

GEZGİN ROBOT DİZGELERİNDE ÇEVRE
ALGILAMA VE YÖNLENDİRME
SORUNUNUN İNCELENMESİ VE
GERÇEKLENMESİ
ERHAN BERGİL
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK
MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

T.C

ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GEZGİN ROBOT DİZGELERİNDE ÇEVRE ALGILAMA VE YÖNLENDİRME
SORUNUNUN İNCELENMESİ VE GERÇEKLENMESİ

ERHAN BERGİL

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

AKADEMİK DANIŞMAN

Yrd. Doç. Dr. ABDULLAH SEZGİN

SAMSUN - 2009

T.C
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Bu çalışma jürimiz tarafından 07/10/2009 tarihinde yapılan sınav ile Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Yrd. Doç. Dr. Muammer ÖZDEMİR

Üye : Doç. Dr. Şamil IŞIK

Üye : Yrd. Doç. Dr. Abdullah SEZGİN

ONAY :

Yukarıdaki imzaların adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım.

.../.../2009

Prof. Dr. Hasan GÜMÜŞ
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ÖZ

Gezgin robotlar denetimleri çok zor olan robot türleridir. Bir yüzeye sabitlenmedikleri için bütün konum bilgileri bağlıdır. Bu nedenle gezgin robotların işlevlerini gerçekleştirebilmeleri için buldukları konumu bilmeleri gerekmektedir. Bu konumlandırma işleminin doğru bir biçimde yapılabilmesi için robotun çalıştığı bölgenin hatasız bir şekilde algılanması gerekmektedir.

Robot konumunun belirlenmesi için mutlak veya göreceli ölçme yöntemleri kullanılmakta olup, kullanılan algılayıcılara bağlı olarak bazı güçlüklerle karşılaşmaktadır. Algılayıcı çıkışlarının doğrusal olmaması, çalışma aralıklarının kısıtlı olması ve belirli giriş aralıklarında duyarsız kalmaları bu güçlükler örnek olarak gösterilebilir. Algılayıcı çıkışlarını değerlendirecek olan denetleyicilerin yetenekleri de dizgenin performansını etkilemektedir.

Bu araştırmada mutlak konum ölçme becerisine sahip gezgin bir robot dizgesi tasarlanmış olup, çevre algılamada yaşanan güçlükler irdelenmiştir. Oluşturulan gezgin robot üzerine 3 adet kızılötesi mesafe algılayıcısı yerleştirilmiştir. Robotun mekaniğini gezgin taban ve hareket aksamaları oluşturmaktadır. Denetleyici olarak PIC16F877 mikrodenetleyicisi kullanılmıştır. Gezgin robotun denetimi için gerekli program Micro C derleyicisi kullanılarak yazılmıştır.

Çalışma ortamı olarak robotun içerisinde hareket edebileceği bir labirent oluşturulmuştur. Yapılan çalışmada amaç bu labirent içerisinde robotun duvarlara çarpmadan ilerlemesi ve çıkış noktasına ulaşmasının sağlanmasıdır. Konum bilgisine ulaşmak için farklı yöntemler kullanılarak algılayıcı çıkışı doğrusallaştırılmış, elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak robotun çevre algılama becerisinin artırılması sağlanmıştır.

Anahtar Sözcükler: gezgin robot, mikrodenetleyici, konum algılayıcılar, konum ölçümü, doğrusallaştırma, eğri uydurma.

ABSTRACT

Mobile robots are the extremely difficult controlled types of robot. Since they cannot be fixed on the surface, all of their location information is relative. Therefore, in order to perform their function, they need to know their location. In order to perform this positioning process appropriately, the robot's running area needs to be perceived without any defect.

To determine the location of robot, absolute or relative measuring methods are being used but depending on used sensors some difficulties are seen. Output of sensors being not linear, operation interval's being insufficient, and being insensitive in definite input intervals are some samples of these difficulties. The controllers that will evaluate the outputs of sensor affect the performance of system as well.

In this thesis, mobile robot system having ability of absolute location measuring has been designed, and some difficulties in perceiving the environment have been focused on. Three infrared distance sensors are fixed onto the designed mobile robot. Mobile base and motion parts form the mechanics of the robot. Microcontroller PIC16F877 has been used as a controller. The program, needed to control the mobile robot, has been written by using micro C compiler.

A labyrinth which the robot can move in it has been designed as an experiment environment. In this research, the aims are the robot's being able to move without crashing onto the walls and arriving to the exit point. Sensor output has been made linear by using different methods to reach the location information, and the ability of robot's in perceiving environment has been increased by comparing the obtained results.

Key Words: mobile robot, microcontroller, position sensors, position measurement, curve fitting, linearization.

TEŐEKKÜR

Çalıőmalarım sırasında desteğini ve yardımlarını esirgemeyen, bilgi ve deneyimlerinden faydalandığım çok değerli hocam ve danıőmanım Yrd. Doç. Dr. Abdullah SEZGİN'e; manevi desteklerini her zaman üzerimde hissettiğim, birikimlerini benimle paylaőan arkadaőlarım Canan ORAL ve Sabri Serkan TAN'a; bu araőtırmanın gerçekleőmesinde sağladıkları çalışma ortamından ve desteklerinden dolayı Amasya Üniversitesi Meslek Yüksekokulu personeline; ayrıca daima yanımda olan sevgili aileme ve eőim Ayfer SU BERGİL'e sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

Erhan BERGİL

Ağustos 2009

İÇİNDEKİLER

1.	GİRİŞ.....	1
2.	GENEL BİLGİLER.....	3
2.1.	Robotların Tarihsel Gelişimi.....	4
2.2.	Gezgin Robot Dizgeleri.....	8
2.2.1.	Gezgin Robot Dizgelerinin Genel Yapısı.....	9
2.2.2.	Örnek Gezgin Robot Dizgeleri.....	10
2.3.	Gezgin Robot Dizgelerinde Konum Ölçümü.....	13
2.3.1.	Göreceli Konum Ölçümü.....	13
2.3.1.1.	Odometre.....	13
2.3.1.2.	Eylemsizlik Yönlendirmesi.....	14
2.3.2.	Mutlak Konum Ölçümü.....	14
2.3.2.1.	Etkin Yol Gösterciler.....	14
2.3.2.2.	Yapay Yer İmi Tanıma.....	15
2.3.2.3.	Doğal Yer İmi Tanıma.....	16
2.3.2.4.	Model Eşleştirme.....	16
2.4.	Konum Algılayıcıları.....	17
2.4.1.	Potansiyometrik Algılayıcılar.....	17
2.4.2.	Mil Kodlayıcılar.....	18
2.4.2.1.	Artımlı Kodlayıcılar.....	18
2.4.2.2.	Mutlak Kodlayıcılar.....	20
2.4.3.	Doğrusal veya Dairesel Değişimli Fark Transformatörleri.....	21
2.4.4.	Jiroskoplar.....	23
2.4.5.	Ultrasonik Algılayıcılar.....	25
2.4.6.	Kameralar.....	26
2.5.	Algılayıcı Karakteristikleri.....	27
2.5.1.	Geçiş İşlevi.....	27
2.5.2.	Doğrusallık.....	28
2.5.3.	Ölçme Aralığı.....	29
2.5.4.	Histerezis.....	29

2.5.5.	Doyum.....	30
2.5.6.	Tekrarlanabilirlik.....	30
2.5.7.	Ölü Bant.....	31
2.5.8.	Çözünürlük.....	31
2.5.9.	Çıkış Empedansı.....	32
2.5.10.	Uygulama Karakteristikleri.....	33
2.6.	Mikrodenetleyiciler.....	33
2.6.1.	Mikrodenetleyicilerin Üstünlükleri.....	34
2.6.2.	PIC Mikrodenetleyicileri.....	34
2.6.3.	PIC Mikrodenetleyicilerinin Tercih Edilme Sebepleri.....	34
2.6.4.	PIC' in Kullanımı İçin Gerekli Aşamalar.....	35
2.6.5.	PIC Mikrodenetleyicilerinin Özellikleri.....	36
2.6.6.	PIC Mikrodenetleyicilerinin Donanımsal İncelenmesi.....	37
2.6.7.	PIC16F877 Mikrodenetleyicisinin Portlarının İşlevleri.....	39
2.6.8.	Program ve Kullanıcı RAM Bellek Dağılımı.....	41
2.6.9.	PIC16F877 Mikrodenetleyicisinin Özel İşlevleri.....	42
2.7.	MicroC Derleyicisi.....	45
3.	MATERYAL VE YÖNTEMLER.....	49
3.1.	H-Köprü Devresi.....	50
3.2.	Mesafe Ölçümü.....	52
3.3.	Algılayıcı Çıkışının Matematiksel Olarak Modellenmesi.....	55
4.	BULGULAR VE TARTIŞMA.....	57
4.1.	Eğri Uydurma Sonuçları.....	59
4.1.1.	Sharp 2D120 İçin Elde Edilen Eğriler.....	59
4.1.2.	Sharp 2YO A21 İçin Elde Edilen Eğriler.....	62
4.2.	Doğrusal Arayı Birleştirme Yönteminin İncelenmesi.....	67
4.3.	Gerçeklenen Gezgin Robot Dizgesi.....	68
4.3.1.	Gezgin Robot Yazılımı.....	70
4.3.2.	Gerçeklenen Gezgin Robotun Hareket Becerisinin Değerlendirilmesi..	72
4.3.2.1.	Engeli Algılama ve yaklaşma Becerisi.....	72
4.3.2.2.	Yolu Ortalama Becerisi.....	72
4.3.2.3.	Yön Belirleme ve Dönüşler.....	73
5.	SONUÇ VE ÖNERİLER.....	79

