegresi

Motor sürücü devresini oluşturan ana birim LMD18200 entegresidir. Dört adet motor için 2 adet LMD18200 entegresi kullanılmıştır. PIC ile bu entegre arasında 3 adet bağlantı vardır. Bunlar hız ayarı için PWM, dönüş yönü ve fren kontrolleridir. Bu işlemler için iki adet motor sürücü için 6 adet PIC bacağı tahsis edilmiştir.

Hız kontrolü LMD18200'ün 5 numaralı PWM giriş bacağından yapılmaktadır. Bu kontrol için PIC'in 16(CCP1) ve 17(CCP2) numaralı bacakları kullanılmaktadır.

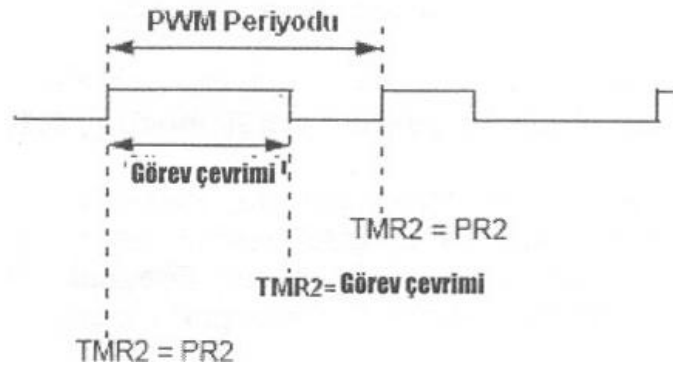
CCP biriminin PWM modu, CCP1 ve CCP2 uçlarından istenen görev çevrimine (duty cycle – doluluk oranı) sahip PWM sinyali elde etmek için kullanılmaktadır. PWM birimi, Timer2 zamanlayıcısını kullanmaktadır.

PWM (Pulse Width Modulation), üretilen darbelerin genişliklerinin kontrol edilerek üretilmek istenen analog değerin elde edilmesidir.



Şekil 3.3 : PWM dalgası

Dalganın tepe noktasındaki değeri V_{cc} , çukurdaki değeri ise V_{ss} 'dir. LMD18200'ün V_{cc} 'si 14,4 V'tur. V_{ss} ise 0 V'tur. Bu değerler kullanılan PWM dalgasının tepe ve çukur değerleridir. Bu dalganın V_{cc} 'de kalma süresi değiştirilerek V_{cc} ile V_{ss} arasındaki tüm gerilimler elde edilmektedir..



Şekil 3.4 : Görev çevrimi

Şekil 3.4'te görüldüğü gibi, PWM sinyalinin bir görev çevrimi – doluluk oranı – (duty cycle) bölümü vardır. Bu bölüm PWM sinyalinin lojik 1 olduğu, yani yüksekte kaldığı süredir. Bu süre ve periyod süresi kullanılarak doluluk oranı hesaplanır.

$$Duty Cycle = \frac{Yüksek Voltajda Kalma Süresi}{Periyod} \times 100 \quad (3.3)$$

Bu görev çevrim süresi PWM periyodundan uzun olamaz. Yüzde olarak elde edilen görev çevrim oranı kullanılarak motor sürücüsüne uygulanacak gerilim değeri belirlenir.

Mesela görev çevrim oranı %50 ise Vcc'nin uygulanma süresinin periyoda oranı 1/2 dir. Başka bir deyişle Vcc'nin uygulanma süresi Vss'nin uygulanma süresine eşittir olur. Yani Vcc=14,4 V olduğu durumda görev çevrim oranı %50 ise elde edilen voltaj 7,2 V'dir. %10 için 1,44V, %100 için 14,4 V'dir.

PIC'te PWM periyodunu elde etmek için Timer2 modülü kullanılacaktır. Bu timer'i programlamak için setup_timer_2 komutu kullanılacaktır.

```
setup_timer_2(T2_DIV_BY_1,255,1);
```

Bu komut sayesinde PWM periyodu 225 olarak belirlenmiştir.

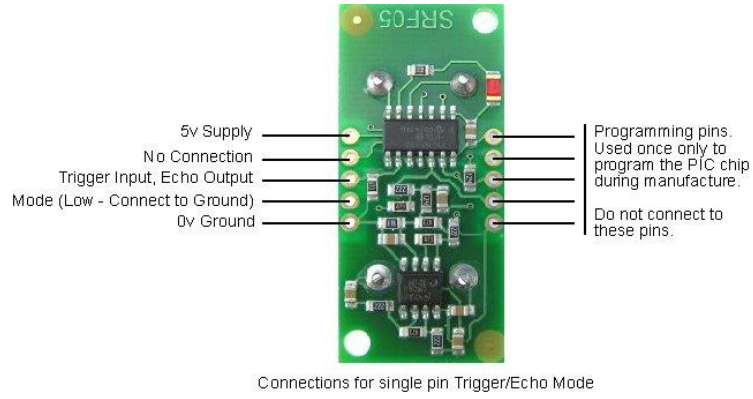
PIC'de PWM görev çevrim oranını belirlemek için, set_pwmX_duty (değer) komutu kullanılmaktadır. X yerine hangi PWM modülü kontrol edilmek isteniyorsa onun numarası yazılır. Değer kısmına ise, 0-255 arası bir değer yazılır. Bu değer aslında PWM sinyalinin yüksek voltajda kalma süresidir. Böylece motor sürücüsünün motora uygulayacağı gerilim değeri belirlenmiş olur.

Motora 12 volt gerilim uygulandığı zaman motorun 200 rpm hız kazandığı kabul edilirse, 6 volt uygulandığında 100 rpm hız elde edilir. Bu durumda görev çevrim oranının %50 olması gerekir. set_pwm1_duty(127) komutu ile LMD18200'un motora 6 V beslemesi sağlanır.

3.3.3 PIC18F452 ve SRF05 ultrasonik algılayıcı

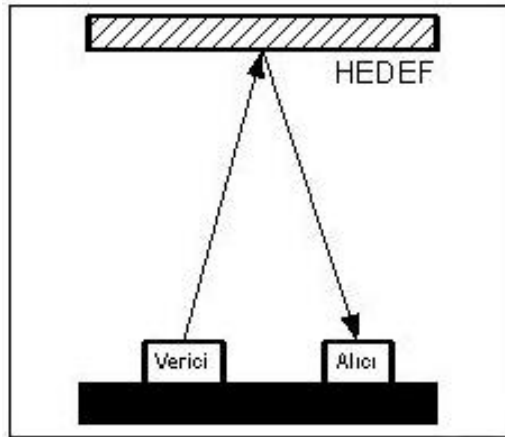
Ultrasonik algılayıcılar aslında tek başlarına mesafe ölçemezler. Bu algılayıcıların görevi ses dalgasını yollamak ve yankısını geri almaktır. Bu bilgileri kullanarak mesafeyi hesaplayan aslında mikrodenetleyicidir. Ultrasonik algılayıcının bu ses dalgasını yollaması için tetikleme girişinden (trigger input) tetiklenmesi gerekmektedir. Bu tetiklemeyi PIC, algılayıcının tetikleme girişine lojik 1 uygulayarak sağlar. Bu tetikleme sinyali 10 uS'den az olmamalıdır. Daha sonra PIC yine aynı baktan gelecek olan yankı sinyalini bekler. Bu sinyali beklerken de içindeki kronometreyi, yani timer'ı çalıştır. Sinyal geri döndüğü an timer durur ve bundan sonrası yapılacak hesaplara kalmıştır.

PIC için de timer3'ü bu sayma işlemi için atadık. Bu sayıcı 16 bitlik bir sayıcıdır. Bu yüzden 65536'ya kadar saymaktadır. Aslında bu değere geldiği zaman timer kesmeye gider. Fakat bu timer kesme için kullanılmadığından timer hiçbir zaman kesmeye gitmeyecektir.



Şekil 3.5 : SRF05 bacak bağlantıları

Bu sayıcı, “`setup_timer_3(T3_INTERNAL|T3_DIV_BY_1)`” komut satırı ile programlanır. Algılayıcı ses dalgasını yolladığı an timer çalışmaya başlar. Yankı geldiği an timer durur. Timer’den değeri “`get_timer3()`” ile alırız. Daha sonra bu değeri us cinsine dönüştürmemiz gerekmektedir. Bunun için komut işleme süresini kullanırız. Alınan değer aslında dalganın alınıp verilmesi arasında geçen süredeki toplam komut işleme sayısıdır. Daha önce de hesaplandığı gibi, kullanılan PIC’in komut işleme süresi 0,4 us’dır. Timer’den alınan değer ile komut işleme süresi çarpıldığı zaman elde edilen değer mikrosaniye cinsinden olacaktır ve ses dalgasının algılayıcıdan çıkıp geri dönmesi arasındaki süreye karşılık gelecektir.



Şekil 3.6 : Ultrasonik algılayıcının alıcı ve vericisi

Elde edilen zamanı ve sesin havadaki yayılma hızı kullanılarak engel ile algılayıcı arasındaki mesafe ölçülür.

Sesin havada yayılma hızı 345 m/s ’dir. cm ve us cinsinden yazılırsa, ses hızı $= 34500 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$ olur.

Mesafe, ses hızının zaman ile çarpımıdır. Fakat elde bulunan zaman gidiş ve dönüştür. Bu yüzden elde bulunan zamanın yarısı kullanılacaktır. Elde edilen zamanın yarısı ses hızı ile çarpılırsa mesafeyi bulunur.

$$mesafe = \frac{ses\ hızı \times zaman}{2} = \frac{34500.10^{-6}.t}{2} = \frac{t}{58} \quad (3.4)$$

Denklem (3.4) PIC için de kullanılabilecek şekilde sadeleştirilmiştir.

3.3.4 PIC18F452 ve enkoder

Motorun hızı ve aldığı yolu bulabilmek için motora monte edilen enkoder kullanılmıştır. Hız ve konum için öncelikle enkoderin takılı olduğu tekerleğin attığı devir sayısı bulunmak zorundadır.

Devir hesaplamak için daha önceden hesaplanan şaft çözünürlüğü kullanılacaktır. Şaft çözünürlüğünün 9000 olduğu bulunmuştur. Bu durumda 360 derecelik bir devir 9000 adıma bölünerek ölçülebilmektedir. Bu değer, PIC ile sayılarak motorun devir sayısı bulunabilir. Bu sayma işlemi için timer0 kullanılacaktır. Timer0 iç sayıcı olabildiği gibi dış sayıcı olarak da kullanılabilir. Bunun için enkoderin A çıkışı PIC'in 6 (T0CK1) numaralı bacağına bağlanmıştır. Ve timer0 her 1 saymada bir kesmeye gitmesi şeklinde programlanmıştır. Fakat bu durumda timer0 sürekli kesmeye gittiği için PIC'in normal program akışını sürdürebilmesi mümkün olmamıştır. Bu yüzden enkoderin çözünürlüğü düşürülerek her 150 adımda bir kesmeye gitmesi sağlanmıştır. Böylece 60 kesme sonunda motor 1 devir yapmış olacaktır. Bu durumda 360 derecede 60 kez kesmeye gidileceği hesabından 6 derecelik bir çözünürlük ile enkoderin ölçüm yaptığı hesaplanmaktadır.

Timer0 8 bit ya da 16 bit şeklinde kullanılabilir. Burada 8 bit şeklinde kullanılması seçilmiştir. “setup_timer_0(RTCC_EXT_H_TO_L | RTCC_DIV_1 | RTCC_8_BIT)” ile hem 8 bit ayarı yapılmış hem de timer0 dışarıdan gelen sinyali sayacak şekilde programlanmıştır.

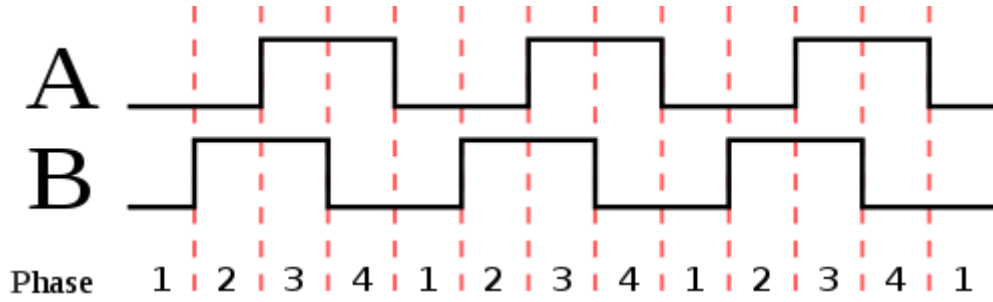
Bu durumda timer0'ın maksimum değeri 256 olacaktır. Her 150 adımda 1 kesmeye gitmesi istendiği için timer “set_timer0(106)” şeklinde programlanmıştır. Algoritma, 60 kesme 1 devire eşit olacak şekilde tasarlanmıştır. Buradan da rpm ve konum hesapları yapılmıştır.

Enkoderin B bacağından çıkan sinyal ile A bacağından çıkan sinyal arasında 90 derece faz farkı vardır. Bu iki sinyal karşılaştırılarak motorun dönüş yönünün değişip değişmediğine bakılabilmektedir.

Çizelge 3.1 : Enkoder A ve B girişlerinin karşılaştırması

Gri kodlama Saat yönü dönüş			Gri kodlama Saat yönüne ters dönüş		
Faz	A	B	Faz	A	B
1	0	0	1	1	0
2	0	1	2	1	1
3	1	1	3	0	1
4	1	0	4	0	0

Çizelge 3.1’de görüldüğü gibi motorun saat yönünde dönüşü ve tersi dönüşü durumlarında A ve B çıkışlarından alınan sinyaller farklılaşmaktadır. İşte PIC ile A ve B çıkışları karşılaştırılarak motorun hangi yöne döndüğü bulunabilmektedir.



Şekil 3.7 : Dört evreli iki kare dalga (saat yönünde dönüş)

Şekil 3.7’de görüldüğü gibi A ve B’den alınan iki kare dalga, PIC içinde karşılaştırılır. Bu karşılaştırma sonucu Çizelge 3.1’deki tablo kullanılarak motorun hangi yöne döndüğü bulunur.

Enkoder’den devir sayısı bulunduktan sonra, bu sayı tekerleğin çevresi ile çarpıldığında alınan yol bulunmaktadır. Kullanılan tekerleğin çapı 0,1206 metredir. Buradan çevresi 0,3786 metre bulunmaktadır. Bu sayı, hesaplanan devir ile çarpıldığında metre cinsinden alınan yol bulunmaktadır.

Hız, öncelikle rpm (revolution per minute) cinsinden bulunur. Bu, dakikadaki devir sayısı demektir. Ancak bunu hesaplamak için 1 dakika beklemek mantıklı değildir. Çünkü hız anlık olarak değişebilir.

Bu yüzden hızı anlık olarak hesaplamak ve oradan da tahmini bir rpm bulmak gerekmektedir. Bunun için timer1 kullanılmıştır. Timer1, bir saat gibi tasarlanmıştır. Yani timer1 sayesinde saniye ve dakika bulunabilmektedir. Bu sayede her saniye, motorun kaç devir attığı bulunabilmektedir. Bu bilgi, 60 ile çarpıldığında, motorun 1 dakikada kaç devir attığı bulunmaktadır.

3.3.5 PIC18F452 ve dijital saat

PIC'in timer1 modu kullanılarak bir dijital saat tasarlanmıştır. Bu dijital saat sayesinde geçen zaman bulunarak, robotun devir bilgilerinden hızı bulunmaktadır.

Timer1 16 bitlik bir sayıcıdır. Bu nedenle 65536'ya kadar sayabilmektedir. Bölme oranı 4 seçilerek çözünürlüğü daha da artırılmıştır. Timer1'in kesmeye gideceği süre denklem (3.5) ile 0,1 sn olarak ayarlanmıştır.

$$Kesme = T_{komut} \times Bölme\ oranı \times (65536 - TMR1) \quad (3.5)$$

Bölme oranımız 4, $T_{komut} = 0.4\mu sn$ 'dir. TMR1 "set_timer1(3036)" komut satırı ile 3036 olarak belirlenirse, kesme süresi 0,1 sn olur. Her 10 kesmede, saniye değişkeni 1 artırılırsa ve her 60 sn'de dakika değişkeni 1 artırılırsa dijital bir saat elde edilmiş olunur.

3.3.6 PIC18F452 ve RF

RF modülünden gelen verileri değerlendirmek ve RF modülüne veri gönderebilmek için PIC mikrodenetleyicisinin 25(TX) ve 26 (RX) numaralı bacakları kullanılmıştır. TX veri göndermek için, RX ise veri almak için kullanılmıştır.