6.	KAYNAKLAR.....	81
7.	EKLER.....	83
	Ek A: 2x16 Karakter LCD Gösterge.....	83
	Ek B: SARP GP2D 120 Mesafe Algılayıcısı Veri Yaprığı.....	84
	Ek C: SARP GP2Y0 A21 Mesafe Algılayıcısı Veri Yaprığı.....	88
	Ek D: Eğri Uydurma Yöntemi.....	92
	Ek E: Doğrusal Arayı Birleştirme Yöntemi.....	95
	Ek F: Deneme Sürüşleri İçin Oluşturulan Ortam Görüntüleri.....	97
	ÖZGEÇMİŞ.....	98

SİMGE VE KISALTMALAR LİSTESİ

Simgeler

D	Tam skala yer değişimi
d	Yer değişimi
E	Uyartım gerilimi
I	Akım
m	Metre
P	Basınç
R _{square}	İlişki (korelasyon) katsayısı
sn	Saniye
T	Açısal momentum
t	Zaman
V	Gerilim
Z _{çıkış}	Çıkış empedansı
Z _{giriş}	Giriş Empedansı
W	Açısal hız

Kısaltmalar

CCD	(Charge Couple Device) : Yük bağlaşık aygıt
CMOS	(Complementary Metal Oxide Semiconductor): Bütünleyici metal oksit yarı iletken
CPU	(Central Processing Unit): Merkezi işlem birimi
EPROM	(Erasable Programmable Read Only Memory): Silinebilen ve programlanabilen yalnızca okunabilir bellek
EEPROM	(Electrically Erasable Programmable Read Only Memory): Elektriksel olarak silinebilen ve programlanabilen yalnızca okunabilir bellek
GPS	(Global Positioning System): Küresel konum belirleme sistemi
LIDAR	(Lazer Imaging Detection and Ranging): Lazer görüntü algılama ve mesafe ölçümü

LVDT	(Linear Variable Differential Transformer): Doğrusal değişimli fark transformatörü
MSSP	(Master Synhronous Serial Port): Asıl eşzamanlı seri port
RAM	(Random Access Memory): Rastgele erişimli bellek
ROM	(Read Only Memory): Salt okunur bellek
RVDT	(Rotary Variable Differential Transformer): Dairesel değişimli fark transformatörü
PIC	(Peripheral Interface Controller): Çevresel arayüz denetleyici
PWM	(Pulse Width Modulation): Darbe genişlik modülasyonu
RMSE	(Root Mean Square Errors): Hata karelerinin ortalamasının karekökü
SSE	(Sub of Square Errors): Hataların kareleri toplamı
USART	(Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter): Evrensel eşzamanlı ve eşzamansız alıcı verici

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	Spirit Gezgin Robotu.....	8
Şekil 2.2.	Uzay Araştırmaları İçin Kullanılan Bir Gezgin Robot.....	9
Şekil 2.3.	Gezgin robot dizgesinin blok diyagramı.....	10
Şekil 2.4.	Robot Shakey.....	11
Şekil 2.5.	Robot Yürüyen Kamyon.....	11
Şekil 2.6.	Robot Sojourner.....	12
Şekil 2.7.	Robot Dante 2.....	12
Şekil 2.8.	Z biçimli yerimi.....	15
Şekil 2.9.	Kaiserslautern Üniversitesi tarafından LIDAR yöntemiyle elde edilmiş bir oda görüntüsü.....	16
Şekil 2.10.	Doğrusal ve dairesel hareketli potansiyometrelerin yapısı.....	17
Şekil 2.11.	Potansiyometre ile konum ölçümü.....	18
Şekil 2.12.	Artımsal Optik Kodlayıcı Disk.....	19
Şekil 2.13.	Doğrusal Moire çerçevesi konum dönüştürücüsü (a) Sabit ızgara (b)Hareketli ızgara (c) Ölçme Düzenegi.....	19
Şekil 2.14.	Artımlı kodlayıcılarda yön algılama.....	20
Şekil 2.15.	Mutlak optik kodlayıcı disk örnekleri.....	20
Şekil 2.16.	Mutlak kodlayıcılarda konum okuma.....	21
Şekil 2.17.	LVDT'nin yapısı.....	21
Şekil 2.18.	a) İleri doğrusal hareket b)Geri doğrusal hareket c) Denge durumu....	22
Şekil 2.19.	a) İleri hareket, b) denge konumu ve c) geri hareket için çıkış gerilimleri.....	23
Şekil 2.20.	a) Mekanik jiroskop görünüşü b) Tek serbestlik dereceli mekanik jiroskop.....	24
Şekil 2.21.	Ultrasonik uzaklık ölçümü.....	25
Şekil 2.22.	Kamera ve işlemci arayüzü.....	27
Şekil 2.23.	Histeresizli geçiş işlevi.....	30
Şekil 2.24.	Doyumlu geçiş işlevi.....	30
Şekil 2.25.	Tekrarlanabilirlik hatası: Aynı S_1 çıkış sinyali iki farklı giriş sinyaline karşılık gelir.....	31
Şekil 2.26.	Geçiş işlevindeki ölü-bant bölgesi.....	31

Şekil 2.27.	Gerilim ve akım çıkışlı algılayıcılar için uygun arabirim devresi.....	32
Şekil 2.28.	Mikrodenetleyicinin temel yapısı.....	33
Şekil 2.29.	PIC16F877'nin bacak bağlantıları.....	39
Şekil 2.30.	Program bellek haritası.....	41
Şekil 2.31.	STATUS yazmacı.....	42
Şekil 2.32.	Kullanıcı RAM bellek haritası.....	45
Şekil 2.33.	MicroC derleyicisi yeni program menüsü.....	46
Şekil 2.34.	MicroC derleyicisi program editörü.....	47
Şekil 2.35.	Programın assembly dilindeki karşılığı.....	47
Şekil 2.36.	PIC Programlama Kartı.....	48
Şekil 2.37.	USB PIC programlayıcı yazılımı	48
Şekil 3.1.	Gerçekleştirilen gezgin robotun blok şeması.....	49
Şekil 3.2.	H-Köprü devresi.....	50
Şekil 3.3.	H-Köprü devresiyle motorun ileri ve geri yönde sürülmesi.....	51
Şekil 3.4.	L293D entegresi bacak bağlantısı.....	52
Şekil 3.5.	Sharp mesafe algılayıcısı.....	53
Şekil 3.6.	Kızılötesi mesafe algılayıcısının çalışma ilkesi.....	53
Şekil 3.7.	Sharp 2YOA21 algılayıcısı için mesafe-gerilim değişimi.....	54
Şekil 3.8.	Sharp 2D120X algılayıcısı için mesafe-gerilim değişimi.....	54
Şekil 4.1.	Sharp 2D120 algılayıcısının deneysel olarak elde edilen çıkış karakteristiği.....	58
Şekil 4.2.	Sharp 2YO A21 algılayıcısının deneysel olarak elde edilen çıkış karakteristiği.....	58
Şekil 4.3.	Sharp 2D120 için benzetilen doğru.....	59
Şekil 4.4.	Sharp 2D120 için ikinci derece çokterimli.....	59
Şekil 4.5.	Sharp 2D120 için benzetilen üçüncü derece çokterimli.....	60
Şekil 4.6.	Sharp 2D120 için benzetilen dördüncü derece çokterimli.....	60
Şekil 4.7.	Sharp 2D120 için benzetilen logaritmik fonksiyon.....	61
Şekil 4.8.	Sharp 2D120 için benzetilen eğrilerin karşılaştırılması.....	61
Şekil 4.9.	Sharp 2YO A21 için benzetilen doğru.....	62
Şekil 4.10.	Sharp 2YO A21 için benzetilen ikinci derece çokterimli.....	62
Şekil 4.11.	Sharp 2YO A21 için benzetilen üçüncü derece çokterimli.....	63
Şekil 4.12.	Sharp 2YO A21 için benzetilen dördüncü derece çokterimli.....	63

Şekil 4.13.	Sharp 2YO A21 için benzetilen logaritmik fonksiyon.....	64
Şekil 4.14.	Sharp 2YO A21 için benzetilen eğrilerin karşılaştırılması.....	64
Şekil 4.15.	Sharp 2D 120 çıkışı için 5 parçalı doğru denklemi benzetimi.....	65
Şekil 4.16.	Sharp 2YO A 21 çıkışı için 5 parçalı doğru denklemi benzetimi.....	66
Şekil 4.17.	Sharp 2D 120 için doğrusal arayı birleştirme yöntemi çıkış karakteristiği.....	67
Şekil 4.18.	Sharp 2YO A21 için doğrusal arayı birleştirme yöntemi çıkış karakteristiği.....	67
Şekil 4.19.	Gerçeklenen gezgin robotun görüntüleri.....	69
Şekil 4.20.	Gerçeklenen gezgin robotun baskılı devre benzeşimi.....	70
Şekil 4.21.	Gerçeklenen gezgin robotun baskılı devre görüntüsü.....	70
Şekil 4.22.	Gezgin robot programı akış şeması.....	71
Şekil 4.23.	Engeli algılama ve yaklaşma.....	72
Şekil 4.24.	Düz yol için robotun yolu ortalama becerisi.....	73
Şekil 4.25.	Virajlı yol için robotun yolu ortalama becerisi.....	73
Şekil 4.26.	Sola dönüş için oluşturulan deneme ortamı.....	74
Şekil 4.27.	Sağa dönüş için oluşturulan deneme ortamı.....	74
Şekil 4.28.	Geriye dönüş için oluşturulan deneme ortamı.....	75
Şekil 4.29.a)	Gezgin robota ait deneme sürüşü görüntüleri.....	76
Şekil 4.29.b)	Gezgin robota ait deneme sürüşü görüntüleri.....	77
Şekil 4.29.b)	Gezgin robota ait deneme sürüşü görüntüleri (devam).....	78
Şekil 7.1.	Doğrusal arayı birleştirme yöntemi çalışma ilkesi.....	95

ÇİZELGELER LİSTESİ

Çizelge 2.1.	Doğrusallık testi sonuçları.....	29
Çizelge 2.2.	16F877 ve 16F84 işlemcileri arasında özellik karşılaştırması.....	38
Çizelge 3.1.	H-Köprü devresi anahtar konumlarına göre işlev listesi.....	51
Çizelge 4.1.	Sharp 2D 120 mesafe algılayıcısı için yapılan ölçüm sonuçları.....	57
Çizelge 4.2.	Sharp 2YO A21 mesafe algılayıcısı için yapılan ölçüm sonuçları.....	57
Çizelge 7.1.	Eğri uydurma yöntemi için örnek değerler.....	92

1. GİRİŞ

Günümüzde robot uygulamaları oldukça geniş bir alanda ve hızla ilerlemektedir. Bir makinenin robot olabilmesi için bulunduğu ortamı fark edebilecek algılayıcılara, bu algılayıcılardan gelen bilgiyi işleyip sonuç çıkaran işlem birimlerine ve işlem sonuçlarını çıkışa aktarabilecek hareket mekanizmalarına sahip olması gerekmektedir. Temel özellikleri değerlendirildiğinde robotların algılayıcılardan, elektro-mekanik hareket sistemlerinden ve programlanabilir işlem birimlerinden oluştuğu söylenebilir.