PIC'in bu bacakları seri iletişim için kullanılmaktadır. RF modülü ile PIC'te seri iletişim kurulmaktadır.

Seri iletişimin iki çeşidi vardır. Bunlar senkron ve asenkron iletişimdir. Senkron iletişimde alıcı ile verici devrenin eş zamanlı çalışması gerekmektedir. Bu eş zamanlı çalışmayı sağlayabilmek için veri kablosunun yanında bir de saat sinyali kablosu bulunmaktadır.

Saat sinyalinin periyodu seri iletişimde, her bir birimin iletim süresini belirtmektedir. Böylece başlangıç ve bitiş bitlerine gerek kalmamaktadır.

Senkron seri iletişim, asenkron seri iletişime göre daha hızlıdır. Ancak senkron iletişim, karmaşık ve pahalı devreler içermektedir.

Asenkron seri iletişimde sadece veri hattı bulunmaktadır. Alıcı ve verici devreler, veri iletişiminde eş zamanlı çalışmamaktadır. Gönderen birim, belli bir formatta hazırlanan veriyi hatta aktarır. Alıcı ise devamlı olarak hattı dinlemektedir, verinin gelişini bildiren işareti aldıktan sonra gelen veriyi toplar ve karakterleri oluşturur.

Senkron iletişimindeki saat sinyali yerine başlangıç ve bitiş bitleri vardır. Başlangıç biti, bilginin gönderilmeye başlandığını alıcı tarafa bildirmek için kullanılmaktadır. Asenkron iletişimin ilk biti her zaman başlangıç bitidir. Asenkron veri iletişiminde başlangıç biti her zaman lojik 0 olmalıdır. Bitiş biti, gönderilen bilginin bittiğini alıcı tarafa belirtmektedir. Bitiş bitinden sonra gönderilen bilgi yeniden başlangıç biti ile başlar. Bu iki bitin arasında kalan veri biti, 7 ya da 8 bit olabilir.

Seri iletişimin hızı, saniyede gönderilen bit sayısı olarak (bps – bit per second) tanımlanabilmektedir. Bu değer, saniyede gönderilen tüm 0 ve 1 bitlerinin toplamıdır. Bunun dışında bir de baud oranı vardır. Aslında baud ile bps aynı değildir. Fakat iki modül de aynı baud oranına sahip olduğu için bps, baud oranına eşittir.

Seri iletişim için baud oranı 19200 seçilmiştir. Yani kurulan seri iletişimde saniyede 19200 bit veri aktarımı yapılmaktadır. Baud oranını, PIC'in RS232 için kullanacağı bacakları ve bir pakette kaç bit data olacağı; “#use rs232 (baud=19200,parity=N,xmit=PIN_C6,rcv=PIN_C7,bits=8,restart_wdt)” komut satırı ile PIC içinde belirlenmiştir.

PIC'ten veri göndermek için PIC'in TX bacağı kullanılmıştır. Veri gönderileceği zaman PIC içindeki INT_TBE kesmesi aktif hale getirilmektedir. Bu kesme altındaki fonksiyon, veri göndermek için gereken komutları barındırır. Aynı şekilde veri almak için de kesme kullanılmaktadır. INT_RDA kesmesi ile PIC veri almaya hazır olmaktadır. Bu kesme altındaki fonksiyon ile veri transferi gerçekleşmektedir. PIC'in veriyi aldığı bacak RX'tir.

3.3.7 PIC18F452 ve dijital pusula

I2C veri yolu 1980'lerin başında Philips Semiconductors tarafından geliştirilmiştir. İlk amacı bir televizyon cihazındaki merkezi işlemci ile harici entegrelerinin birbirine kolayca bağlanmasını sağlamaktır. Televizyon, video, müzik seti gibi çok sayıda entegre devre kullanılan cihazlarda, entegreler arasında çok sayıda bakır yol bulunması PCB maliyetlerini arttırdığı gibi Electromagnetic Interference (EMI) (manyetik alanda etkilenme) ve Electrostatic Discharge (ESD) (elektrostatik ani deşarj) problemlerini de meydana getirmekteydi. Bu problemleri gidermek için Philips Labs in Eindhoven (Hollanda), iki hatlı I2C veri yolu geliştirmiştir. De-Facto haline gelen bu veri yolu günümüzde Xicor, ST Microelectronics, Infineon Technologies, Intel, Texas Instruments, Maxim, Atmel, Analog Devices ve diğer büyük elektronik şirketleri tarafından desteklenmektedir.

1982' deki ilk I2C yayımından sonra çok popüler olması ve birçok alanda kullanılması I2C'nin geliştirilmesi ihtiyacını doğurmuştur. Bu ihtiyaç doğrultusunda 1992'de yeni bir I2C standardı yayınlanmıştır. Bunda hızlı modu (FAST MODE) ve 10 bit adreslemeyi içeren yeni gelişmeler mevcuttu. Veri yolu hızı 400 Kbit/s'ye yükseltilmiş ve sistem gürültüsüne limit konulmuştu. Girişlere schmitt tetikleyicisi yerleştirilmiş, çıkışlara eğim kontrol edici devre elemanları eklenmişti.

Her kullanılan entegrenin kendine özel bir adresi vardır. I2C destekleyen entegre sayısı arttıkça ilk 7 bitlik adres yetmemeye başlamış ve 10 bitlik yeni bir adresleme tanımlanmıştır. Önceden rezerve ayrılan bir adres grubu işaretleyici olarak kullanılmıştır. Buna genişletilmiş adresleme adı verilmiştir. Bu yeni adresleme, önceki standarda tamamen geriye dönük uyumlu çalışır olarak tasarlanmıştır.

Gelişen uygulamalarla birlikte 400 kbit/s hız da yetmemeye başlayınca 3.4 Mbit/s'lik son derece hızlı yeni bir mod geliştirilmiş ve buna high speed mod adı verilmiştir. Bu yüksek hızına rağmen high speed hızındaki cihazlar geriye dönük olarak fast mode ya da standart I2C ile iletişim kurabilme yeteneğine sahip olarak tasarlanmıştır.

I2C veri yolu 2 aktif telden ve bir toprak bağlantısından oluşur. SCL ve SDA denen aktif teller iki yönlüdür. SDA (Serial Data Line) seri veri hattı, SCL (Serial Clock Line) seri saat hattıdır. Mikrodenetleyiciye bağlı her bir entegrenin kendine özel bir adresi vardır. Kullanım amacına bağlı olarak bu entegrelerin her biri, veri yolu üzerinde alıcı ya da gönderici olabilir.

I2C veri yolu çok masterlı bir veri yoludur. Bu, birden fazla kendiliğinden veri transferi başlatabilen entegre veri yoluna bağlanabileceği anlamına gelmektedir. I2C protokolüne göre yürütülmekte olan veri transferini başlatan entegreye bus master, diğer tüm entegrelere bus slave denir. Bus master'lar genellikle mikrodenetleyicilerdir.

I2C'nin veri iletim hızı gönderilen bilginin frekansı ile ters orantılıdır. Örnek vermek gerekirse 1 Mhz gibi yüksek hızlarda veri aktarım mesafesi herhangi bir buffer kullanılmadığı takdirde 8 ila 10 metre iken 500 Hz'lik bir veri iletiminde bu mesafe 100 m civarına çıkmaktadır.

Mobil robot projesinde I2C protokolü dijital pusuladan kuzey bilgisini almak için kullanılmaktadır. Veriyi alabilmek için mikrodenetleyici başla komutunu yollar ve arkasından dijital pusulanın bulunduğu adres olan 0xC0 hex bilgisini yollar. Burada dikkat edilmesi gereken nokta adres bilgisini gönderirken son bitin yazma ya da okuma işlemini belirlediğidir. 0 yazma işlemini belirtirken 1 okuma işlemini belirtmektedir.



Şekil 3.8 : I2C bilgi akışı

Adres bilgisi yollandıktan sonra okumak istediğimiz pusula verisinin register adresi olan 0x02 hex bilgisi I2C üzerinden pusulaya gönderilir ve I2C protokolü tekrar başlar. Tekrardan dijital pusulanın adresi SDA üzerinden yollanır. Veri okunmak istenen adresin sonuna eklenen 1 bilgisinden anlaşılmaktadır. (0xC1) Okunmak istenen verinin boyutu iki byte olduğundan 2 okuma komutu ile veri alınır. Veri alışverişi durdurma komutu ile bitirilir. Veri alımının akış diyagramı şekil 3.9'da verilmiştir.



Şekil 3.9 : I2C akış diyagramı

4. KONTROL ALGORİTMALARI

Robotta konum ve hız kontrolünün yapılabilmesi için çeşitli algoritmalar geliştirilmiştir. Bunlar, robotun hareketini sağlayan ve verilen görevlerin sorunsuzca yerine getirilmesine yardımcı olan algoritmalarlardır.

4.1 PID Kontrol Algoritması

PID algoritması robotta hızı kontrol etmek amaçlı kullanılmıştır. 50 ile 100 cm arasında obje algıladığı taktirde devreye girmektedir. PID kontrol sayesinde robot engele ulaşmadan önce hızını azaltarak daha kontrollü dönüş yapmaktadır. Böylece ani dönüşlerin motora verebileceği zararların önüne geçilmiştir. Ayrıca robot daha kontrollü olacağı için navigasyon hataları da azaltılmıştır.

PID için genel formül denklem (4.1)'deki gibidir.

$$U = K_p \cdot e + K_i \cdot \int e + K_d \cdot \frac{d}{dt} e \quad (4.1)$$

Formülde görülen e oluşan hatayı belirtmektedir. K_p PID' nin orantısal sabitini, K_i integratör sabitini, K_d ise türev sabitini belirtmektedir. PID'nin U çıkışı denklem (4.1)'den elde edilmektedir.

PID kontrolün P, PI ve PD kontrole göre avantajları şöyle sıralanmaktadır:

- 1 Oransal kontrolde oluşan ofset, integral yardımıyla ortadan kaldırılmaktadır.
- 2 İstenen değerin çok üstüne çıkması ya da altına inmesi (overshoot ve undershoot) türev algoritması ile önlenmektedir.
- 3 Katsayıların düzgün ayarlanmasıyla mükemmel bir kontrol sağlanmaktadır.

PID genel formülü, PIC içinde kullanılabilmek için bazı düzenlemelere ihtiyaç duymaktadır.

4.1.1 Yazılımsal PID kontrolör

PID algoritması, bir mikrokontrolörde gerçekleştirilmek istendiğinde yukarıdaki formülde bazı değişikliklerin yapılması gerekmektedir. PID'nin enkoderden gelen veriye göre hız denetimini yapılması sağlanmıştır. Bunun için motorun ulaşması gereken bir hız değeri belirlenmiştir.

Genel PID formülünün hata kısmı mikrodenetleyicide denklem (4.2)'deki gibi ifade edilmektedir.

$$\text{Hata} = \text{İstenen Hız} - \text{Enkoder Hızı} \quad (4.2)$$

PID'nin ürettiği kontrol sinyali, motorun hızı kontrol edileceği için PWM sinylidir.

$$\text{PWM_Kontrol} = \text{PWM_Sabit} + \text{P_Terimi} + \text{D_Terimi} + \text{I_terimi} \quad (4.3)$$

Denklem (4.3)'te PID'nin genel formülünün mikrodenetleyici için düzenlenmiş hali görülmektedir. Buradaki PWM_Kontrol, motorun istenen hıza ulaşabilmesi için PWM'e uygulanan ve PID tarafından üretilmiş sinyaldir. PWM_Sabit, kontrol uygulanmamış sabit PWM sinylidir. Bu sinyalin üzerine, üretilen kontrol değerleri eklenmektedir.

$$\text{P_Terimi} = \text{P_Katsayısı} * \text{Hata} \quad (4.4)$$

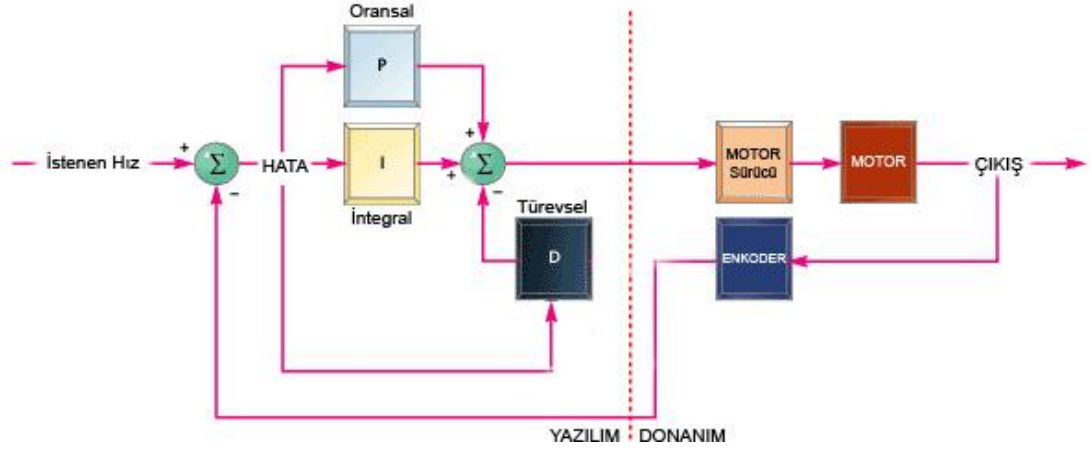
Denklem (4.4)'te PID'nin P terimi elde edilmiştir. Bunun için P_Katsayısı (K_p) ile Hata (e) çarpılmıştır.

$$\text{D_Terimi} = \text{D_Katsayısı} * (\text{Şuanki_Hata} - \text{Önceki_Hata}) \quad (4.5)$$

Denklem (4.5)'te PID'nin D terimi elde edilmiştir. Bunun için D_Katsayısı (K_d) ile şu anki hata ile önceki hatanın farkı çarpılmıştır. Şu anki hata, Hata teriminin kendisidir. Mikrodenetleyici için yazılan algorithmada önceki hata, daha önceki PID döngüsünde kaydedilerek elde edilmektedir. Bu iki hatanın birbirinden çıkarılma sebebi, genel PID formülündeki türev etkisinin mikrodenetleyici içinde elde edilebilmesini sağlamaktır.

$$\text{I_terimi} = \text{I_Katsayısı} * \text{Hatalar_Toplamı} \quad (4.6)$$

Denklem (4.6)'da PID'nin I terimi elde edilmiştir. Bunun için I_Katsayısı (K_i) ile, şu ana kadar meydana gelen tüm hataların toplamı çarpılmaktadır. Bu, mikrodenetleyici için yazılan algoritmada, birim zamanda her kontrol sinyalinin hesaplanması sırasında elde edilen hatanın devamlı olarak toplanması ile elde edilmiştir. Bu hataların toplanmasının sebebi, genel PID formülündeki integral etkisinin mikrodenetleyici içinde elde edilmesini sağlamaktır.

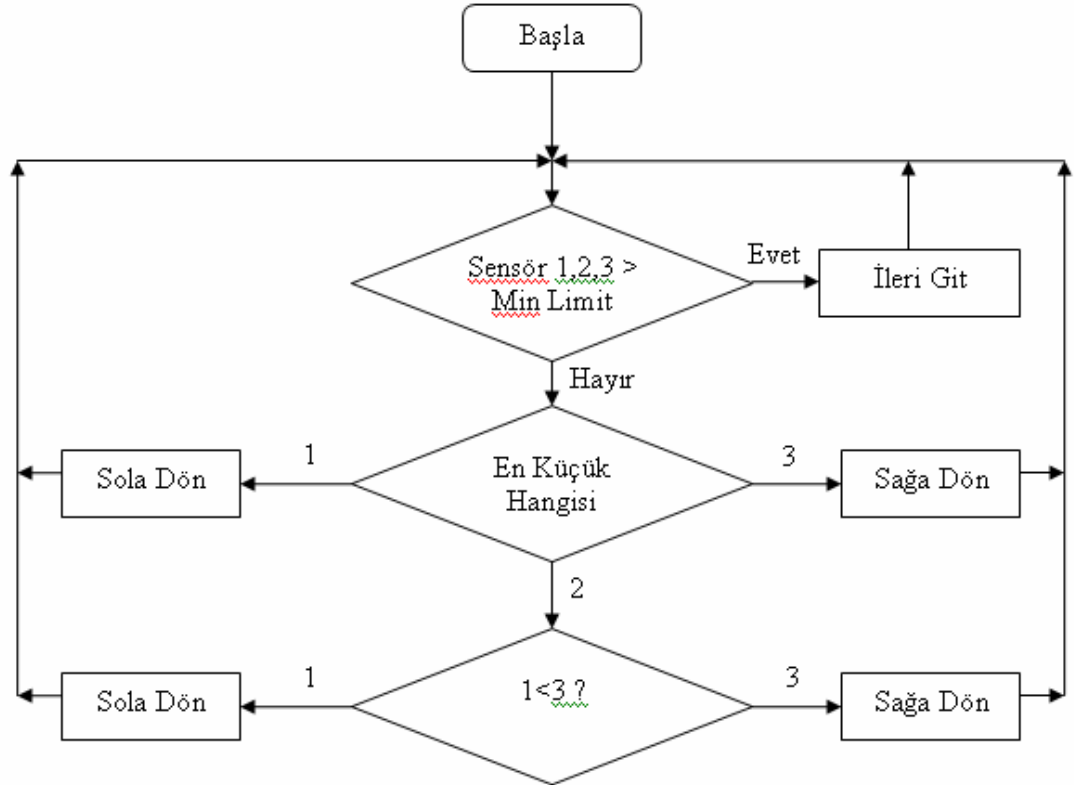


Şekil 4.1 : PID yazılım ve donanım

4.2 Karar Algoritması

Tasarlanan bu algoritmanın amacı, robotun engel ile karşılaşması sonucunda ne yapacağına karar verebilmesidir. Bu algoritma iki konumlu kontrol türündedir.

Eğer öndeki üç mesafe sensöründen gelen verilerin hiçbiri limitin altında değil ise mobil araç ileri yönde tanımlanmış maksimum hızla ilerlemektedir. Bu zaman zarfında mobil robot sağda, solda ya da ileride bir cisim algıladığında, algıladığı cismin yönü doğrultusunda bulunan tekerleklerdeki motorların hızını arttırarak diğer yöndeki tekerleklerin hızını azaltarak mobil robotu kontrol etmektedir. Fakat algılanan mesafe, tehlikeli limit noktasına girdiği zaman karar algoritması devreye girer ve motorun yönünü değiştirip tekerleklerdeki hız değerlerini ayarlar. Bazı durumlarda sağ ve soldaki cisimleri algılamak için yerleştirilen sensörlerin limitler içinde bir obje algılamadığı, fakat öndeki sensörün cisim algıladığı durumlarda karar algoritması sağ ve sol sensörlerden elde ettiği verileri inceleyip algıladığı cisimlerden en uzakta olanın yönüne dönmektedir. Karar algoritması ile ilgili basit bir akış şeması şekil 4.2'de görülmektedir.



Şekil 4.2 : Karar algoritması akış diyagramı

5. MAYIN TARAMA BİRİMİ

Otonom ve yarı otonom olarak tasarlanmış olan robot, daha önce bahsedildiği gibi birçok görevi rahatlıkla yerine getirebilecek şekilde tasarlanmıştır. Değişik birimler, mobil sisteme eklenerek, robot yapılması istenen görevi yerine getirebilecek bir şekilde tasarlanmıştır. Güvenlik, bomba imha, mayın tarama, gözlem, araştırma; gerekli birimler sisteme monte edikten sonra, mobil robotun yerine getirebileceği görevlerdendir.

Mayın tarama günümüzde de önemini koruduğundan ve bu tip sistemlerin eksikliği çokça hissedildiğinden dolayı, robotun bu yönde geliştirilmesine karar verilmiştir.

5.1 Kara Mayınları

Mayın, kara taşıtlarına, gemilere veya hava araçlarına tahrip ya da hasar vermek, personeli yaralamak, öldürmek veya diğer şekillerde tesirsiz kılmak için tasarlanan, normal olarak koruyucu bir kaplama malzeme içinde bulunan patlayıcı ve onu harekete geçiren düzeneği bütünü şeklinde tanımlanabilir. Mayın, üzerinden geçilmesi halinde, zaman ayarlı olarak veya uzaktan kontrol araçları ile patlatılabilir. Bu çalışmanın alanına giren kara mayınları ise toprak üstüne yerleştirilen veya biraz gömülen, içi infilak maddesi veya kimyasal maddelerle dolu mayınlardır. Kara mayınları, genel olarak üzerinden geçen araçların veya personelin ağırlığı ile infilak eder.

Kara mayınları tanksavar mayınları ve anti personel mayınları olmak üzere iki çeşittir. Tanksavar mayınları üzerlerinden geçen taşıtların ağırlığı ile harekete geçip patlamak üzere tasarlanmışlardır. Çoğu tanksavar mayını insan ağırlığı harekete geçiremez. Bu yüzden tanksavar mayınlarını bulmak, anti personel mayınlarına göre daha az masraflı ve kolaydır.



Şekil 5.1 : Çeşitli tank ve personel mayınları

Anti personel mayınlarının tespitinin daha zor ve daha tehlikeli olmasından dolayı robot, özellikle anti personel mayınlarının tespitine yönelik tasarlanmıştır. Mayınlı bir araziye bırakılan robot, daha önceden kendisine yüklenen plan çerçevesinde alanı tarayarak mayın tespit etmek için kullanılabilir ya da askeri birliklerin yol kenarında yürüyüşleri sırasında önde güvenli bir mesafeden tarama ve tespit yaparak yol güvenliği sağlayabilir.



Şekil 5.2 : Mayın tarama ve tespit

5.1.1 Anti personel mayınları

Anti-personel mayını kara mayını sınıfı içerisinde insan hedeflerine karşı geliştirilmiş bir mayın türüdür. Bu tür mayınlar genellikle yaralama amacı taşımaktadır. Bunun nedeni yaralı bir askerin ölü bir askere nazaran daha fazla lojistik ve sağlık desteğine ihtiyaç duyması ve kendinden başka askerleri de savaş dışına itmesidir. Bazı anti-personel mayınları insan haricinde zırhlı taşıtların özellikle tekerlek kısmında hasar vererek bu araçları iş göremez hale getirebilmektedir. Mayınlar patlayıcı veya parça etkili mayınlar olarak sınıflandırılır. Parça tesirli mayınlar, günümüzde genellikle sıçrayan mayın olarak adlandırılmaktadır.

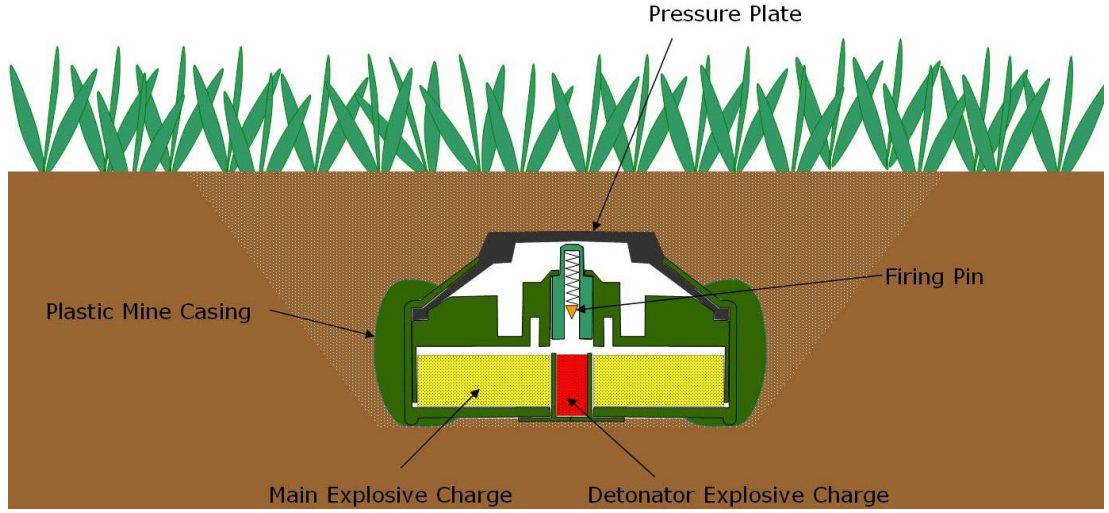
Anti personel mayınlarının infilak mayınları olarak isimlendirilen türü "basınçla harekete geçen" ve kendisine yapılan tazyik ile doğrudan patlayarak basınç dalgası yaratan bir mayındır. Bu tip mayınlar basınçla harekete geçmelerine rağmen, bir insanın üzerine basması ile devreye girecek, bunun yanında üzerinden geçen hafif hayvanlar (kedi, köpek) ile devreye girmeyecek şekilde, belli bir ağırlığın üzerinde aktif hale gelmesi için tasarlanmışlardır. Bu durum tasarlanan robot için avantajlı bir durumdur. Çünkü robotun ağırlığı 5 kg'dan azdır ve genelde anti personel mayınları 10 kg'ın üzerinde aktif hale geçmektedir.



Şekil 5.3 : Mayın tuzağı

Bu tip mayınlarda, kişi mayına bastığı anda harekete geçen mayın içerisindeki fünye yanar ve ana patlayıcıyı infilak eder. Bu sırada ortaya çıkan sıcak havadan ötürü bir basınç dalgası oluşur. Bu patlama ile ortaya çıkan dalga uyguladığı sıkıştırma kuvveti ile toprağın üstüne çıkar. Bu güç doğrudan ayakkabı ve ayağa ulaşır. Ardından ayağın parçalanmasına veya kopmasına sebep olur.

İnsan vücudunda meydana gelen yaralanma oranı mayın içerisinde kullanılan patlayıcı, mayın çukurunun derinliği ve toprak türü ile kurbanın temas etme şekline göre değişir. Bu tür patlayıcılı mayınlar zırhlı araçlara karşı çok az etkili olmakta ancak tekerlekli bir araç doğrudan üzerinden geçer ise tekerleğe hasar vererek aracın hareket imkânını ortadan kaldırmaktadır. Küçük olanları sadece tekerleğe hasar vermekle beraber daha büyükleri yürüyen aksama da zarar verebilir.



Şekil 5.4 : Anti personel kara mayınının iç yapısı

Anti personel kara mayınlarının dış kısmı olan mayın kutusu, mayının parçalarına ev sahipliği yapan ve çevre koşullarından koruyan bir yapıya sahiptir. Patlatma mekanizması ise mayın içerisindeki ana patlayıcıyı harekete geçirmek için tasarlanmıştır. Bu mekanizma ateşleme iğnesi veya elektrik ile harekete geçirilen bir fünyeden oluşmaktadır. Birçok mayındaki yaylı ateşleme iğnesi fünye ateşlenir. Fünye çok hassas bir tür patlayıcıdan yapılmakta olup bu patlayıcı en ufak bir baskı veya elektrikle harekete geçebilir. Ana patlayıcı genellikle sabitlenmiş patlayıcıdan oluşup doğrudan veya fünye yardımı ile ateşlenebilir. Fakat ana patlayıcıyı fünye düzeneği olmadan ateşlemek için çok hassas patlayıcılar kullanmak gerekir ki bu da mayının kendisini çok tehlikeli bir hale getirir.

İnfilak mayınları en bilinen kara mayını türüdür. Genellikle zemin üzerindeki yaprak veya kaya altlarında saklanarak ya da toprak altına 10 ila 40 mm. arasında gömülerek kullanılır. Harekete geçmek için bir insanın basması veya bir taşıtın doğrudan üzerinden geçmesi gerekir.

Robota entegre edilen dedektör sistemi, çok güçlü bir sistem olup derinlikteki bir mayını, metal içeriği ne kadar az olursa olsun rahatlıkla tespit edebilmektedir. Ama günümüzde neredeyse hiç metal aksama sahip olmayan mayınlar da üretilmiştir. Bu mayınlara karşı kullandığımız dedektör işlevsiz kalmaktadır. Bu yüzden bu tip mayınların tespiti için robota monte edilen mayın tarama sisteminin değiştirilmesi gerekmektedir.

5.2 Mayın Dedektörü

Mayın dedektörü olarak Pulse Induction (Darbe endüksiyon) tipi dedektör kullanılmıştır. PI dedektör de denilen bu dedektörün arama başlığında bir bobin vardır. Bu bobine çok kısa bir süre içinde çok yüksek akımlı bir darbe verilir. Çok kısa bir süre için etrafta yüksek bir manyetik alan yaratılır. Darbe bittikten sonra bobin, alıcı devreye bağlanır ve gönderilen darbenin etkilerini dinlemeye geçer.

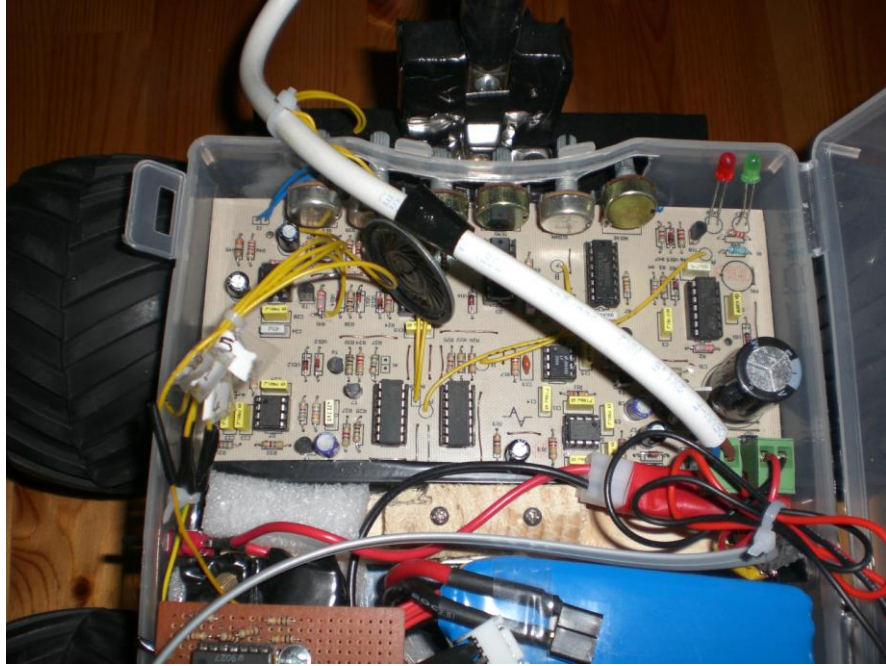


Şekil 5.5 : Mayın tarama robotunun bobin kısmı

Robota takılan bobin 30 cm çapında piyasada bulunan adsl kablolarından sarılmış bir bobindir. Bu bobin çapı ile dedektör tam kapasite çalıştırıldığı durumda 30 cm'den 1tl'yi rahatlıkla algılayabilmektedir ki bu mesafe, mayınların 4 cm derinliğe gömüldüğü göz önünde bulundurulursa oldukça tatminkârdır.

Metal dedektörleri, elektromanyetik dalgalar gönderme ve alma genel prensibine göre çalışırlar. Gönderilen elektromanyetik dalga rastladığı metal cisim üzerinde "eddy currents" veya "faraday akımları" denen bir akım indükler. Bu indüklenen akım dedektördeki bobine tesir ederek bir takım küçük sinyal değişmelerine sebep olur. Bu küçük sinyaller elektronik devrelerde kuvvetlendirilerek ses sinyali oluşması için hoparlöre gönderilir. Tasarlanan robotta ses uyarısı dışında mikrodenetleyiciye de dedektör devresinden sinyal gönderilmektedir. Bu sinyal sayesinde robotun mayın tespit ettiği zaman ne yapacağı programlanabilmektedir.

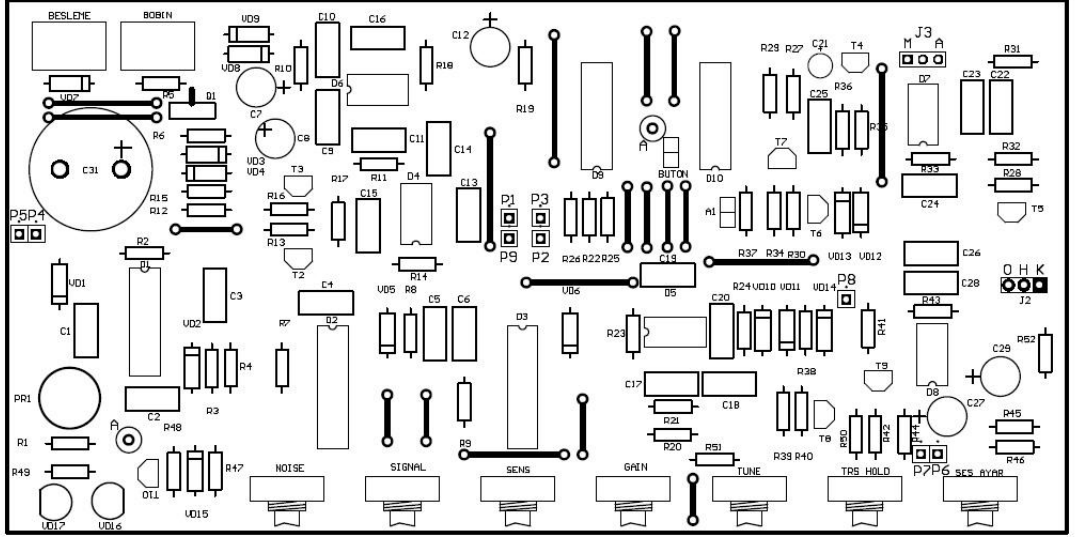
Tasarlanan robot, mayın bulunduğu zaman olduğu yerde durması ve operatöre RF iletişim yolu ile bilgi vermesi şeklinde programlanmıştır. Bunun dışında mayını tespit ettiği yer işaretlenerek mayın temizleme ekibine kolaylık da sağlanabilir.