Robotların bir alt türü olan Gezgin Robotlar, verilen bir yön ve konum boyunca otomatik olarak hareket edebilen, serbest programlanabilir, özerk veya uzaktan işletilen araçlardır. Günümüzde araştırma, eğitim, ticari, endüstriyel veya değişik amaçlar için gezgin robot sistemleri tasarlanmaktadır. Özellikle insan sağlığına zararlı ortamlarda veya insanların kolay çalışamayacağı ölçüde küçük alanlarda etkin biçimde kullanılmaktadır.

Gezgin robotlar denetimi en zor olan robotlardır. Bir yüzeye sabitlenmedikleri için bütün koordinatları bağlıdır. Küçük bir sapma yanlış veri işlenmesine ve dolayısıyla yanlış karar vermeye neden olmaktadır. Gezgin robotun amacına uygun olarak hareket edebilmesi için öncelikli olarak bulunduğu konumu bilmesi gerekmektedir. Bu konum bilgisine ulaşmak için farklı yöntemler ve algılayıcı elemanlar kullanılmaktadır. Konum ölçme işlemi mutlak veya göreceli olarak gerçekleştirilmekte, bazı uygulamalarda iki ölçme yöntemi birlikte kullanılabilir.

Gezgin robotlar kullanılan konum algılayıcılarının yetenekleri ölçüsünde çevrelerini fark etmektedirler. Bu nedenle gezgin robotun yönlendirilmesinde konum algılayıcılarının yeteneklerine bağlı olarak bazı güçlüklerle karşılaşmaktadır. Algılayıcılar hiçbir zaman ölçüm sonuçlarını doğrudan çıkışlarına aktarmazlar. Ölçüm yapılırken algılayıcı çıkışında oluşan elektriksel değişimin istenilen standart ölçü birimine çevrilmesi gerekmektedir. Bu amaçla algılayıcı karakteristiğini en iyi ifade eden matematiksel denklemler kullanılmalıdır. Bu denklemler doğrusal olmayan algılayıcılarda üçüncü dereceden çokterimliler, üstel veya trigonometrik fonksiyonlarla ifade edilirler. Bazı algılayıcıların dar bir çalışma aralığına sahip olması ya da girişin bazı değerleri için tepke vermemesi yani bir ölü banda sahip olması karşılaşılması muhtemel sorunlara örnek olarak gösterilebilir.

Günümüz robot teknolojilerinde algılayıcılar ve mikrodenetleyicilerin birlikte kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. Dolayısıyla yukarıda aktarılan ve algılayıcı çıkışında yapılması zorunlu olan bazı iyileştirme ve doğrusallaştırma işlemlerinin 8-bit'lik mikrodenetleyiciler için basitleştirilmesi gerekmektedir. Ayrıca günümüzde mikrodenetleyicilerin giderek gelişmesine ve işlem kapasitelerinin artmasına bağlı olarak bu işlemlerin alternatif ve daha etkili yöntemler kullanarak mikrodenetleyici ile uygulanması mümkün hale gelmiştir. Dolayısıyla gezgin robot dizgelerinde kullanılacak olan denetleyicinin yetenekleri robotun çevre algılama becerisini doğrudan etkilemektedir. Kullanılacak denetleyicinin seçiminde giriş-çıkış birimlerinin sayısı ve niteliği, komut işleme hızı, matematiksel işlem yeteneği, çevre birimleriyle haberleşebilme imkânının olup-olmaması, kesme yeteneği ve program belleğinin kapasitesi gibi ölçütler göz önünde bulundurulmalıdır.

Mikrodenetleyiciler içlerinde çevre elemanları, bellek, sayısal-analog çevirici ve merkezi işlem birimi gibi yapıları bütünleşik olarak bulundurdukları için algılayıcı devre tasarımlarının daha sade olmasına ve algılayıcı çıkışlarının istenilen biçimde işlenmesine olanak sağlamaktadırlar.

Bu çalışmada labirent ortamında duvarlara çarpmadan ilerlemesi ve labirentten çıkması amaçlanan bir gezgin robot tasarlanmıştır. Microchip firması tarafından üretilen 16F877 mikrodenetleyicisi 8 adet analog giriş büyüklüğünü 10 bitlik çözünürlükte işleyebilecek yetenekte olması nedeniyle tercih edilmiştir. Sağ, sol ve ön cephedeki olası engeli algılayacak 3 adet kızılötesi mesafe algılayıcısı kullanılmıştır. Kullanılan mesafe algılayıcılarının çıkışları doğrusal değildir. Ayrıca belli bir bölgede ölçüm için uygun çıkış vermemektedir. Algılayıcıdan kaynaklanan olumsuzlukların giderilmesi amacıyla örnek bir model oluşturulmuştur. Gezgin robot için gerekli yazılım MicroC derleyicisi kullanılarak yazılmıştır.

2. GENEL BİLGİLER

İnsan hayatını kolaylaştırmaya yönelik olarak gelişen teknoloji, robotların da geliştirilmeye ve gerekli alanlarda kullanılmaya başlanmasıyla etkisini bir kez daha ciddi anlamda göstermiştir. Robotik çalışmalar ilerledikçe, robot uygulamalarının ne kadar çok uygulama alanı için gerekli ve uygun olabileceği anlaşılmıştır. Günümüzde robot uygulamaları oldukça geniş bir alanda ve hızla ilerlemeye devam etmektedir. Robotlara duyulan ihtiyaç endüstride çok kullanılan, mikro-elektronik ve mikro-mekanik düzenekler geliştikçe giderek artmaktadır.

‘Robot’ kelimesi ilk defa Çek filozof ve oyun yazarı Karel Capek tarafından kullanılmıştır. Ve Çek dilinde ‘işçi’ veya ‘esir’ anlamına gelmektedir. Robot; algılayıcıları sayesinde çevresel bilgileri alan, görevini insana özgü eksikliklerden tamamen arınmış bir şekilde yapan makine modelidir. Günümüzdeki anlamıyla robot, otonom veya önceden programlanmış görevleri yerine getirebilen elektro-mekanik bir cihaz olarak tanımlanabilir. Robotların iyi anlaşılabilmesi için; bilgisayar, elektronik, malzeme bilimi ve makine kavramlarının iyi incelenmesi gerekmektedir (Özyılmaz ve ark., 2007).

Bir makinenin robot olabilmesi için bulunduğu ortamı denetleyecek algılayıcılara, bu algılayıcılardan gelen bilgiyi işleyip sonuç çıkaran işlem birimlerine ve işlem sonuçlarını çıkışa aktarabilecek hareket mekanizmalarına sahip olması gerekir. Ayrıca bir robot aşağıdaki üç maddeli modele uymak zorundadır.

- İşlem yapma yetisi,
- İşlemden sonuca varma yetisi,
- Yargıya varma ve yeni işlemi belirleme yetisi.

Robotlar pratikte çok çeşitli uygulama alanında kullanılmaktadır ve boyutları da görevlerine göre çok farklı özellikler göstermektedir. Fakat temel özelliklerini göz önüne alırsak algılayıcılardan, elektro-mekanik hareket sistemlerinden ve programlanabilir işlem birimlerinden oluştuğu söylenebilir (Yıldız ve Uzun, 2005).

Robot dizgeleri için, uygulama alanları gözünde bulundurularak aşağıdaki gibi bir sınıflandırma yapılabilir (Bayhan, 2006).

Servis robotları; hastanelerde doktorlara yardım eden, elektrik direklerinin kablolarını bağlayan ve genel temizlik işlerine bakan aygıtlar gibi genel hizmet cihazlarını kapsamaktadır.

Askeri robotlar; televizyonlarda savaş haberlerinde, filmlerde çok sık izlediğimiz düşmanı yok etmeye veya keşif görevi görmeye yarayan uzaktan kumandalı aygıtlardır. Mayın arama cihazlarından, insansız casus uçaklarına kadar pek çok düzenek bu sınıfa girmektedir.

Günümüzde robotların büyük bir çoğunluğu endüstride kullanılmaktadır. Sanayi tipi robotlar; boyama, sızdırmazlık, kaynak, montaj, makinelere parça yükleme, boşaltma işlerinde ve kimya, beyaz eşya, otomotiv endüstrilerinde kullanılmaktadır.

Bunlar tamamen insan kolunun fizyolojik özelliklerini taklit ederek çalışan sistemlerdir. En büyük özellikleri ise mekanik ve elektronik olarak insan eklemlerinin hareketleri model alınarak oluşturulmuş olmalarıdır.