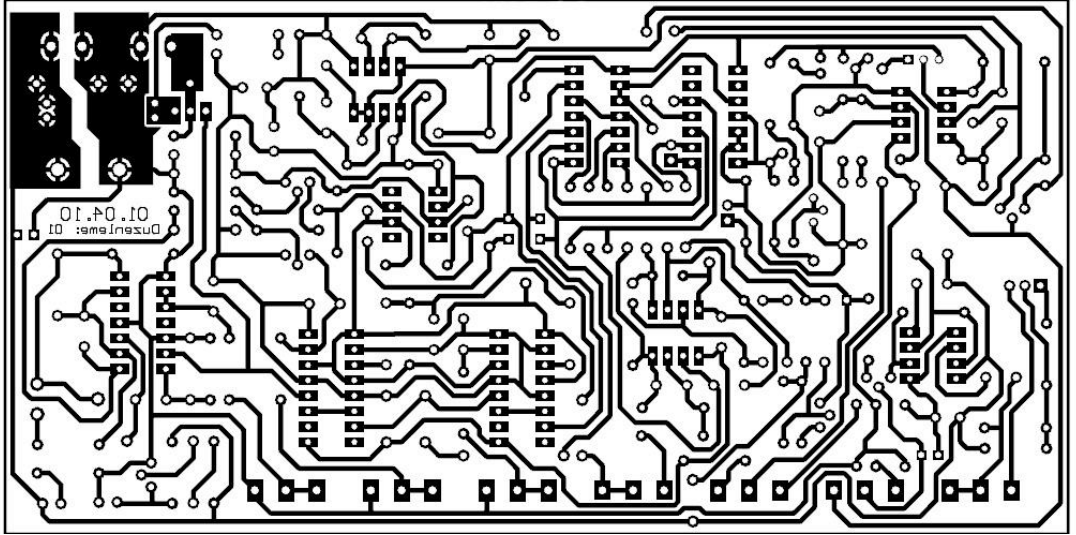
Şekil 5.6 : Mayın tarama robotunun dedektör devresi

Dedektör devresi robotun arka kısmına monte edilmiştir. Devre özel olarak imal edilmiş olup, devrenin parça yerleşimi şekil 5.7’de görülmektedir. Şekil 5.8’de ise devrenin alttan görünüşü yer almaktadır.

Tek bir bobin hem alıcı hem verici olarak kullanılabilir. PI dedektörler, bir darbe gönderir bekler ve daha sonra ise yeni bir darbe gönderilir. Sistem bu şekilde darbe al-ver yapısıyla çalışır. Basit bir PI dedektör saniyede 100 darbe gönderebilir.

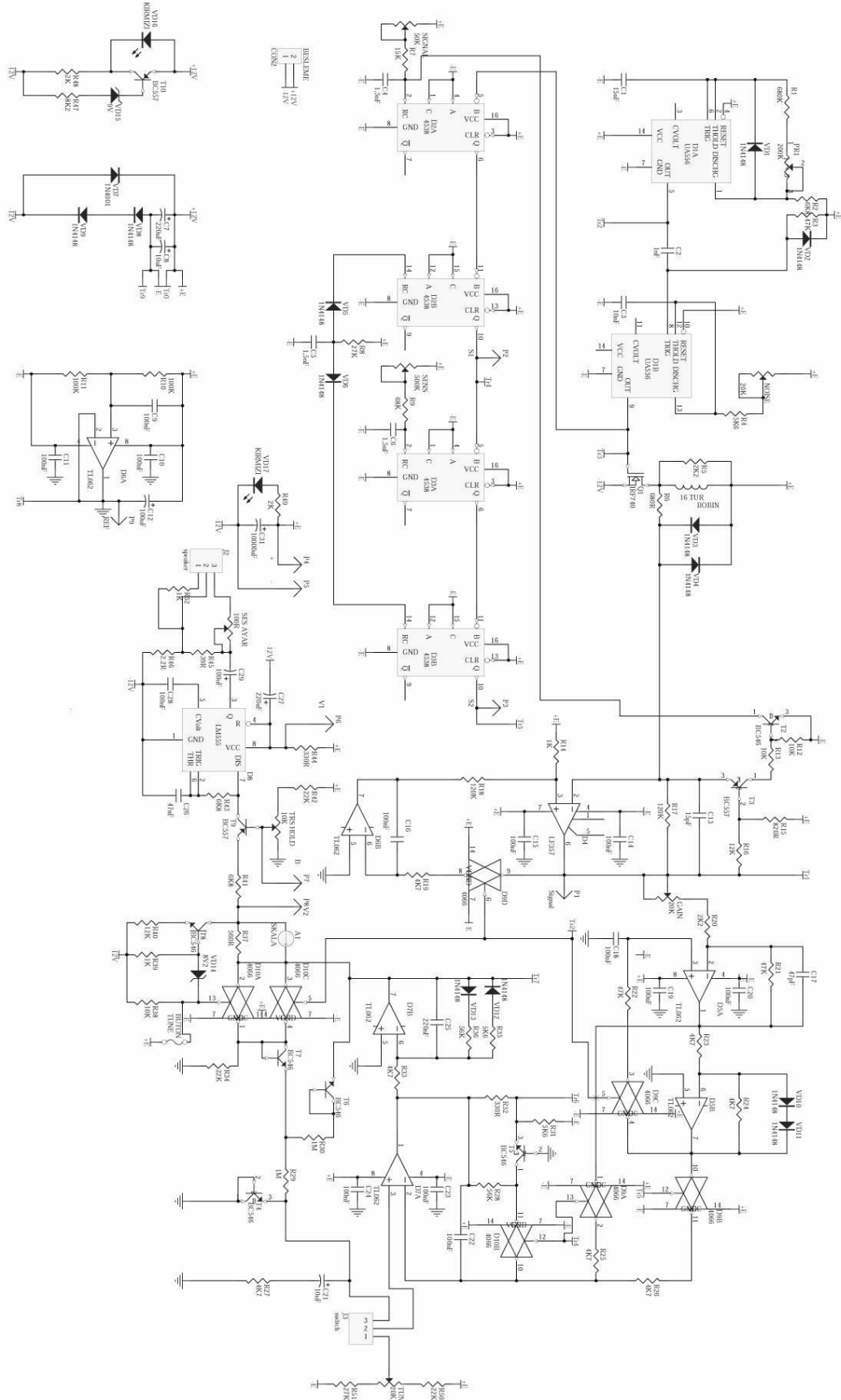


Şekil 5.7 : PI dedektör devresi üst görünüş



Şekil 5.8 : PI dedektör devresi alt görünüş

PI dedektörler yüksek mineralli, tuz oranı yüksek, demir madeni içeriği yüksek kayalardan, hot rock denen tuğlalardan, black sand adı verilen aşırı manyetik topraklardan etkilenmeyen yapısıyla mayın tarama için oldukça iyi bir seçimdir. Ayrıca daha yüksek frekanslarda başlığı daha hızlı gezdirebiliriz. Yüksek frekanslarda algılama derinliği düşük frekansa göre daha az olacaktır. Ama çalışılan derinlik az olduğu için bu, problem teşkil etmeyecektir.

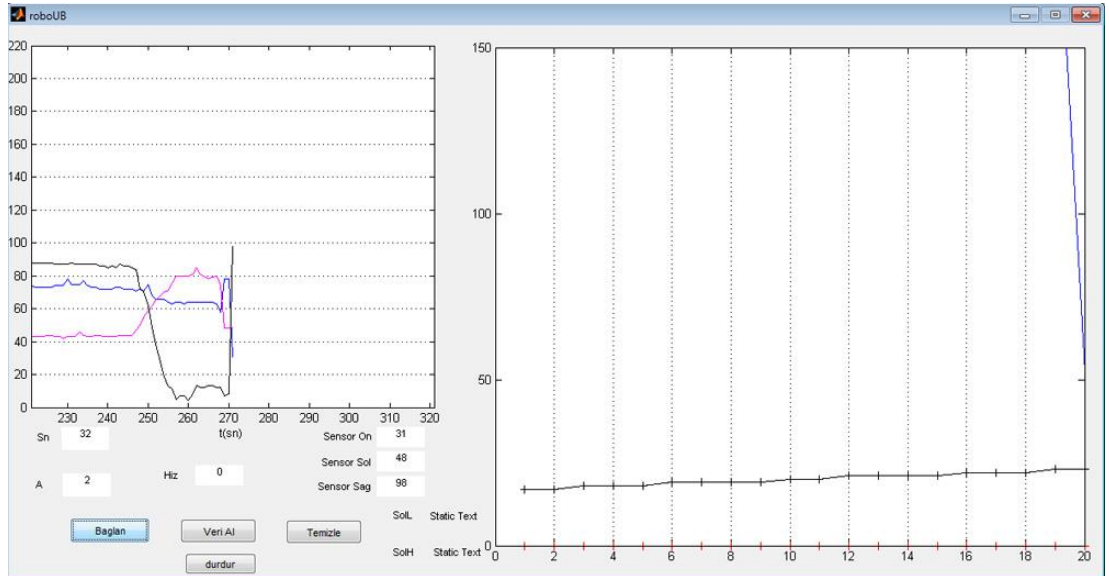


Şekil 5.9 : PI dedektör açık devre şeması

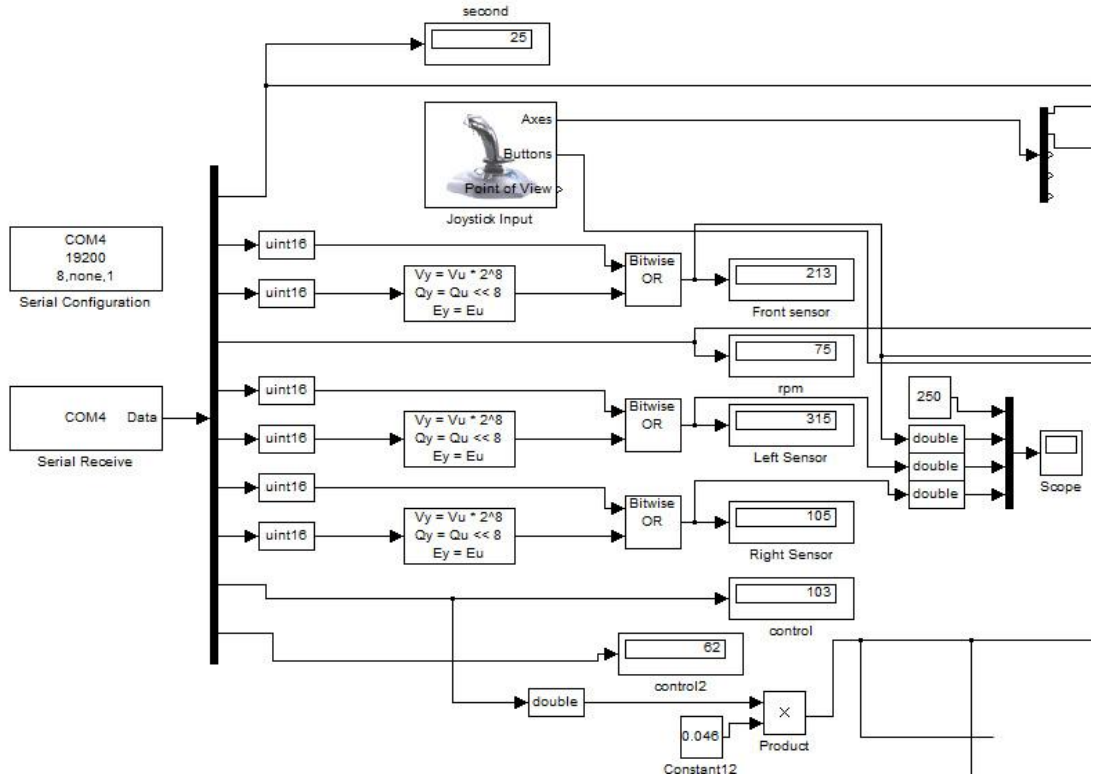
6. MATLAB SİMÜLASYONLARI

Bu bölümde robottan alınan veriler kullanılarak elde edilen sonuçlar değerlendirilecektir. Robot, mobil bir robot olduğu için veriler alınırken RF kablosuz iletişim modülü kullanılmak zorunda kalmıştır. Bu da veri toplamada çeşitli zorluklar çıkarmıştır. Bu zorlukların en önemlisi verinin havada kaybolması ve bilgisayara ulaşan veride eksiklikler olmasıdır. Bu, yazılımda yapılan optimizasyonlar sayesinde giderilmiş ve verinin kablolu iletişim ile aynı performansta aktarılması sağlanmıştır.

Bilgisayara aktarılan veri Matlab’de hem tasarlanan bir GUI’de hem de Simulink içinde kullanılmıştır. Tasarlanan GUI vasıtasıyla robotta kullanılan kontrol algoritmasının parametreleri belirlenmiştir. Simulink içinde ise robotun matematiksel modelinin çıkarılması, gerçek zamanlı robot kontrolü, gerçek zamanlı PD hız kontrol, gerçek zamanlı Fuzzy karar kontrol gibi uygulamalar gerçekleştirilmiştir. Matlab vasıtası ile veri sadece gerçek zamanlı olarak işlenmemiştir. Aynı zamanda robottan elde edilen veriler depolanarak çeşitli simülasyonlarda kullanılmıştır.



Şekil 6.1 : Matlab GUI



Şekil 6.2 : Matlab simulink veri alma kısmı

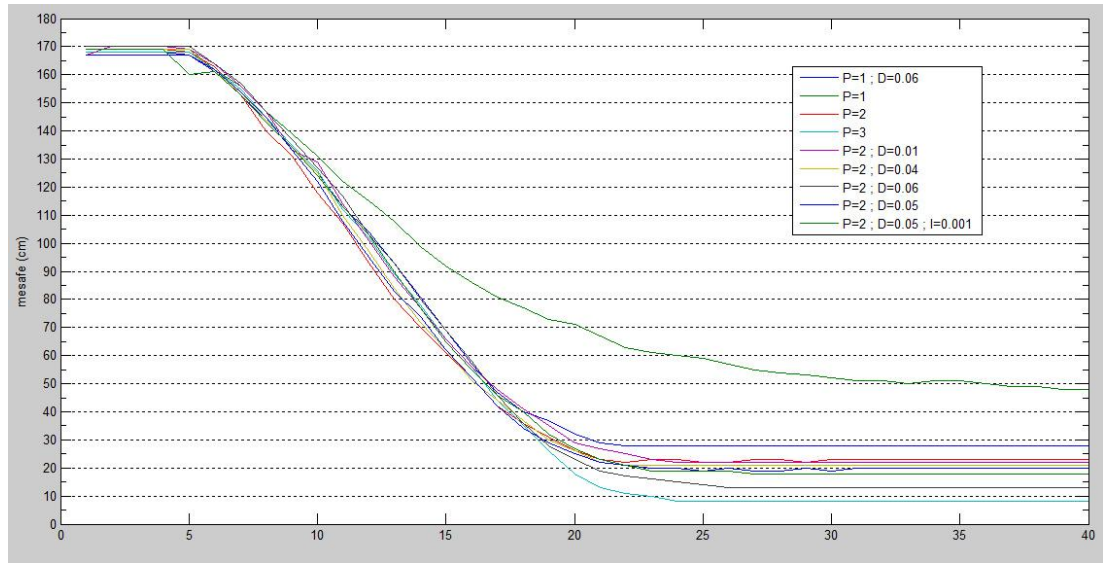
6.1 Matlab Simulink Hız Kontrol Simulasyonu

Robotun üzerindeki PIC mikrodeneleyici içindeki hız kontrol algoritmasına ek olarak, robottan simulink'e gönderilmiş olan anlık veriler kullanılarak bir hız kontrol simulasyonu gerçekleştirilmiştir. Bu kısımda, robottan gelen sensör bilgileri bir PID bloğuna giriş olarak uygulanmış, bloğun çıkışında ise robota gönderilecek olan PWM sinyali elde edilmiştir. Daha sonra bu sinyal simulinkten robota RF iletişim modülü ile gönderilmiştir. Kablosuz iletişim, kablo ile iletişime nazaran daha yavaş olmasına rağmen, düşük hızlarda simulinkten robot rahatlıkla kontrol edilebilmiştir.