Robotlar, insanın hareket sahasını üç-dört kat genişletebilmektedir. En yeni teknolojik donanım ve yazılımlarla yüklü olan bu robotlar, yaklaşık beş yüz kiloluk yükleri yüz mikron hassasiyetinde bir hata payı ile kaldırıp istenilen noktaya yerleştirebilmektedir. Robotlar hassaslık ya da güç gerektiren işleri, büyük bir hızla hatasız olarak yerine getirebilmektedir. Bu yüzden robot teknolojilerini geliştirmede büyük şirketler (Sony, Honda...) , üniversiteler ve teknoloji kurumlarıyla başa baş gitmektedirler.

Robotlar, endüstriden başka okyanusların derinlikleri, volkanların kraterleri gibi insanların çalışamayacağı yerlerde de sıklıkla kullanılmaktadır. İnsanların gidemeyeceği yerlere onlarca mini robot gönderilerek araştırmalar yapılmaktadır. NASA da robotları uzay araştırmalarında sıklıkla kullanmaktadır. Mars'a gönderilen Pathfinder, Spirit, Opponent bunların sadece birkaçıdır.

Massachusetts Teknoloji Enstitüsünde (MIT) geliştirilen 'kısmet' adlı robot, yüz ifadeleri olarak adeta bir insandır. İnsanların yüzlerini tanımlayıp, korku, merak mutluluk gibi ifadeleri taklit edebilmektedir. Görüldüğü üzere robot sistemlerinin günümüzde girmediği alan hemen hemen yok gibidir.

2.1. Robotların Tarihsel Gelişimi

İnsana benzeyen ama bazı yönleriyle insandan eksik olan varlıkların bulunduğu düşüncesi aslında çok eskilere dayanmaktadır. Bu düşünce, ortaya çıkışından beri

insandan daha aşağı olan bu varlıkların insana hizmet için var olduğu varsayımıyla birlikte yürütülmüştür. Eski bir Yunan mitinde tanrı Hephaestos som altından iki dişi hizmetli yaratır. Bir diğer eski efsane de ortaçağ Yahudilerinin Golem'idir. Golem topraktan yaratılmıştır. Yahudi halkını tehlikelerden korumakla görevli bir hizmetkârdır. Ağzına (veya alınına) yerleştirilen komutlara uyar, bu komutlar yerinden çıkartıldığında durur. Yine ortaçağ inanışlarına göre güçlü büyücüler, homunculus adı verilen ufak insancıklar yaratırlar. Bu yaratıklar sahiplerine büyük bir sadakat ile hizmet ederler.

İlk sibernetikçi kabul edilen Ebul İz İsmail bin ar-Razzaz el-Cezeri 1205-1206 yıllarında yazdığı "Kitab-ül'-Camü Beyne'l-İlmi-i ve'l-amelen-Nafi' Fi Sinaati'l-Hiyel" adlı kitabın içinde, 300'e yakın otomatik makine ve sistemler ile ilgili bilgi verdikten sonra çalışma özelliklerini şemalarla göstermiştir. Sadece suyun kaldırma ve basınç gücünü kullanarak tamamen yeni bir teknik ve sistem kurmuş, çok yönlü otomatik hareketler elde etmiştir. Kurmuş olduğu otomatik sistemlerde ses (kuş, davul, zurna, ıslık vs) ya da çığlık çıkması gerektiği anda bu sesleri de sağlayabilmiştir. Robotik tarihinin kilometre taşları sayılacak gelişmeler şöyle sıralanmaktadır (Özyılmaz ve ark., 2007):

- 800 M.Ö. Homeros İlyada adlı eserinde hareketli üçayaklılardan bahseder.
- 350 M.Ö. Aristo insanların isteklerini anlayıp itaat eden mekanizmalar öngörür.
- 1350 Mekanik bir horoz Fransa'daki Strazburg Katedrali'nin tepesine yerleştirilir.
- 1801 Jopsepf-Marie Jacquard delikli kartlarla kontrol edilen otomatik dokuma tezgâhını icat eder.
- 1890 Nikola Tesla, Edison için kısa bir süre çalıştıktan sonra uzaktan kumanda ile kontrol edilebilen birçok araç tasarlar.
- 1921 'Robot' sözcüğü ilk kez Çekoslovak oyun yazarı Capek tarafından kullanılır.
- 1926 Fritz Lang'ın filmi Metropolis'te baştan çıkarıcı robot Maria rol alır.
- 1930 Hollywood'un 'Flash Gordon' ve 'Buck Rogers' gibi filmlerinde robotlar sıkça kötü niyetli makineler olarak rol alırlar.
- 1938 Willard Pollard ve Harold Roselund spreyci boya yapan otomatik bir makine için eklemeleri olan bir kol icat ederler.

- 1939 Westinghouse şirketi, New York Dünya Fuar'ında sergilenmek üzere mekanik bir insan ve köpek tasarlarlar.
- 1942 Isaac Asimov "Runaround" adlı kitabında Robotların 'Üç Kanunu'nu ortaya koyar. Bu kurallar:
 1. Bir robot bir insana zarar veremez veya pasif kalmak suretiyle zarar görmesine izin veremez.
 2. Bir robot kendisine insanlar tarafından verilen emirlere 1. Kural ile çelişmediği sürece itaat etmek zorundadır.
 3. Bir robot 1. ve 2. kurallar ile çelişmediği sürece kendi varlığını korumak zorundadır.
- 1946 George C. Devol fabrikalardaki makineleri kontrol eden genel amaçlı bir cihazın patentini alır.
- 1947 Alan M. Turing'in zeki makineler hakkındaki makalesi yayınlanır.
- 1950 Asimov'un "I, Robot" (Ben, Robot) adlı kitabı yayınlanır.
- 1951 Raymond Goertz radyoaktif maddelerle ilgili çalışmalarda kullanılmak üzere uzaktan kumandalı bir kol tasarlar.
- 1951 "The Day the Earth Stood Still" filminde "Gort" üstün zekâya sahip bir robottur.
- 1954 Devol programlanabilen fabrika robotunu tasarlar. (Unimation)
- 1956 Robot "Robby" "Forbidden Plane" adlı filmde rol alır.
- 1959 Marvin L. Minsky ve John McCarthy Massachusetts Teknoloji Enstitüsü'nde Yapay Zeka Laboratuvarı'nı kurarlar.
- 1960 AMF Firması Harry Johnson ve Veljko Milenkovic tarafından geliştirilen Versatran endüstriyel tasarımını dünyaya sunar.
- 1963 Stanford University'nde McCarthy başkanlığında Yapay Zeka Laboratuvarı kurulur. 1965 Carnegie Mellon Üniversitesi Robotik Enstitüsü'nü kurar.
- 1967 Ralph Moser, General Electric Şirketi'nde yürüyen robotu tasarlar.
- 1967 Japonya ilk endüstriyel robotunu ithal eder.
- 1968 Görme organına ve yapay zekâya sahip ilk robot, Shakey, Stanford Araştırma Enstitüsü'nde geliştirilir.
- 1970 Stanford Araştırma Enstitüsü'nde Unimate Kolu'nun geliştirilmiş hali olan 'Stanford Kolu' tasarlanır.

- 1971 Cincinnati Milacron firması bilgisayar kontrollü robotunu piyasaya sürer.
- 1972 Shigeo Hirose, Tokyo Teknoloji Enstitüsü'nde bir öğrenci, yılan benzeri bir robot yapar.
- 1974 Victor Scheinman Stanford Üniversitesi'nden ayrılır ve Stanford Kolu'nu piyasaya sürmek için Vicarm, şirketini kurar.
- 1976 NASA Mars'a gidecek olan uzay araçlarına robot kollar yerleştirir.
- 1977 Asea Brown Boveri Ltd. Şirketi mikrobilgisayar kontrollü robotları piyasaya sürer.
- 1977 Star Wars kahramanları iki robot, C3PO ve R2D2 izleyenlerin büyük ilgisini çeker.
- 1978 Unimation ve General Motors Puma'yı geliştirir.
- 1979 Yamanashi Üniversitesi fabrikalardaki montaj hatlarında kullanılmak üzere Scara Kolu'nu tasarlar.
- 1980 Marc Raipert, MIT'de, insan yürüyüşünü taklit eden robotlar geliştirmek üzere bacak laboratuvarı kurar.
- 1983 Odetics Şirketi, 6 bacaklı, yürüyen robotu piyasaya sürer.
- 1984 Waseda Üniversitesi'nde Wabot-2 adlı nota okuyup, elektronik org çalabilen robot yapılır.
- 1984 Transition Research şirketi hastaneler için servis robotları geliştirmek üzere kurulur.
- 1986 Honda Motor Co. İnsansı bir robot geliştirmek amacı ile gizli bir proje başlatır.
- 1988 Danbury Hastanesi'nde ilk yardımcı robot göreve başlar.
- 1993 MIT'den Rodney A. Brooks bir insan gibi yetiştirilen ve eğitilen Robot Cob'u yapmaya başlar.
- 1994 Dante II, Carnegie Mellon Üniversitesi'nde geliştirilen yürüyen robot Alaska'da aktif bir volkana keşif gezisi yapar ve volkanik gaz örnekleri toplar.
- 1996 Honda, P-2 (prototype 2), yürüyen insansı robot dünyaya tanıtılır.
- 1997 İlk yıllık robotlar arası futbol turnuvası "Robocup" Japonya'da düzenlenir.
- 1997 NASA'nın Pathfinder uzay aracı Mars'a iner ve "Sojourner" robotu Mars yüzeyinde keşif gezisi yapar.

- 2000 RoboCup 2000'de üç insansı robot ilk defa karşılaşırlar: Batı Avustralya Üniversitesi'nden Johnny Walker, Japonya Aoyama Gakuin Üniversitesi'nden Mk-2 ve Pino.

Yukarıda verilen tarihteki olaylardan da görüldüğü gibi, robotlar insanların ihtiyaçları ve gelişen teknolojiye bağlı olarak şekillendirilmiştir. İlk yıllarda hayali tasarımlarla başlanan, eğlence amaçlı kullanılan robotlar günümüzde endüstrinin vazgeçilmez elemanları olmuştur.