Burada amaçlanan, robotun PIC mikrodeneleyici dışında bir bilgisayar tarafından kontrol edilmesini sağlamaktır. Bu deney şunu göstermiştir ki robota bir bilgisayar modüle edilerek ve bu sayede robot ile bilgisayar arasında kablolu iletişim sağlanarak robotun daha karmaşık algoritmaları gerçekleştirmesi sağlanabilir. Robotun ufak olması, normal bir taşınabilir bilgisayarı taşımasına engeldir. Ama günümüzde netbook olarak isimlendirilen daha ufak bilgisayarların mevcut olması bu ağırlık engelinin de aşılmasını sağlayacaktır.

Projenin ileriki aşamalarında robota bir netbook bağlanarak daha karmaşık algoritmalar robota uygulanabilir. Bu da robotun geliştirilmesinde önemli bir adım olacaktır.

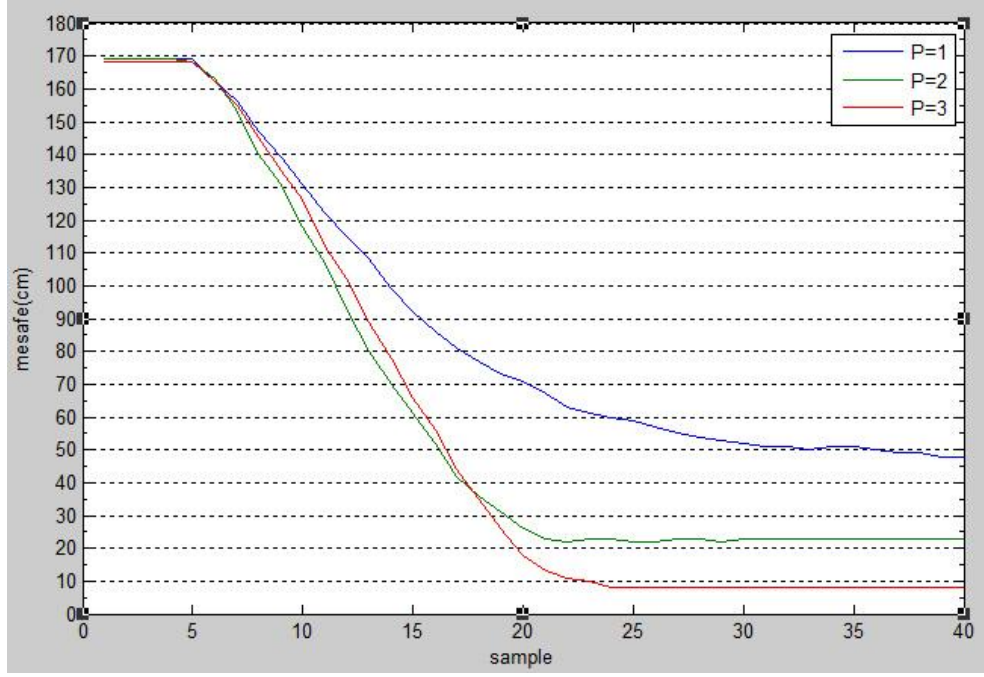
Hız kontrol, PID bloğu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. P oransal kontrol ile başlanarak PID kontrole kadar tüm kontroller simulinkte simüle edilmiş ve bu simulasyon sonucunda en uygun kontrol algoritması seçilmiş ve bu algoritmanın katsayıları bulunmuştur.



Şekil 6.3 : PID katsayıları

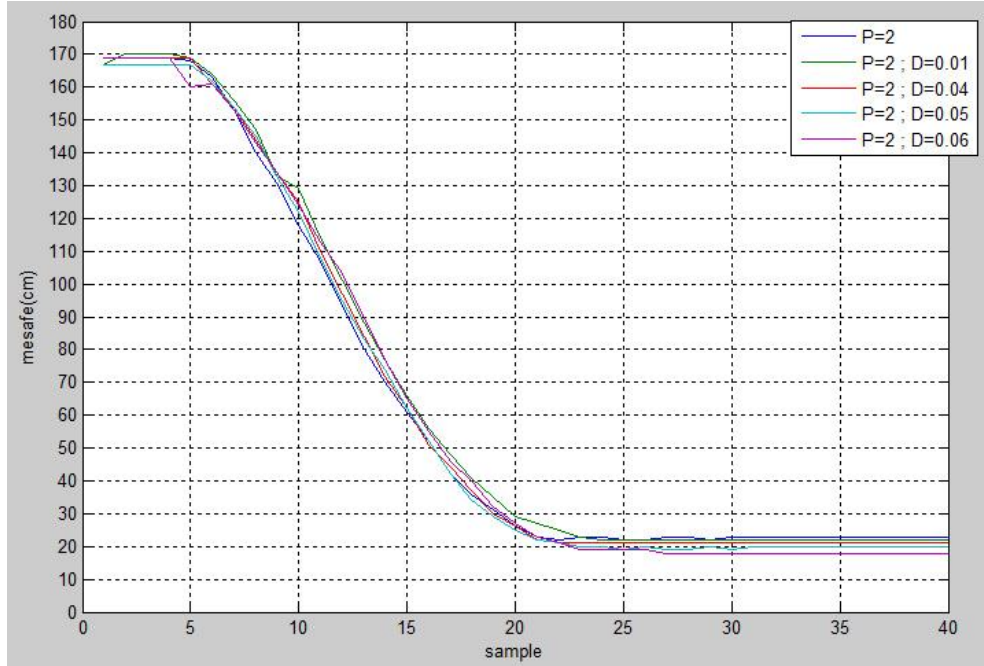
PID hız kontrol algoritmasının katsayılarını elde etmek için birçok yöntem mevcuttur. Fakat sistemin matematiksel modeli bilinmediği için ve sistemin çok hassas bir hız kontrolüne ihtiyaç duymamasından dolayı deneme yöntemi ile en uygun parametreler seçilmiştir.

İlk olarak robotun 20 cm'ye gelince durmasını sağlamak için uygun yazılım mikrodenetleyiciye yüklenmiştir. Deney sonucu robotun motorlarına giden voltajın, algılayıcıda 20 cm bilgisi elde edildiği an kesildiği bunun sonucu robotun 20 cm daha giderek önündeki engele çarptığı görülmüştür. Bundan sonraki kısımda robota P hız kontrolü uygulanmıştır. P=1, P=2 ve P=3 için sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil 6.4 : P katsayıları

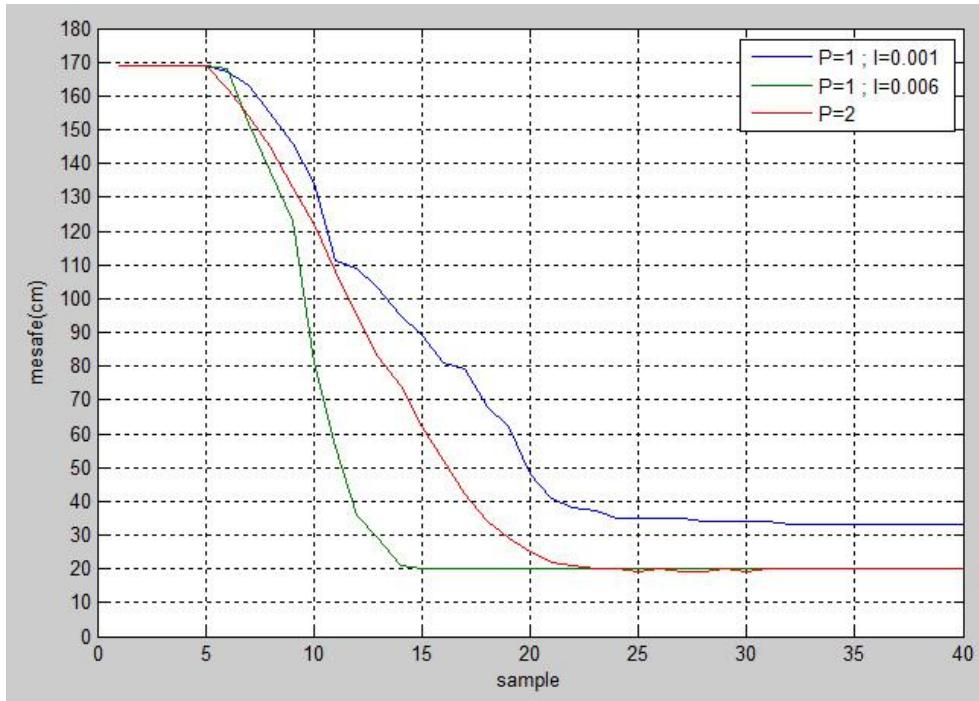
Şekil 6.4’te görüldüğü gibi $P=1$ durumunda robot engele ancak 50 cm kadar yaklaşabilmektedir. $P=2$ durumunda 23 cm yaklaşırken, $P=3$ durumunda 8 cm kadar yaklaşmıştır. Bu durumda P için 3 katsayısının iyi bir seçim olmayacağı görülür. $P=1$ ve $P=2$ için I ve D katsayıları gözden geçirilecektir.



Şekil 6.5 : PD katsayıları

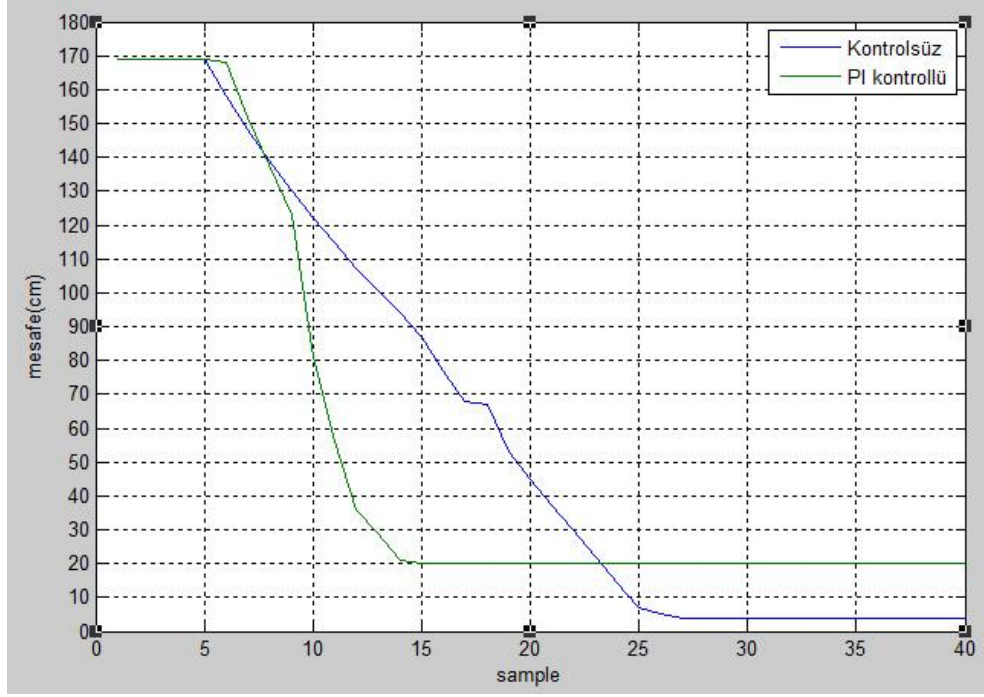
$P=2$ için D katsayısının çeşitli değerleri şekil 6.5’de görülmektedir. Bu şekilden de anlaşılacağı üzere D teriminin hız kontrol üzerinde çok da etkisi olmamaktadır. Şu an 20 cm’lik durma mesafesi $P=2$ için sağlanmıştır. Fakat o değere daha hızlı ulaşılmasını sağlamak için I değeri ile oynamak gerekmektedir. D değeri istenilen noktaya ulaşma hızı üzerinde çok da etkili değildir.

Öncelikle I değeri belirlenmeden, P değeri $P=1$ şeklinde ayarlanacaktır. Çünkü $P=2$ iken I değerinde oynama yapılırsa, arzulanan 20 cm değerinden daha ufak bir değerde robot duracaktır. I değerinde denemeler yapmak için $P=2$ yeterince uygun değildir. Şekil 6.6’da $P=1$ için çeşitli I değerleri görülmektedir.



Şekil 6.6 : PI katsayıları

Şekil 6.6’da karşılaştırmada kolaylık olsun diye $P=2$ değeri de eklenmiştir. Şekilde de görüldüğü gibi $P=1 ; I=0.006$ değerleri $P=2$ den daha hızlı yanıt vermektedir. Tüm bu durumları göz önüne alarak robotun hız kontrolünü PI kontrol şeklinde yapmak ve katsayıları da $P=1 ; I=0.006$ seçmek, en uygun seçim olacaktır. Şekil 6.7’de seçilen PI katsayıları ile kontrollü ve kontrolsüz robotun engel karşısındaki davranışı görülmektedir. Daha önce de belirttiğimiz gibi robotun hareketinde arzulanan, engele 20 cm kala robotun durmasıdır.



Şekil 6.7 : PI kontrollü ve kontrolsüz

6.2 Matlab Sistem Tanımlama

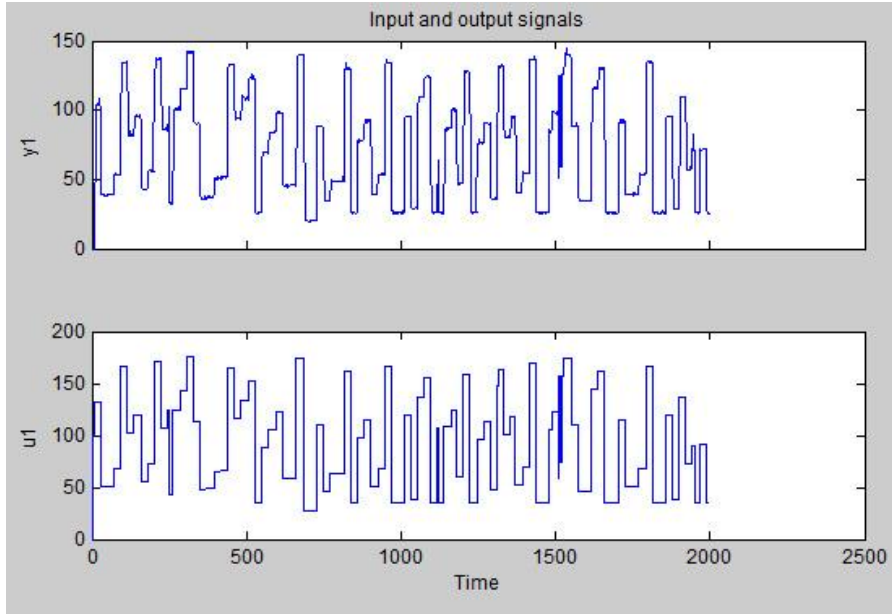
Bu bölümde hem Simulink hem de Matlab'in System Identification Toolbox'ının yardımı ile robotun modeli elde edilecektir. Robotun üzerindeki motorların ve algılayıcıların hiçbir parametresi bilinmediği için matematiksel modelini elde etmek ancak robottan elde edilen verilerin yorumlanması ile elde edilebilmektedir. Sistem, bir kara kutu modelidir. Yani birden fazla elemandan oluşmuş, karmaşık bir yapıdır. Fakat sadece girişine uygulanan sinyal ile, bu sinyal sonucunda vermiş olduğu tepki ölçülebilmektedir. Yani iç yapısında ne gibi değişiklikler olduğu ölçülememektedir.

Öncelikle robota uygulanacak giriş ve bu giriş sonucu gözlemlenecek çıkışa karar verilmesi gerekmektedir. Giriş olarak mikrodnetleyici tarafından motor sürücü devresine uygulanan pwm sinyali, çıkış olarak da enkoder tarafından ölçülen rpm değeri kullanılacaktır.

Aslında daha hassas bir modelleme için giriş olarak motora uygulanan voltaj değeri, çıkış olarak da enkoderden gelen devir bilgisi kullanılabilir. Fakat mikrodnetleyicinin tasarımı daha önceden yapıldığından mikrodnetleyicinin analog ölçüm için kullanılacak bacakları başka görevler için atanmıştır.

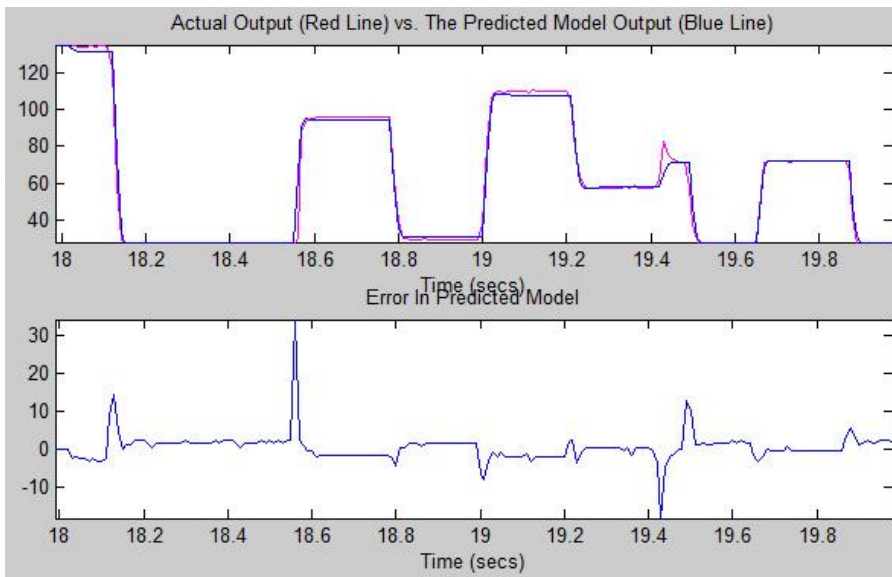
Bu bacaklar olmadan voltaj ölçümü yapılamayacağı için giriş ve çıkış belirtilen şekilde kullanılacaktır.

Şekil 6.8’de robottan elde edilen yüksüz giriş - çıkış verileri görülmektedir. Burada u1 girişi pwm sinyalıdır. y1 ise rpm çıkışıdır.



Şekil 6.8 : Yüksüz sistemimizin giriş ve çıkış verileri

Şekil 6.8’deki veriler robot yüksüz olarak çalıştırılırken rastgele uygulanan girişler ve sonucunda elde edilen çıkışlardan oluşmaktadır. Bu veriler elde edilip depolandıktan sonra kullanılmıştır.



Şekil 6.9 : Gerçek zamanlı sistem tanımlama

Bu yöntem dışında direkt Simulink içerisindeki sistem tanımlama bloğu ile gerçek zamanlı olarak da model oluşturulabilmektedir. Şekil 6.9’da gerçek zamanlı olarak elde edilmiş olan model çıkışının, gerçek sistemden elde edilen çıkış ile karşılaştırılması görülmektedir.

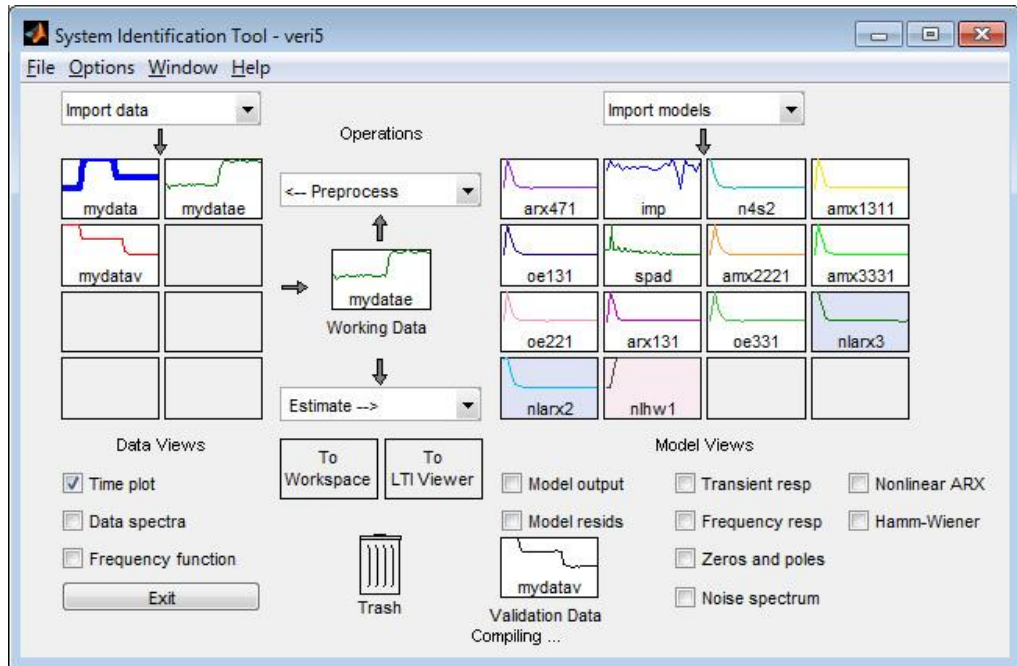
Şekil 6.9’daki birinci grafikte kırmızı çizgi gerçek sistemin verdiği gerçek zamanlı çıkış iken, mavi çizgi ise oluşturulan modelin verdiği çıkıştır. İkinci grafik ise modelin gerçek sisteme göre hatasını göstermektedir.

Simulink üzerinde yapılan bu modellemeye ARX model seçilmiştir. Model parametreleri ise $na=1$, $nb=4$, $nk=1$ seçilmiştir. Bu değerler tamamen model cevabının gözlenmesi ve deneme yanılma ile seçilmiştir.

Bu şekilde Simulink üzerinden yapılan modelleme fikir vermesi açısından yeterli olsa bile elde edilen model hakkında detaylı bilgi elde edilemediği için kullanışlı değildir.

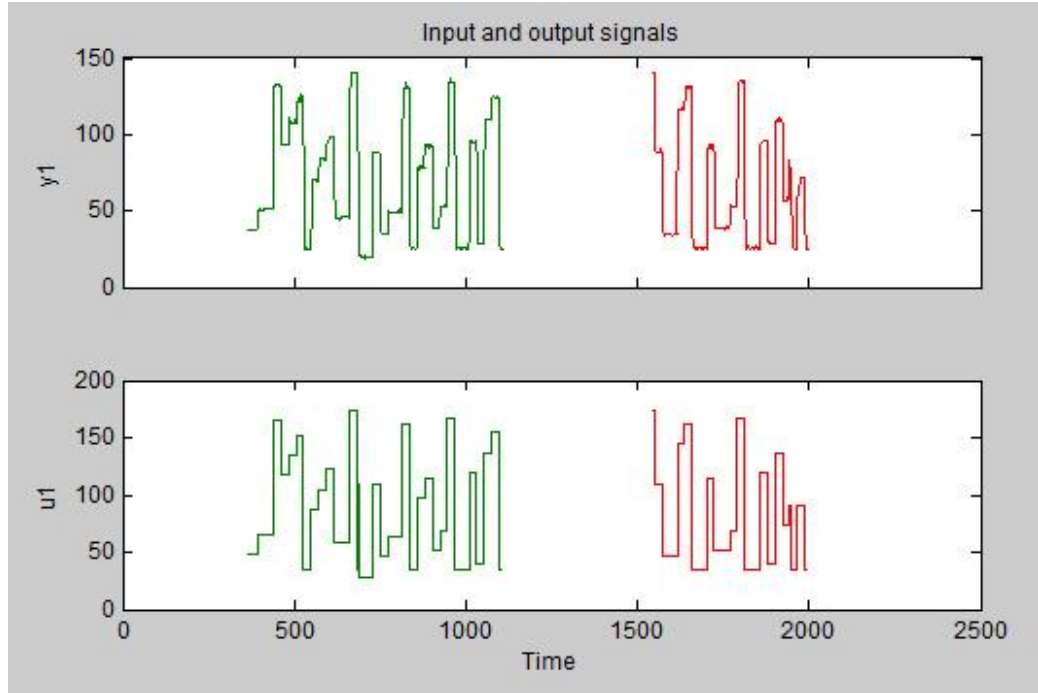
6.2.1 Matlab system identification toolbox ile model oluşturma

Bu kısımda model oluşturmak için Matlab’ın bu iş için oluşturduğu GUI yazılımı kullanılmıştır. Şekil 6.10’da görülen arayüze öncelikle şekil 6.8’de görülen giriş – çıkış verileri yüklenmiştir.



Şekil 6.10 : Matlab system identification arayüzü

Öncelikle yüklenen verilerden iki parça seçilmiştir. Bu parçalardan birisi, model hesaplama; diğeri ise model doğrulama için kullanılmıştır.



Şekil 6.11 : Model hesaplama ve onaylama verileri

Şekil 6.11’de görülen veri parçalarından yeşil olan model hesaplama için, kırmızı olan ise model onaylama için kullanılmıştır.

Üzerinde çalışılan veriler seçildikten sonra değişik yöntemler ile sisteme ait en uygun model elde edilmeye çalışılmıştır. Sistem modellemede sık kullanılan parametrik model yapıları arasında ARX, ARMAX (Auto Regressive Moving Average with eXogeneous inputs), ARMA (Auto Regressive Moving Average), Box-Jenkins (BJ) ve Çıkış Hatası (Output Error-OE) gibi birçok yapı bulunmaktadır. İlk olarak ARX model yapısı kullanılmıştır.

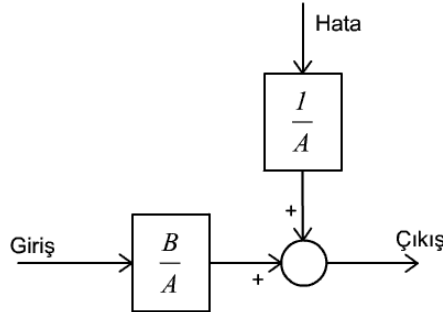
6.2.2 ARX model yapısı ve model elde etme

ARX modelin diferansiyel denklemi denklem 6.1’deki gibidir.

$$A(q)y(t) = B(q)u(t - nk) + e(t) \quad (6.1)$$

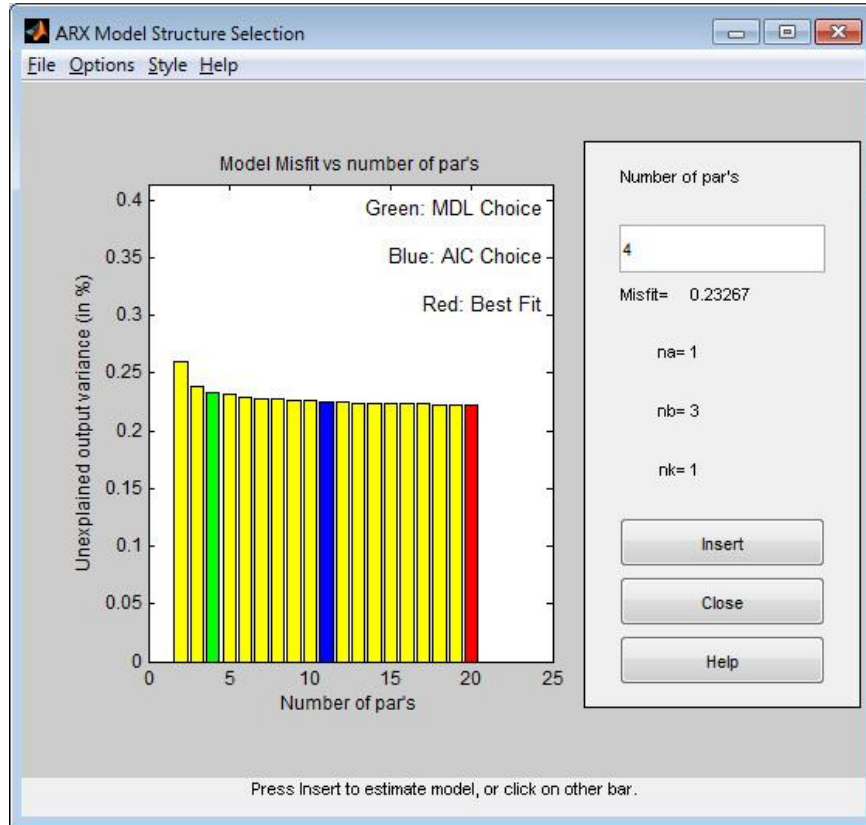
Burada q , zamansal kaydırma operatörünü, $y(t)$, çıkış işaretini, $u(t-nk)$ giriş işaretini, $e(t)$ ise model hatalarını simgelemektedir.

t, tam sayı olarak örnekleme anını, nk ise giriş-çıkış arasındaki gecikmeyi ifade etmektedir. na, modele çıkış işaretinin kaç örnekleme zamanı gerisine kadar olan kısmının katılacağını, nb ise modele giriş işaretinin kaç örnekleme zamanı gerisine kadar olan kısmının katılacağını göstermektedir. na+nb değeri, model mertebesi olarak isimlendirilmektedir.



Şekil 6.12 : ARX model yapısı

Modeldeki na ve nb'yi belirlemek için na, nb ve nk'nın 1:10 arasındaki değerler için model mertebesine karşılık model tarafından açıklanamayan çıkışların varyansına bakılır.

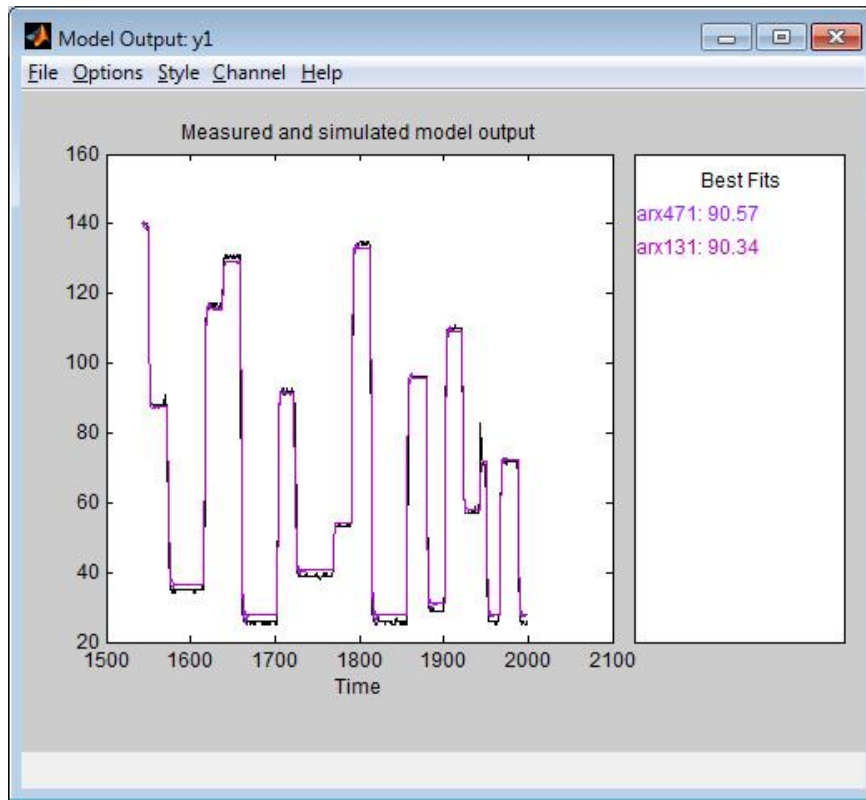


Şekil 6.13 : Model yapısının seçimi

Şekil 6.13'te görüldüğü gibi onaylama verileri kullanılarak 3 farklı yöntem ile parametre seçimi yapılmıştır. En uygun parametre sayısı 20 olarak görünse de varyansların birbirlerine yakın değerlere sahip olduğu göz önünde bulundurularak toplam parametre sayısı olarak 4 seçilmiştir. Bu durumda $n_a=1$, $n_b=3$, $n_k=1$ olacaktır.

ARX131 (yeşil) şeklinde isimlendirilen yapı, yapılan kestirim sonucu elde edilmiştir. Bunun dışında diğer bir uygun model yapısı, toplam parametre sayısı 11 olan ARX471(mavi) olarak görünmektedir.

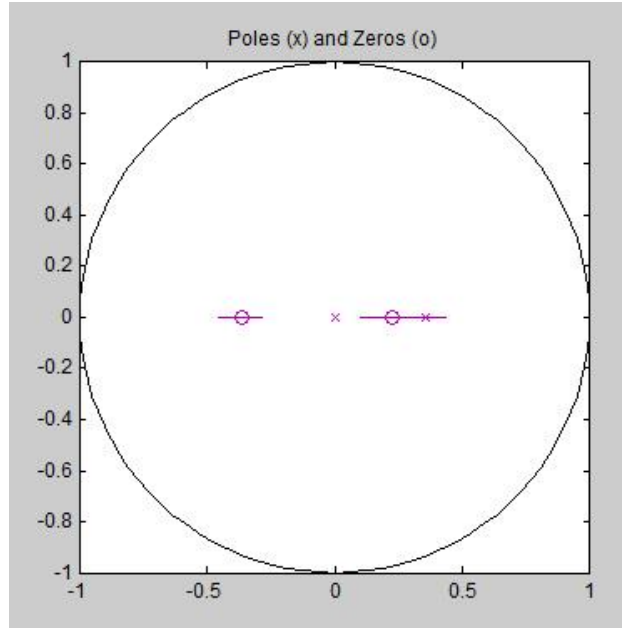
Bu iki yapıdan kestirim ile iki model elde edilmiştir. Şekil 6.14'te bu iki modelin karşılaştırması görülmektedir.