2.2. Gezgin Robot Dizgeleri

Gezgin robot; verilen bir yön ve konum boyunca otomatik olarak hareket edebilen, serbest programlanabilir, özerk veya uzaktan işletilen bir araçtır. Günümüzde araştırma, eğitim, ticari, endüstriyel veya değişik amaçlar için gezgin robot sistemleri tasarlanmaktadır. Kara, deniz, hava ve uzay gibi değişik ortamlarda hareket etmek üzere tasarlanmış gezgin robot sistemleri vardır (Bayhan, 2006).

Robotların bir alt türü olan "Gezgin Robotlar" üzerine yapılan çalışmalar, geniş uygulama alanlarına sahip olmaları nedeniyle artarak yaygınlaşmaktadır. Gezgin robotların, karantina bölgeleri gibi insanlar için zararlı olan ya da gezegenlerin keşfi gibi kabiliyetlerini aşan işlerde ve engellilere refakat etme gibi destek amaçlı işlerde kullanılması düşünülmektedir. Dinamik bir çevre içerisinde hareket eden bu sistemlerin, karşılaşılabilecekleri beklenmedik durumlarda zeki bir şekilde karar vermeleri ve görevi kesintiye uğratmamaları beklenmektedir. Tasarımları bu doğrultuda gerçekleştirilmelidir (Özkan ve ark., 2004).

Son yıllarda uzay araştırmaları için birçok gezgin robot sistemi kullanılmaktadır. Bunlardan sonuncusu Mars gezegenini araştırmak için yollanan Spirit adlı gezgin robottur. Bu robot Şekil 2.1.'de görülmektedir.



Şekil 2.1. Spirit Gezgin Robotu (Bayhan, 2006)

Benzer şekilde uzay araştırmalarında yaygın bir kullanım alanı bulan gezgin robot uygulamalarına bir örnek Şekil 2.2.'de görölen Pathfinder isimli gezgin robottur.



Şekil 2.2. Uzay Araştırmaları İçin Kullanılan Bir Gezgin Robot (Bayhan, 2006)

Gezgin robot dizgelerinin tasarımı mekanik, elektronik, bilgisayar donanımı ve yazılımını içeren birden çok konuda uzmanlık gerektirir. Bu sistemler elektronik denetleyici, iletişim sistemi, ortam algılayıcıları, hareket denetimi için ek devreler (sürücüler), yön bulucu, bilgisayar programı ile operatör giriş/çıkış yazılımı ve donanımını içermektedir.

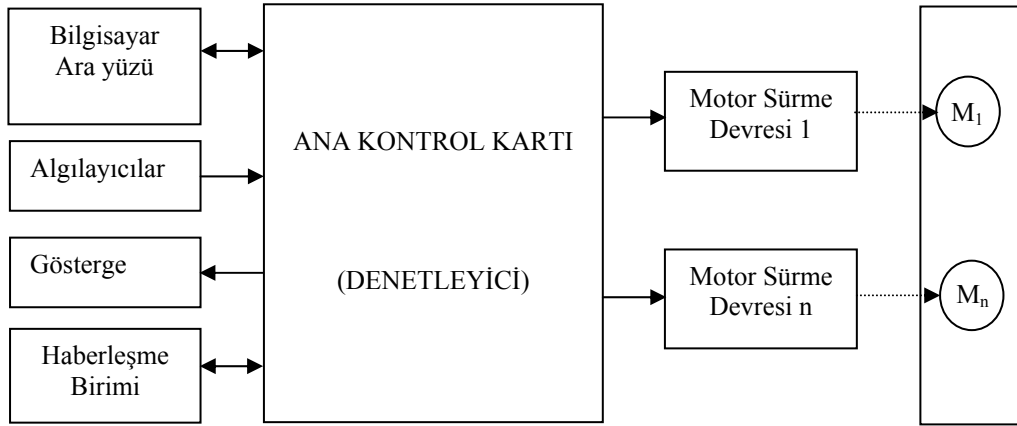
2.2.1. Gezgin Robot Dizgelerinin Genel Yapısı

Gezgin robotlar değişik uygulama alanlarında kullanıldıkları için boyutları görevlerine göre değişmektedir. Fakat temel özellikleri göz önüne alırsak bir gezgin robotun algılayıcılardan, elektro-mekanik hareket sistemlerinden ve programlanabilir işlem birimlerinden (denetleyici) oluştukları söylenebilir.

Robotun mekaniğini, gezgin taban ve hareket aksamaları oluşturmaktadır. Robotun hareketini sağlayan birim, sürüş mekanizması, güç ünitesi, haberleşme ünitesi ve denetim birimini taşıyabilecek kadar güçlü olmalıdır. Gezgin taban, manevra kabiliyeti ve hız bakımından çalışma ortamına uygunluk göstermelidir (Bayhan, 2006).

Ana kontrol kartı, çeşitli türde (sayısal ve örneksel) algılayıcıların bağlanabileceği çevre birimlerine ve mekanik sistemdeki motorları denetlemek için motor sürücü arabirimlerine sahip bir denetleyiciden ve eğer varsa haberleşme ünitesinden oluşmaktadır. Haberleşme ünitesi bir RF alıcı verici olabileceği gibi bir bluetooth modülü de olabilir. (Şekil 2.3.) Denetleyici devre, seri programlanabilme özelliğiyle, sistem çalışırken denetim programının geliştirilmesine veya düzeltilmesine imkân verecek yapıda seçilmelidir. Denetleyici, kullanıcı birimi ve mekanik sistem

arasında bir ara yüz oluşturmaktan ve komutların doğru bir şekilde gerçekleştirilmesinden sorumludur. Kullanıcının, robotun durumundan haberdar olmasını da bu birim sağlar. Denetleyici kullanıcıya iletilmesi gereken verileri, haberleşme birimi yardımıyla gönderir. Geliştirilen gezgin robot donanımı, bir gezgin robotun devinim için gerekli temel ihtiyaçlarını karşılayacak şekilde tasarlanmalıdır.

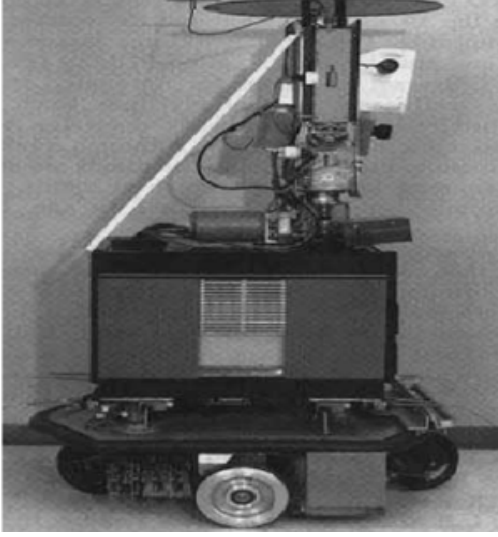


Şekil 2.3. Gezgin robot dizgesinin blok diyagramı

Gerekli mekanik eylemlerin sağlanmasında DC motorlar, servo motorlar veya adım motorları kullanılmaktadır. İstenilen hareketin elde edilmesini sağlayan denetim işaretleri denetleyici tarafından sürücülere iletilir. Sürücüler aracılığıyla motorlar üzerinden konum sürekli denetlenir. Darbe genişlik modülasyonu kullanılarak değişik hız seçenekleri elde edilebilir.

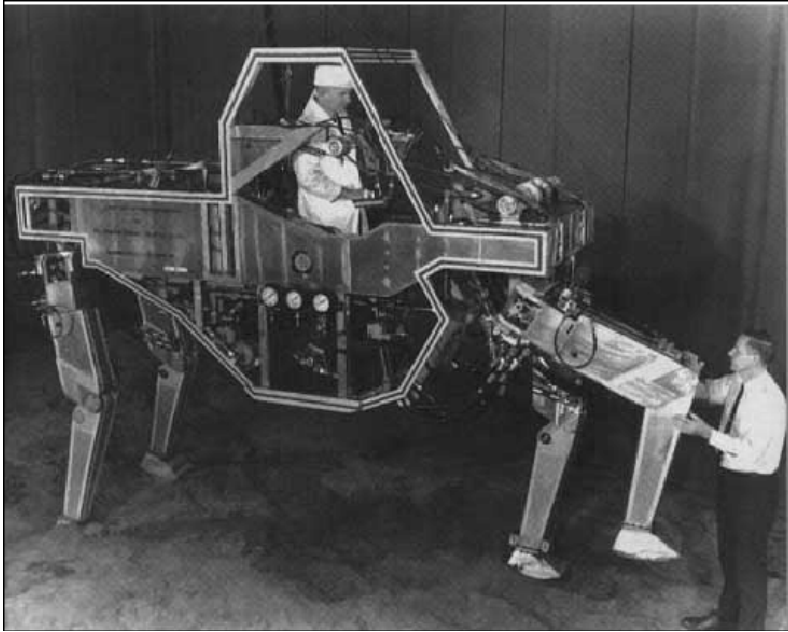
2.2.2. Örnek Gezgin Robot Dizgeleri

Robot Shakey : 1960'ların sonlarında araştırmacılar "Shakey" adında bilgisayar kontrollü bir robot geliştirmişlerdir. Geliştirilen ilk gezgin robottur ve görme yeteneğine sahiptir. Shakey etraftaki eşyalara çarpmadan odalar arasında dolaşabildiği gibi, sesli komutlara göre tahta kutuları üst üste düzebilmektedir. Hatta kutuların düzgün durup durmadığını kontrol etme, gerekirse düzeltme yeteneğine sahiptir.



Şekil 2.4. Robot Shakey (Özyılmazel ve ark., 2007)

Yürüyen Kamyon: 1960'larda General Electric tarafından tasarlanan ve ayakları üzerinde 7 km/saat hızla yürüeyebilen tonlarca ağırlıktaki "Yürüyen Kamyon" bilgisayar beyinli ilk ayaklı araçtır.