Şekil 6.14 : ARX modellerin karşılaştırılması

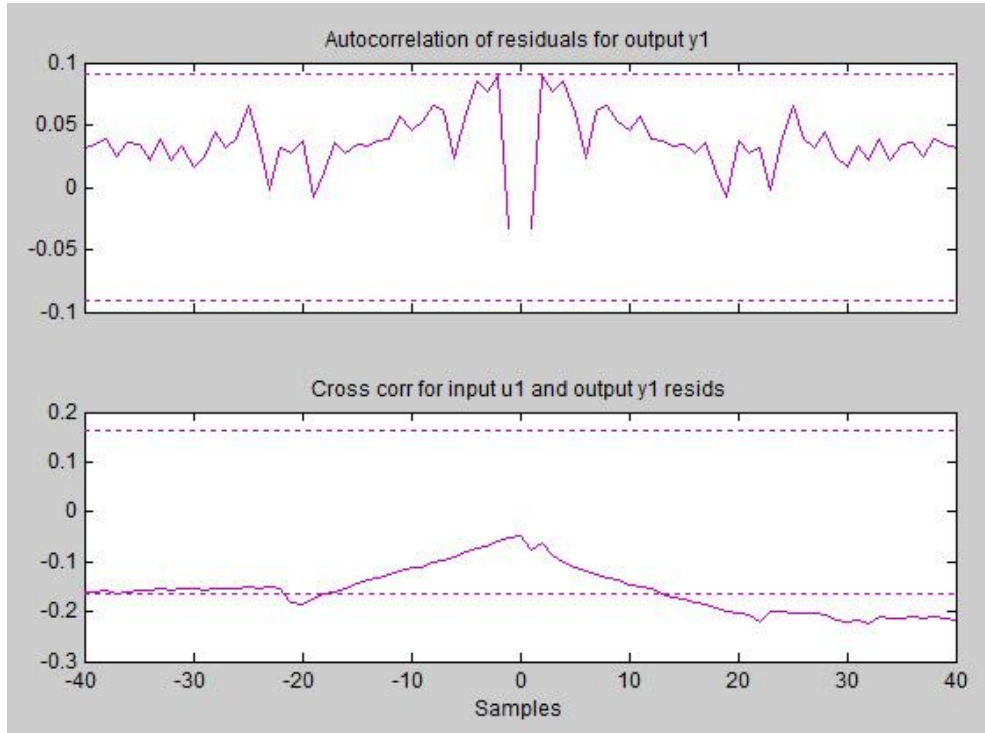
Şekil 6.14'te sistemin gerçek çıkışına karşı elde edilen iki modelin verdiği çıkış görülmektedir. Bu iki modelin başarı yüzdeleri ARX131 için % 90.34 iken ARX471 için % 90,57 olarak elde edilmiştir. Elde edilen bu verilere göre ARX yapısı için en uygun parametre sayısı, başarı oranlarının birbirine çok yakın olduğu göz önünde bulundurularak 4 olarak seçilmelidir. Yani ARX131 daha az parametre sayısı ve yüksek başarı oranı ile ARX471'e göre daha uygun bir modeldir.

ARX131 yapısından elde edilen modelin pole-zero'ları şekil 6.15'te görülmektedir. Kökler, birim çemberin içinde olduğu için elde edilen model kararlıdır denilebilir.



Şekil 6.15 : ARX131 modelinin pole-zero birim çemberi

Pole-zero analizinden sonra modelin çıkış verileri için otokorelasyon ve çapraz korelasyon analizleri yapılmıştır.



Şekil 6.16 : ARX131 modelinin otokorelasyon ve çapraz korelasyon analizi

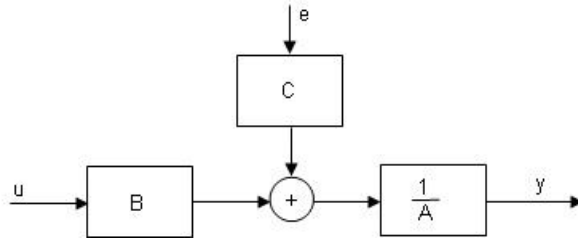
Şekil 5.16'daki otokorelasyon analizine bakıldığında modelin istenilen %95 güven aralığının içinde kaldığı görülebilmektedir. Fakat aynı durum, modelin çapraz korelasyon analizi için geçerli değildir. Bu durum, modelin yanlış seçilmesinden kaynaklanabileceği için başka bir model denenecektir.

6.2.3 ARMAX model yapısı ve model elde etme

ARMAX modelin diferansiyel denklemi denklem 6.2'deki gibidir.

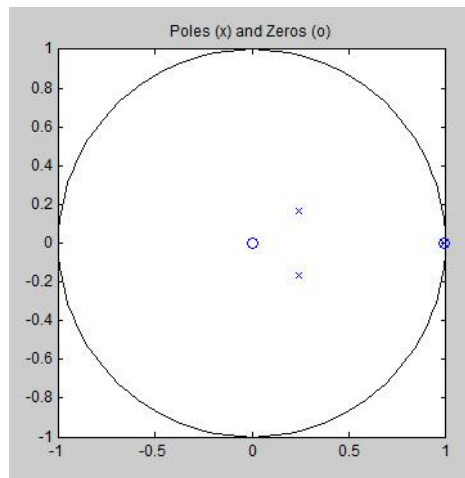
$$A(q)y(t) = B(q)u(t - nk) + C(q)e(t) \quad (6.2)$$

Bu yapıda ARX modele ek olarak çıkışı etkileyen daha önceki hata terimleri de sisteme eklenmiştir. nc, modele hata işaretinin kaç örnekleme zamanı gerisine kadar olan kısmının katılacağını belirtmektedir.



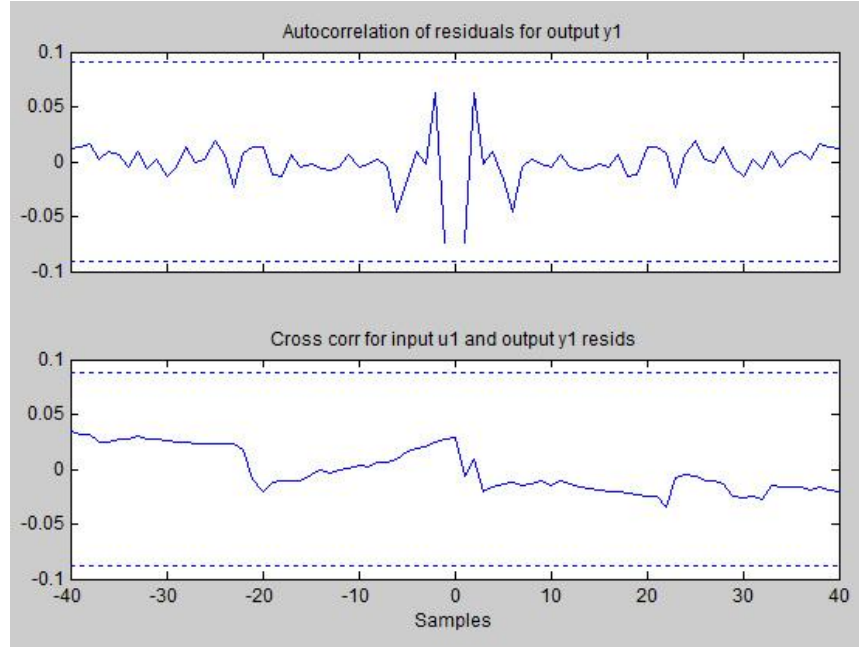
Şekil 6.17 : ARMAX model yapısı

ARMAX modelinin parametreleri birkaç deneme sonunda na=3, nb=2, nc=2, nk=1 olarak belirlenmiştir. Bu durumda elde ettiğimiz modelin pole sayısı 3, zero sayısı 1 olacaktır. Model, ARMAX3221 şeklinde isimlendirilmiştir.

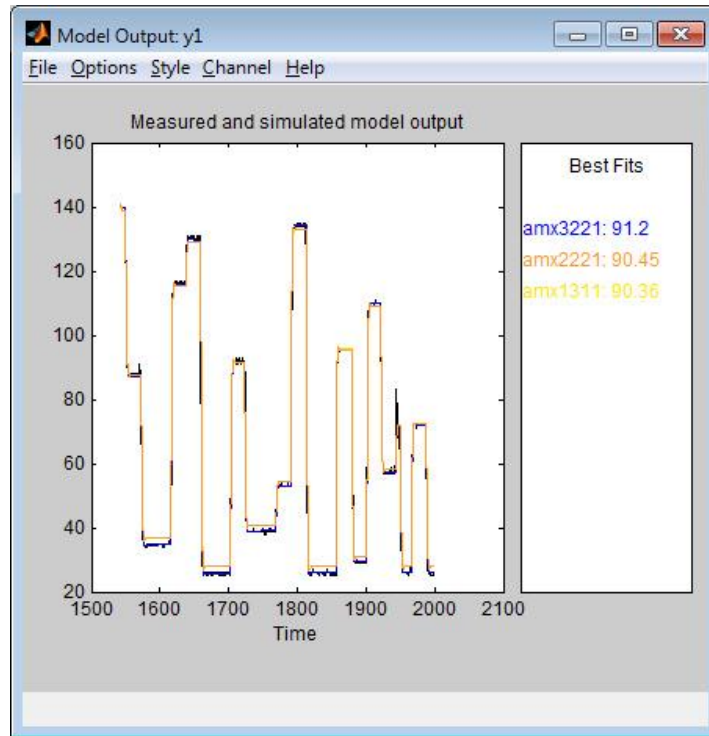


Şekil 6.18 : ARMAX3221 modelinin pole-zero birim çemberi

Şekil 6.18’de görüldüğü gibi sistemin kökleri birim çemberin içinde olduğu için sistem kararlıdır. Şekil 6.19’daki otokorelasyon ve çapraz korelasyon analizine bakıldığında, modelin istenilen %95 güven aralığının içinde kaldığı görülebilmektedir.



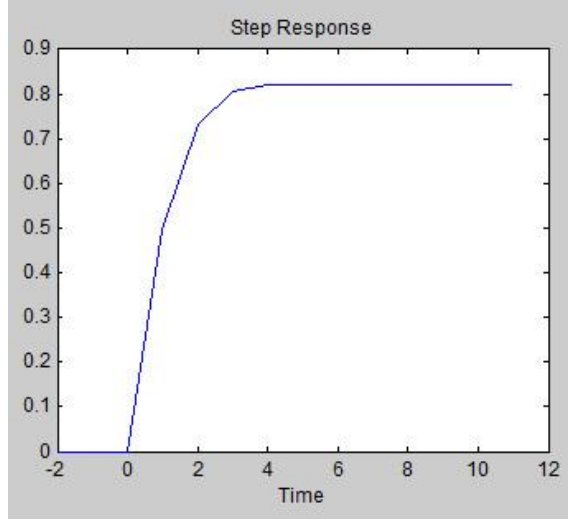
Şekil 6.19 : ARMAX322 otokorelasyon ve çapraz korelasyon analizi



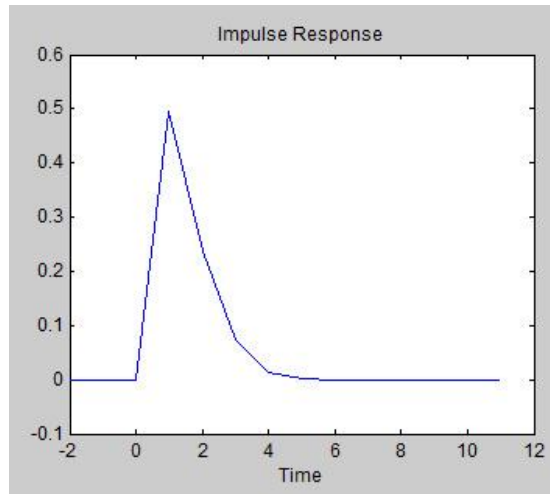
Şekil 6.20 : ARMAX modellerin karşılaştırılması

Şekil 6.20’de görüldüğü gibi ARMAX3221, test edilen diğer modellere göre daha iyi sonuç vermiştir. Ayrıca %91,2’lik kestirim ile model daha önce incelenen ARX131’in %90,34’lük kestirim değerinden de iyi bir sonuç vermiştir.

ARMAX3221 modelinin geçici cevapları şekil 6.21 ve şekil 6.22’de görülmektedir.



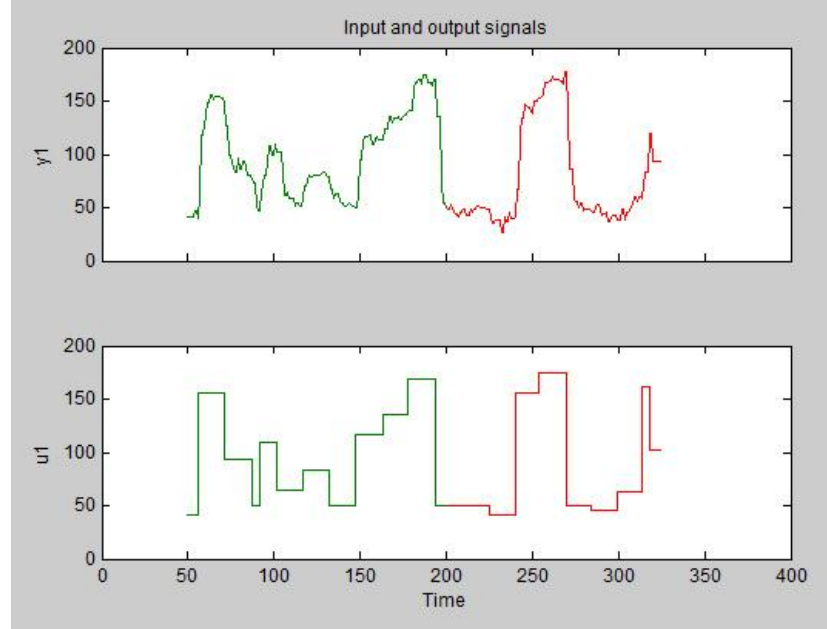
Şekil 6.21 : ARMAX3221 modelinin adım cevabı



Şekil 6.22 : ARMAX3221 modelinin impuls cevabı

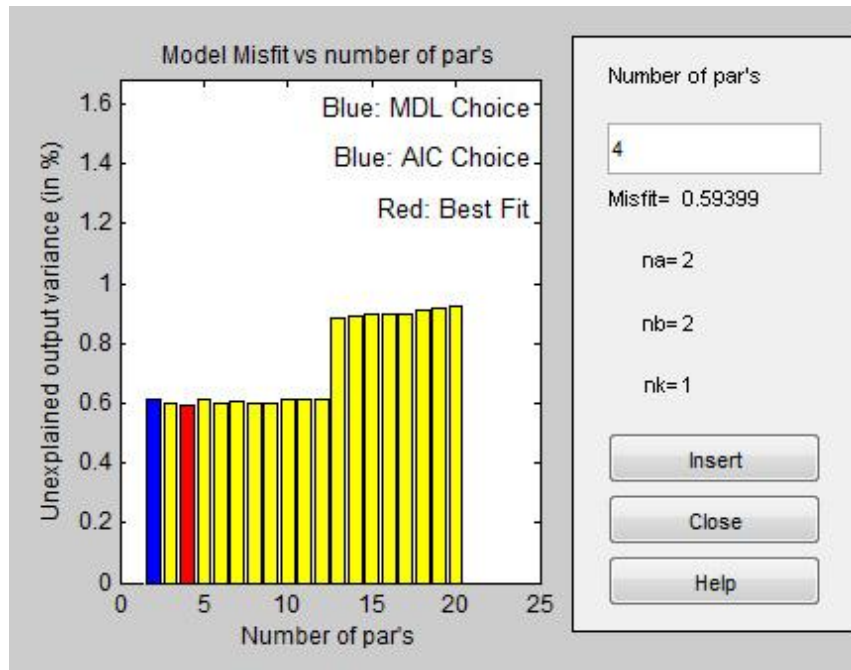
Sonuç olarak denenen tüm modeller arasında sisteme en yakın cevabı veren ARMAX3221 modeli elde edilmiştir. Bu noktadan sonra robot; gerek simulink’te olsun gerek Matlab’de olsun, elde edilen model ile simüle edilebilecektir.