Şekil 2.5. Robot Yürüyen Kamyon (Özyılmazel ve ark., 2007)

Sojourner: 1996 yılında NASA tarafından zemini inceleme amacıyla Mars yüzeyine bırakılmıştır. 6 tekerlekli olan Sojourner dünya üzerinden kumanda edilmiştir. Mesaj iletimi zaman almıştır. Robot çalışma düzenini kendi kendine düzenleyebilecek kadar aktif değildir. Küçük kayaları incelemede başarılı olmuştur.



Şekil 2.6. Robot Sojourner (Özyılmazel ve ark., 2007)

Dante 2: Carnegie Mellon Robotik Enstitüsü tarafından geliştirilen Dante II uzaktan keşif görevleri için tasarlanmış 8 bacaklı bir robottur. Alaska volkanında krateri 5 gün boyunca 120 km uzaktaki insan operatörler tarafından kumanda edilerek inceleyen Dante II, bu görev sırasında derin karla kaplı bölgeler, küllerle kaplı yokuşlar, 1 metrelik kaya parçaları ve hendekler gibi zorlu engellerle karşılaşmasına rağmen başarılı bir şekilde incelemeyi tamamlamıştır (Özyılmazel ve ark., 2007).



Şekil 2.7. Robot Dante 2 (Özyılmazel ve ark., 2007)

2.3. Gezgin Robot Dizgelerinde Konum Ölçümü

Gezgin robotlar denetimi en zor olan robotlardır. Sabit bir yüzeye monte edilmiş olmadıkları için bütün konum bilgileri bağıldır ve ufak bir sapma yanlış veri işlenmesine ve dolayısıyla yanlış karar vermeye neden olabilir. Otonom gezgin robotların işlevlerini yerine getirebilmeleri için en önemli ve gerekli özelliklerden biri kendi konumlarını bilmeleridir. Robotlar kendi konumlarını bildiği sürece algıladıkları ortamın özelliklerini doğru şekilde analiz edebilirler (Yıldız ve Uzun, 2005).

Leonard ve Durrant-Whyte gezgin robot yönlendirmesinin genel problemini şu üç soru ile özetlemiştir (Borenstein ve ark., 1996).

- Neredeyim?
- Nereye gidiyorum?
- Nasıl ulaşmalıyım?

Bir gezgin robotun doğru bir şekilde konumlandırılması için birçok etken değerlendirilmelidir. En az hatayla işlemin tamamlanabilmesi için belki de birden fazla yöntemin ya da algılayıcının kullanılması gerekmektedir. Çözüm için kullanılan elemanlar (konumlandırma algılayıcıları) ya da yöntemler iki gruba ayrılmaktadır.

1. Göreceli Konum Ölçümü
2. Mutlak Konum Ölçümü

2.3.1. Göreceli Konum Ölçümü

Göreceli konum ölçme yöntemleri, odometre yöntemi ve eylemsizlik yönlendirmesi yöntemi olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır.

2.3.1.1. Odometre

Bu yöntem ölçüm için kodlayıcıları kullanır. Bir tekerlek dönüşü ya da dümen yönlendirmesi mantığından yararlanır. Sistem bir bütün halinde olup, bir aracın konumunu her zaman kestirebilmek için yeterlidir. Odometrenin en büyük dezavantajı ise hatayı azaltmak için belli bir referansın periyodik olarak kullanılmaması durumunda konum hatasının artmasıdır (Borenstein ve ark., 1996).

Robotun ilerlemesi, tekerleklere takılacak hassas kodlayıcıların yardımıyla kayıt altında tutulursa, ne kadar ilerlediği veya ne kadar döndüğü hesaplanabilmektedir. Fakat burada bazı hatalar olabilmektedir. Örneğin, robot ilerlerken bir cisme çarptığında,

dönüş yaparken veya kaygan zeminlerde tekerleklerde kaymalar oluşmaktadır. Ayrıca, tekerleklere takılan kodlayıcıların hassasiyeti, tekerleklerin havasının hesaplanandan farklı olması vb. birçok nedenlerden dolayı hata miktarı belli bir hareketten sonra artmaktadır.

2.3.1.2. Eylemsizlik Yönlendirmesi

Bu yöntem ivme ve dönüş oranını ölçmek için jiroskopları ve bazen de ivmeölçerleri kullanır. Konumu sağlamak için ölçümler tekrarlanır ve sonuçlar birleştirilir. Eylemsizlik (atalet) yönlendirme sistemleri düzene ile birleşik olması (araçla bütünleşmesi) avantajına sahiptir. Bütünleşmeden sonra sınır olmaksızın küçük sabit hata artar. Bu nedenle eylemsizlik algılayıcıları uzun zaman dönemlerinde uygun doğrulukta çıkış vermez. Diğer bir problem ise eylemsizlik yönlendirmesindeki yüksek ekipman maliyetleridir. Örneğin yüksek doğruluklu bir jiroskop hava alanlarında kullanılır ve oldukça pahalıdır. Son günlerde fiberoptik jiroskoplar (lazer jiroskopları) yüksek doğruluklarıyla birlikte fiyatlarının beklenmeyen şekilde düşmesiyle gezgin robot yönlendirmesi probleminin çözümünde çok cazip duruma gelmiştir (Borenstein ve ark., 1996).

2.3.2. Mutlak Konum Ölçümü

Mutlak konum ölçme yöntemleri; etkin yol göstericiler, doğal yerimi tanıma, yapay yerimi tanıma ve harita eşleştirme yöntemleri olmak üzere dört ayrı gruba ayrılmaktadır.

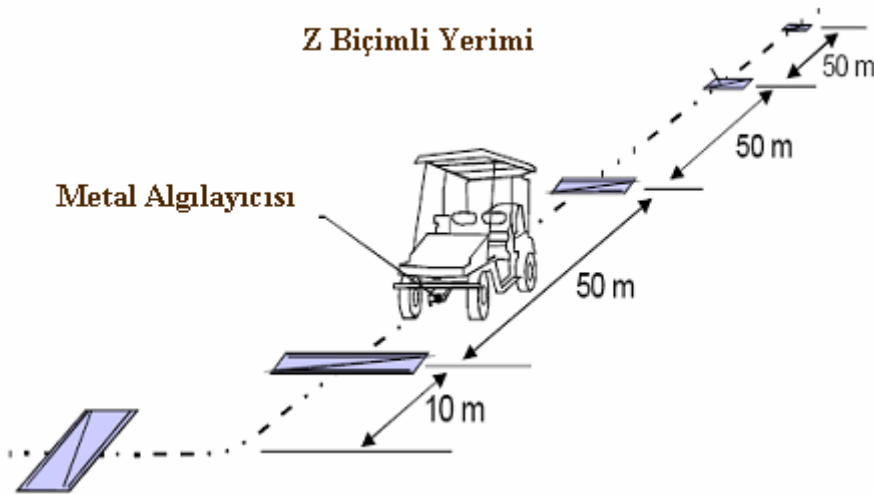
2.3.2.1. Etkin Yol Göstericiler

Bu yöntem üç veya daha fazla iletilmiş yol bilgisinin tekrar oranının doğrultusunda gerçekleştirilen ölçümlerden robotun mutlak konumunu hesaplar. Gemi ve uçaklarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Genellikle radyo frekanslarını kullanan ileticilerin çevre dağılımları ya da konum bilgileri bilinmelidir. Yüksek doğruluğa sahip bu konumlandırıcıların kurulumu oldukça maliyetlidir. GPS (Global Positioning System) olarak bilinen küresel yer belirleme sistemleri bu yöntemle çalışmaktadır. Genellikle, dış ortamlarda kullanılan bu sistem uydulardan alınan sinyaller ile çalışır. Dört uydudan aldığı sinyaller ile üçgenleme hesaplamasını kullanarak robotun konumu,

yönü ve bunlardaki değişimi hesaplanabilir. Algılama sisteminin uydulara olan uzaklıkları, gelen sinyalin katettiği süre ve sinyalin hızı kullanılarak hesaplanır. Algılama işleminin tamamlanması için algılama sisteminin uyduya olan uzaklığı kadar uydularında konumlarının bilinmesi gerekir. Uyduların tam konumunun tesbit edilmesi ve algılama sisteminin konumunun ulusal standart zamana referans olarak bulunması için algılama sisteminin uydulardan aldığı verileri bir ana istasyona gerçek zamanlı iletilir. Ana istasyonlar uyduları sürekli izlemekte ve onların konumlarını sürekli güncellemektedir (Özkan, 2007).

2.3.2.2. Yapay Yer İmi Tanıma

Bu yöntemde diğer yer bilgilerinden farklı olarak yapay yerimi ortamda bilinen konumlara yerleştirilir. Yapay yer imlerinin avantajları zor çevre koşulları altında bile uygun bulunabilirlikte tasarlanabilir olmalarıdır (Borenstein ve ark., 1996). Etkin yol göstericileri ile konumu kestirebilmek için üç ya da daha fazla yerimi olmak zorundadır. Yer imi konumlandırması, konum hatalarının sınırlandırılmış olması gibi bazı avantajlara sahiptir. Fakat harici yer imlerinin belirlenmesi ve gerçek zamanlı konumlanmanın saptanması mümkün olmayabilir. Genellikle nokta biçimli yer imlerine benzemeyen yer imleri bölge, şekil gibi tek bir özellik olarak tanımlanabilir. Ek bilgiler, örneğin mesafe, yer iminin geometrik özelliklerinden türetilir. Fakat bu yaklaşım yoğun hesaplamalar gerektirir ve doğruluğu fazla değildir. İnşaat makineleri üreticisi Komatsu Ltd.(Tokyo, Japonya) tarafından kullanılan bir yerimi Şekil 2.8. 'de gösterilmektedir.