Şekil 6.23'deki veriler robot yüklü olarak çalıştırılırken rastgele uygulanan girişler ve sonucunda elde edilen çıkışlardan oluşmaktadır. Bu verileri robotun yüklü sistem modelini elde etmek için kullanılmıştır.



Şekil 6.23 : Yüklü model hesaplama ve onaylama verileri

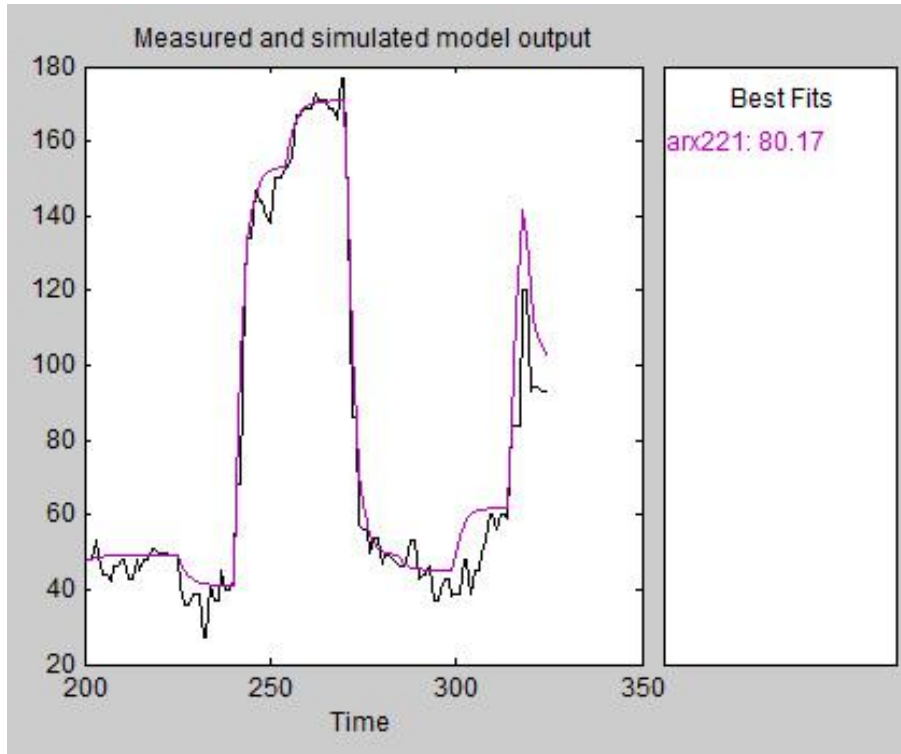
Şekil 6.23'de görülen veri parçalarından yeşil olan model hesaplama için, kırmızı olan ise model onaylama için kullanılmıştır.



Şekil 6.24 : Yüklü sistemin model yapısının seçimi

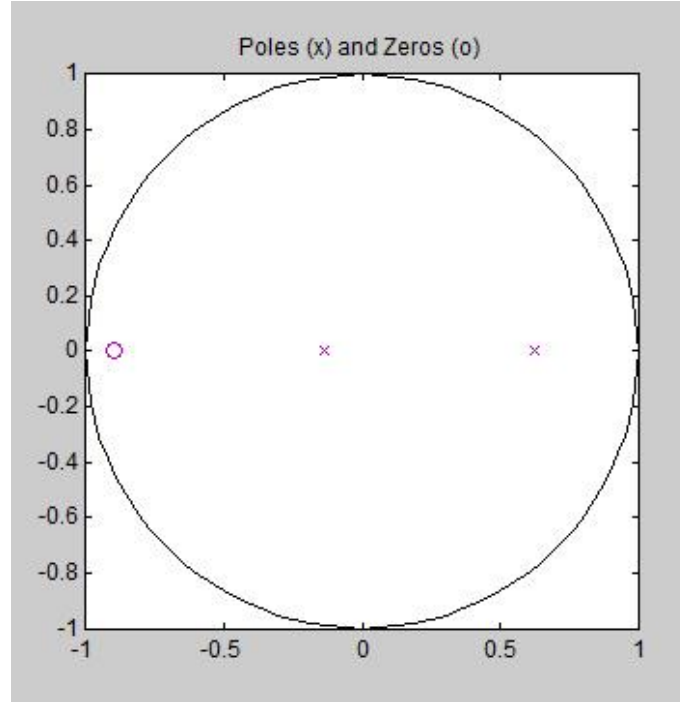
Yüklü sistemin ARX modelini elde etmeden önce sistemin model mertebesi ve parametreleri belirlenmiştir. Bunun için şekil 6.24’de görülen matlab sistem tanımlama GUI’ini kullanılmıştır. Bu GUI’de sistemin na, nb ve nk parametreleri 1 ila 10 arasında değiştirilerek denemeler yapılmıştır. Üç adet değişkenimiz olduğu için 1000 adet model denemesi gerçekleştirilmiştir. Bunlardan en uygun olanı kırmızı ile gösterilen model mertebesi olmuştur.

Sistemin model mertebesi dört seçilmiştir. Buna bağlı olarak na=2, nb=2, nk=1 seçilmiştir. Bu durumda elde ettiğimiz modelin pole sayısı 2, zero sayısı 1 olacaktır. Model, ARX221 şeklinde isimlendirilmiştir.

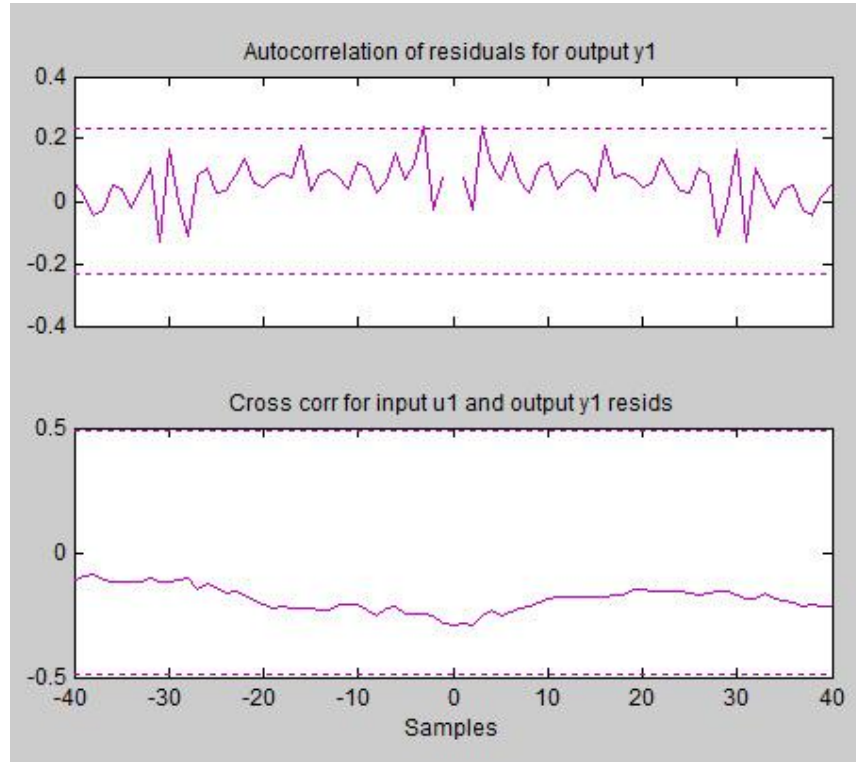


Şekil 6.25 : Yüklü ARX221 model çıkışı

Model ARX221 %80,17’lik bir başarı ile kestirim yapmıştır. ARX modelde değişik parametreler ile yapılan denemelerde bundan daha iyi bir sonuç elde edilememiştir. bir sonraki aşamada modelin geçerlilik analizi yapılmıştır. Şekil 6.26’da, elde edilen modelin pole ve zero’larının birim çember içinde oldukları görülmektedir. Şekil 6.27’deki otokorelasyon ve çapraz korelasyon analizine bakıldığında, modelin istenilen %95 güven aralığının içinde kaldığı görülebilmektedir.

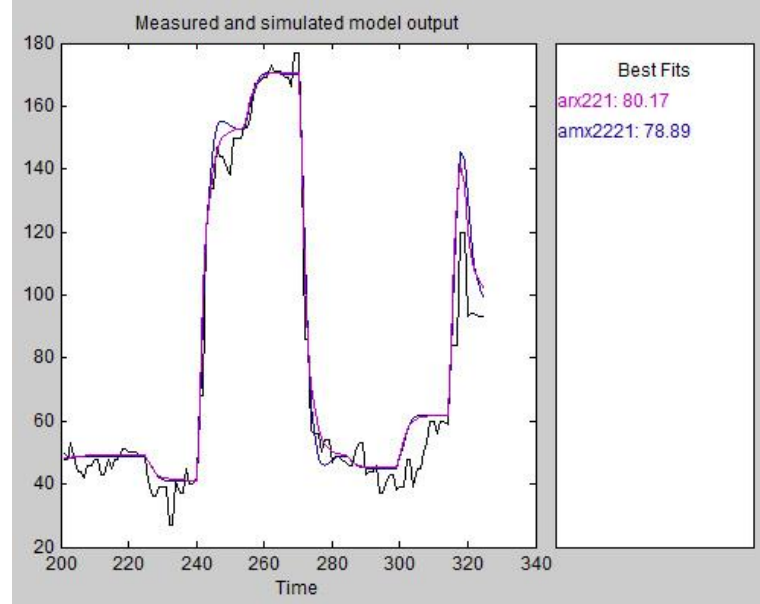


Şekil 6.26 : Yüklü ARX221 modelinin pole-zero birim çemberi

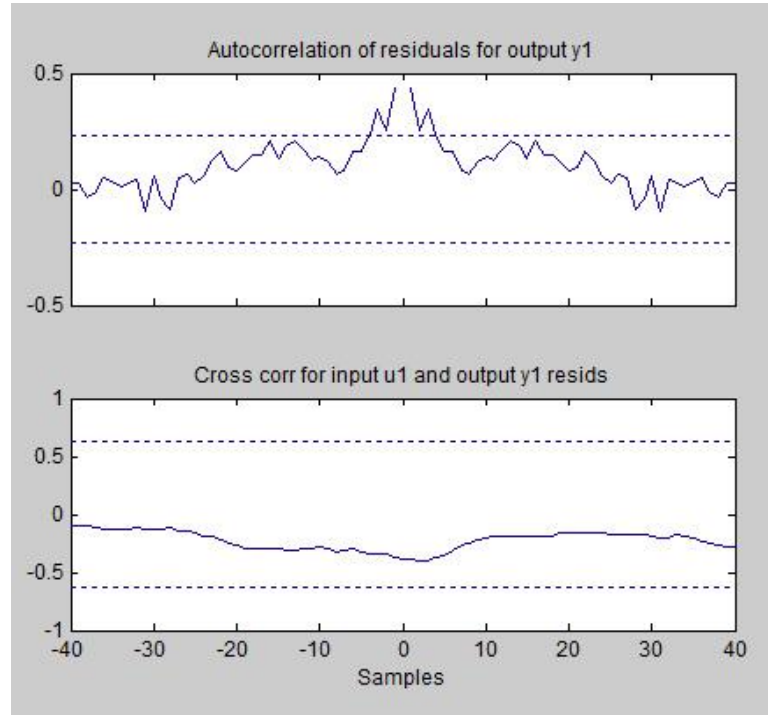


Şekil 6.27 : Yüklü ARX221 otokorelasyon ve çapraz korelasyon analizi

ARMAX2221 modelinin çıkışı şekil 6.28’de gösterilmiştir. Bu modelin %78,89’luk kestirim başarısı ile ARX221’den kötü bir performans gösterdiği görülmektedir. Ayrıca ARMAX2221 modelinin otokorelasyon değerlerinin %95 güven aralığı içerisinde kalmadığı da görülmektedir. Bu yüzden elde edilen bu model geçerli bir model değildir.



Şekil 6.28 : Yüklü ARMAX221 model çıkışı



Şekil 6.29 : Yüklü ARMAX2221 otokorelasyon ve çapraz korelasyon analizi

7. SONUÇ

Projede otonom ve yarı otonom olarak hareket edebilen bir mayın tarama robotu tasarlanmıştır. Otonom olarak hareket edebilmesi ultrasonik algılayıcılar, enkoder ve pusula sayesinde olurken, yarı otonom hareketinde asıl kontrol bir operatördedir. Yarı otonom kontrolde algılayıcılar ve diğer donanımlar operatöre karar almasında yardımcı olmak üzere programlanmıştır.

Mobil robotun hız kontrolü PI kontrolör ile gerçekleştirilmiş, algılayıcılardan gelen veriler ile ikili konum kontrolü sayesinde konum kontrolü yapılmıştır. Ayrıca Matlab üzerinden gerçek zamanlı kontrol de denenmiştir.

Mayın tarama robotu şeklinde tasarlanmış olan mobil robot, üzerine yerleştirilmiş dedektör sayesinde bir plan çerçevesinde mayınlı alan taraması veya operatör kontrolünde alan taraması yapabilmektedir.

Mobil robot geliştirilmeye açık şekilde tasarlanmıştır. Bundan sonraki aşamada robotun geliştirilmesi için birçok çalışma yapılabilir. Mayının bulunduğu bölgeyi işaretleyebilir, başlangıç konumuna göre bulunduğu yeri bildirebilir, pilin azaldığı durumda operasyon merkezine geri dönebilir, robotun enkoder ve pusulası kullanarak başlangıç noktasına göre bulunduğu konum hesaplanabilir. (dead reckoning). Enkoder ve pusuladan kaynaklanacak olan hesap hatalarının Kalman filtresi ile giderilmesine çalışılabilir, arkasındaki bobin çubuğunun motor tahriki ile tarama alanına gidince otomatik olarak indirilebilmesi sağlanabilir. Matlab'a gönderilen veriler ile gerçek zamanlı olarak robotun Simulink üzerinde Fuzzy Logic ile yön kontrolü yapılabilir. Üzerine eklenecek 3 eksenli jiroskop vasıtasıyla robotun konumunun belirlenmesi daha da kolaylaştırılabilir.

KAYNAKLAR

- Bilgin, A.,** 2003. A Simulation Model of Indoor Environments for Ultrasonic. *Master Thesis*, Bilkent University, Ankara
- Borenstein, J., Everett, H. R., Feng, L., and Wehe, D.,** 1997. Mobile Robot Positioning – Sensors and Techniques. *Invited paper for the Journal of Robotic Systems, Special Issue on Mobile Robots*. Vol. **14** No. 4, pp. 231 – 249.
- Chia, J. W., and Ching, C. T.,** 2001. Localization of An Autonomous Mobile Robot Based on Ultrasonic Sensory Information. *Journal of Intelligent and Robotic Systems* 30: 267–277, 2001. Kluwer Academic Publishers. Printed in the Netherlands.
- Çiçek, S.,** 2009. *CCS C ile PIC Programlama*. Altaş, İstanbul
- Çölkesen, R.,** 1993. *İşte C, Sistem Yayıncılık ve Matbaacılık*, İstanbul
- Gün, A.,** 2007. The Position Control of The DC Machine by PID Algoritm and Training with Adaptive Neuro Fuzzy Inference System. *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, Sayı 14, Aralık 2007
- Kuo, C.B.,** 1999. *Automatic Control Systems*, John Wiley & Sons, Inc, New York
- Nehmzow, U.,** 2006. *Scientific Methods in Mobile Robotics*. Springer, Germany
- Ohyo, A., Ohno, T and Yuta, S.,**1996, X. Obstacle Detectability of Ultrasonic Ranging System and Sonar Map Understanding, *University of Tsukuba, Tsukuba*
- Wescott, T.,** 2006. *Applied Control Theory for Embedded Systems*, Newnes, USA
- Wijk, O.,** 2000. Triangulation-Based Fusion of Sonar Data with Application in Robot Pose Tracking, *IEEE Transaction on Robotics and Automation*, 16, 740-752.
- Yılmaz, N., Sağiroğlu, Ş., and Bayrak, M.,** 2005. Mobil Robotlar için PID Pozisyon Kontrollü Ultrasonik Mesafe Ölçüm Sisteminin Tasarımı ve Gerçekleştirilmesi, *Elektrik, Elektronik, Bilgisayar Mühendisliği 11. Ulusal Kongresi ve Fuarı*, 22-25 Eylül 2005, s199-202, İstanbul.
- Ertuğrul, M., Kaynak O., and Akın H.L.,** Mayın Tarama Robotu

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Onur Ulaş Baysallı

Doğum Yeri ve Tarihi: Salihli, 09.07.1979

Lisans Üniversitesi: Yıldız Teknik Üniversitesi