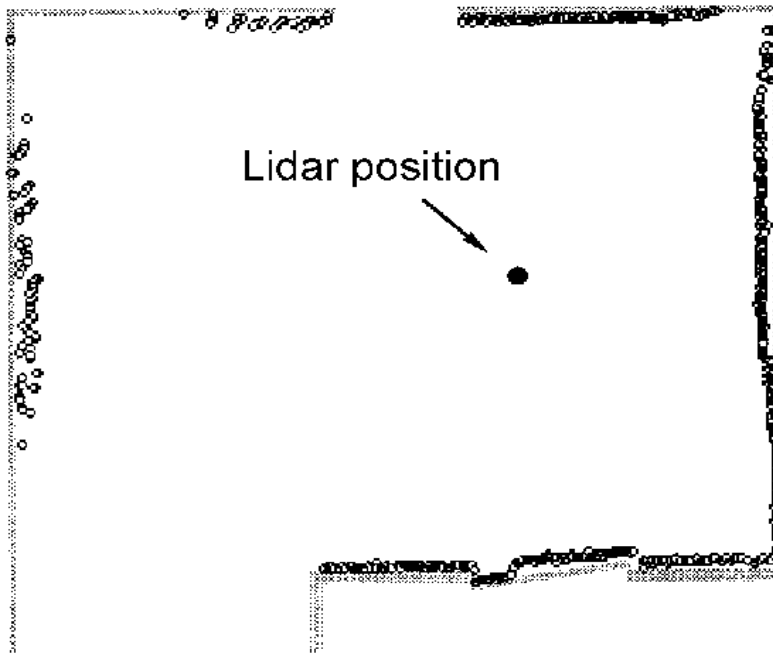
Şekil 2.8. Z biçimli yerimi (Borenstein ve ark., 1996)

2.3.2.3. Doğal Yer İmi Tanıma

Burada yer imleri çevrenin belirleyici özelliklerinden farklıdır. Çevrede herhangi bir düzenlemeye ihtiyaç duyulmamaktadır. Fakat çevre önceden biliniyor olmak zorundadır. Bu yöntemin güvenilirliği yapay yer imi ile gerçekleştirilen ölçümlerinki kadar yüksek değildir.

2.3.2.4. Model Eşleştirme

Bu yöntemde robot üzerine yerleştirilmiş bir algılayıcıdan elde edilen bilgi, çevrenin modeli olan bir harita veya dünya ile karşılaştırılır. Eğer algılayıcı tabanlı haritadan çıkarılan özellik ile model harita eşleşiyorsa aracın mutlak konumu kestirilebilir (Borenstein ve ark., 1996). Lazer darbeleri kullanılarak bir nesne veya bir yüzeyin uzaklığını anlamaya yarayan teknoloji olarak bilinen LIDAR (*Laser Imaging Detection and Ranging*) yöntemi model eşleştirmeye bir örnek olarak gösterilebilir. Uzaklığı ölçülecek nesne ya da yüzeye gönderilen lazer darbesinin gönderiliş zamanı ile nesneye çarpıp gelen yansımanın tekrar kaynağa ulaşma vakti arasındaki fark sayesinde uzaklık ölçülür. Işığın tutulma oranlarına bağlı olarak nesne tanıma işlevini de gerçekleştirmek mümkündür. Kaiserslautern Üniversitesi tarafından geliştirilmiş bir LIDAR sistemiyle elde edilmiş oda görüntüsü Şekil 2.9.' de verilmektedir.



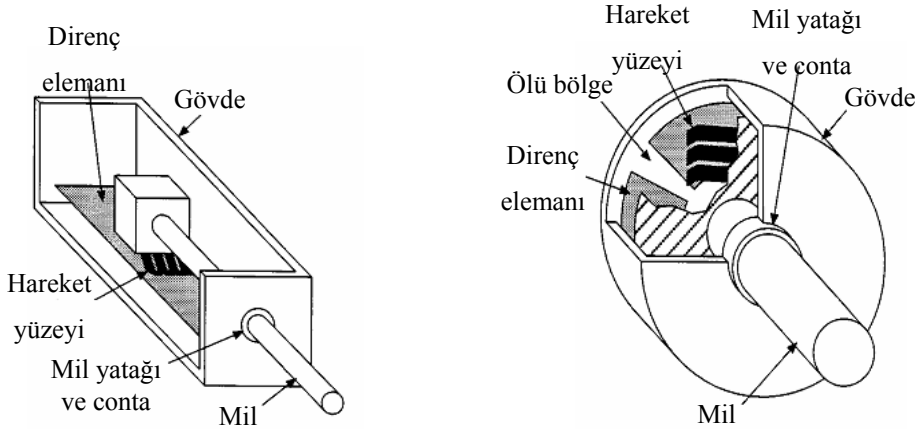
Şekil 2.9. Kaiserslautern Üniversitesi tarafından LIDAR yöntemiyle elde edilmiş bir oda görüntüsü (Borenstein ve ark., 1996)

Yönlendirmede kullanılan haritalar iki şekildedir. Bunlar geometrik haritalar ve topolojik haritalardır. Topolojik haritalar yay ve birleşme noktalarının bir ağı olarak dünyayı göstermelerinin aksine geometrik haritalar küresel bir koordinat sisteminde dünyayı gösterirler. Gezgin robotların yönlendirilmesi çok geniş bir alandır. Farklı yaklaşımların karşılaştırılmaları ortak test ölçütleri ve ortak yordamlar olmadığından oldukça zordur. Araştırma dağılımları çok çeşitlilik arz etmektedir.

2.4. Konum Algılayıcıları

2.4.1. Potansiyometrik Algılayıcılar

Bir konum veya yer değişimi doğrusal ya da döner hareketli bir potansiyometre ile direnç değişimine dönüştürülebilmektedir. Direnç değişimi ise iletkenin doğrusal uzunluğu ile orantılıdır. Böylece iletkenin uzunluğunu kontrol edecek bir aparat ile oluşan direnç değişimi ya da bir başka ifade ile yer değişiminin ölçümü yapılmış olur. Direnç ölçümü elektrik akımı gerektirdiği için potansiyometrik dönüştürücüler, bindirimli dönüştürücüler sınıfına girerler.



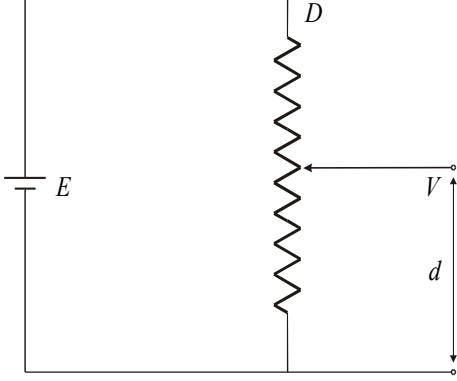
Şekil 2.10. Doğrusal ve dairesel hareketli potansiyometrelerin yapısı

Şekil 2.11. 'de görüldüğü gibi potansiyometrenin hareketli kısmına bağlanan uyarıcı (yer değişimi) direnç değişimine neden olur. Pratik uygulamaların çoğunda direnç ölçümü yerine gerilim ölçümü kullanılır. Doğrusal potansiyometrenin hareketli kısmındaki V gerilimi d yer değişimi ile aşağıdaki eşitlikte görüldüğü gibi orantılıdır:

$$V = E \frac{d}{D} \quad (2.1)$$

Burada D tam skala yer değişimi ve E potansiyometre uçlarındaki uyarım gerilimidir. Burada arabirim devresinin yükleme etkisi dikkate alınmamıştır. Yük

etkisinin büyük olduğu durumlarda çıkış geriliminin doğrusallığı bozulur. Ayrıca çıkış gerilimi uyarım gerilimi ile orantılı olduğundan sabit tutulmaması ise ayrıca bir hata kaynağıdır. Potansiyometrenin direnci formülde yer almadığından belirli bir sıcaklık aralığındaki kararlılığı, doğruluğu etkilemez. Düşük güçlü uygulamalarda, yüksek empedanslı potansiyometrelerin kullanılması istenilir ve bunun yanında yükleme etkisi daima dikkate alınır (Gürdal,2000).



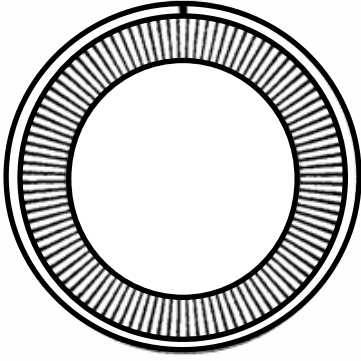
Şekil 2.11. Potansiyometre ile konum ölçümü (Gürdal, 2000)

2.4.2. Mil Kodlayıcılar

Bir dönüş mili ile birleştirilmiş kodlu disklerden meydana gelen mil kodlayıcıları, konum ölçümünde yaygın olarak kullanılmaktadır. Mil kodlayıcıları, çalışma şekillerine ve yapılarına göre artımlı (incremental) kodlayıcılar ve mutlak (absolute) kodlayıcılar olmak üzere iki grupta incelenmektedir.

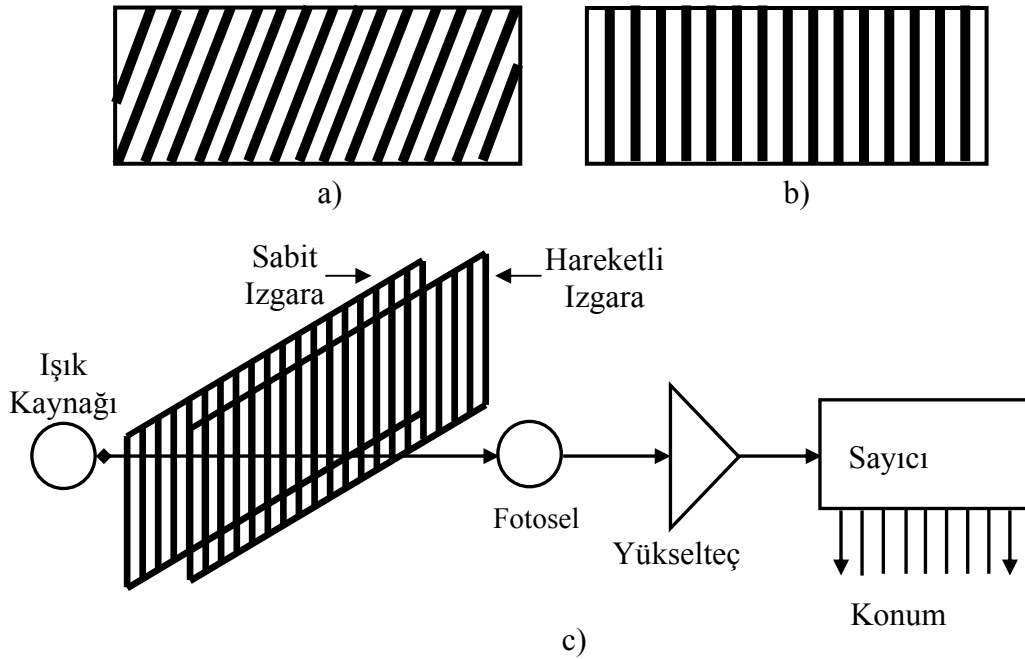
2.4.2.1. Artımlı Kodlayıcılar

Artımlı kodlayıcılar en basit konum ölçme düzenekleri olmakla beraber, potansiyometre, senkro veya mutlak mil kodlayıcılarında olduğu gibi, belirli pozisyon gösterimi vermezler. Artımlı kodlayıcılar bunun yerine, önceden tespit edilmiş bir mesafeye karşılık gelen her darbe ile bir darbe çıkışı sağlarlar. Bu darbeler, daha sonra kat edilen mesafeyi gösteren bir dış sayıcı tarafından sayılır. Basit ve ucuz olmakla beraber, artımlı kodlayıcıların bazı dezavantajları da vardır. Bunlardan birincisi, enerji kesilmesinden sonra normal olarak konum ölçme işlemi silinir.



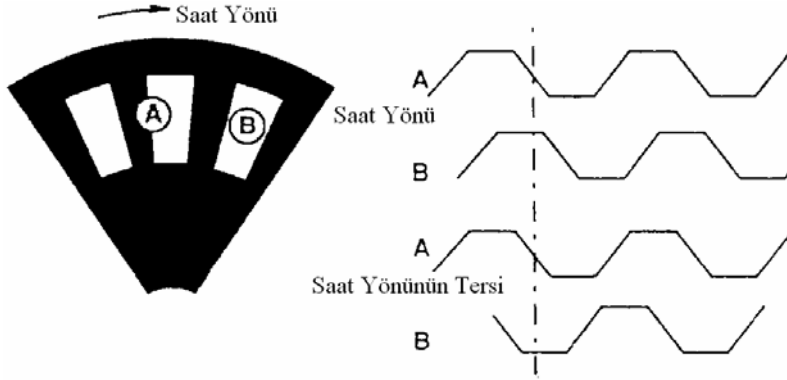
Şekil 2.12. Artımsal optik kodlayıcı disk

Bu sebeple, artırmalı kodlayıcı kullanan sayma işleminin tekrar başlatılabileceği bir başlangıç konumu belirlenmelidir. Dairesel hareketin ölçülmesinde kullanılan bir disk şekil 2.12’ de gösterilmektedir. Doğrusal yer değiştirmenin ölçülmesinde kullanılan bir düzenek Şekil 2.13.’te gösterilmektedir. Doğrusal Moire çerçeveleri kullanılarak çözünürlüğün artırılması sağlanmıştır. Izgara çerçevelerinin optik algılayıcılar tarafından sayılması sonucunda yer değiştirme ölçülmektedir (Parr, 2002).



Şekil 2.13. Doğrusal Moire çerçeveli konum dönüştürücüsü (a) Sabit ızgara (b) Hareketli ızgara (c) Ölçme Düzeneği (Parr, 2002)

Artımlı kodlayıcı diskler kullanılırken hareketin algılanması bir tek optik kanal yani bir alıcı verici çifti ile yapılabilirken yönün algılanmasında iki algılayıcı kullanılmaktadır. En çok kullanılan yaklaşım çeyrek algılama olup Şekil 2.14.’te gösterilmiştir. İki kanalın çıkış sinyallerinin bağıl konumları karşılaştırılmaktadır.

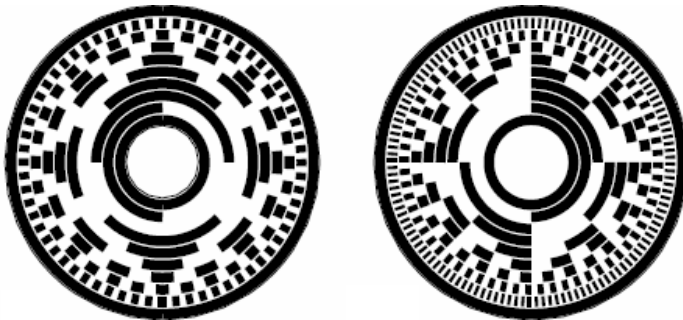


Şekil 2.14. Artımlı kodlayıcılarda yön algılama (Parr, 2002)

Karşılaştırma işleminden yön bilgisi çıkarılabilirken her bir kanal ayrı ayrı sadece sayma veya hız bilgilerini verebilmektedir. Şekil 2.14.'e göre disk saat yönünde dönerken A kanalının sinyali B'den 90° ileridedir; disk saat yönünün tersinde dönerken B kanalının sinyali A'dan 90° ileridedir.

2.4.2.2. Mutlak Kodlayıcılar

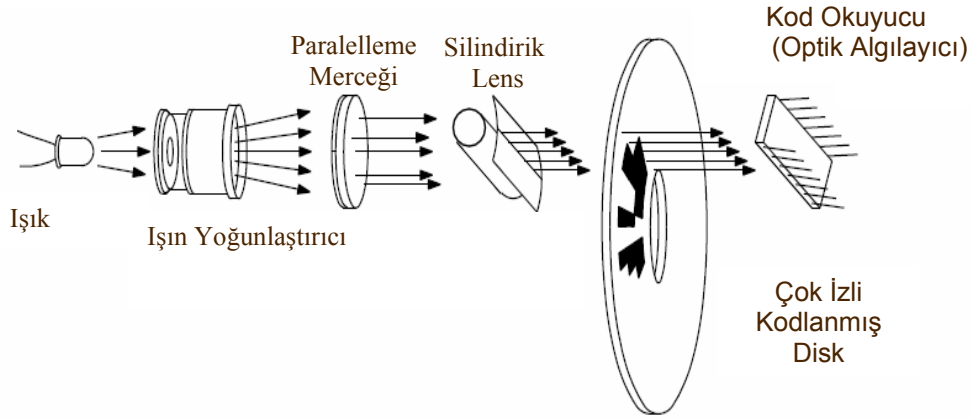
Herhangi bir açı için tek bir ikili kod okunabilecek şekilde saydam ve saydam olmayan kısımların desenini içeren bir dizi halkadan oluşur. Desenler optik algılayıcılar yardımıyla okunabilir. Mil girişine bir açısal yer değişimi uygulanabilir ve bu durumda paralel sayısal çıkış hatları, mil konumunu hiç kuşkuya yer vermeyecek bir şekilde gösterir. Şekil 2.15.'te mutlak optik kodlayıcı disk örnekleri gösterilmektedir.



Şekil 2.15. Mutlak optik kodlayıcı disk örnekleri

Bu yaklaşımla 4000 'de birlik bir çözünürlük (12 bitlik ikili) kolayca elde edilebilir. Kodlayıcı disk ışık huzmelerinin bir opto-yalıtıcı içinde kesilmesiyle işlev görür. Işık diskin koyu renkli kısmından geçerken algılayıcı çıkışı sayısal olarak düşük seviye (sıfır), şeffaf kısımlardan geçerken yüksek seviye (bir)'dir. Optik kodlayıcılar 820-940 nm tayf aralığında çalışan kızılötesi alıcı ve vericiden meydana gelir. Disk plastikten yapılmıştır ve koyu kısımlar fotografik işlem sonucunda gerçekleştirilir. Diskler hafif, düşük ataletli, ucuz maliyetli ve şok titreşimine karşı dayanıklı yapırlar.

Bununla beraber çalışma sıcaklık aralığı sınırlıdır. Kodlamalarda olası hataların önüne geçmek için Grey kodu sıklıkla kullanılır. Grey kodlamada her durum değişikliğinde sadece bir çıkış biti değişeceğinden belirsizlik durumları ortadan kalkacaktır. Mutlak mil kodlayıcılarının çoğunda Şekil 2.16. 'da gösterilen optik yöntem kullanılır.

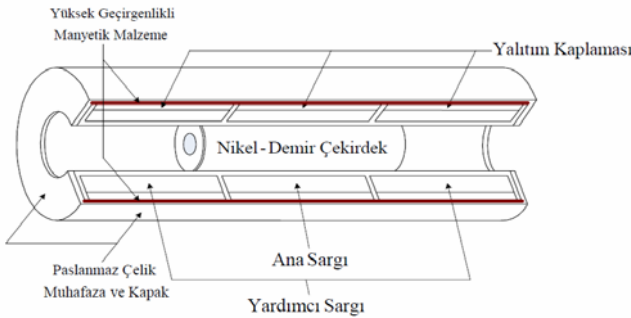


Şekil 2.16. Mutlak kodlayıcılarda konum okuma (Borenstein ve ark., 1996)

Disk bir tarafından aydınlatılır ve fotoseller diğer taraftaki iz desenini algılar. Işık akısının açısal konumuna karşılık gelen iz kodlaması doğrudan doğruya fotoselin yükselteçlerinden okunabilir (Gürdal, 2000).

2.4.3. Doğrusal veya Dairesel Değişimli Fark Transformatörleri

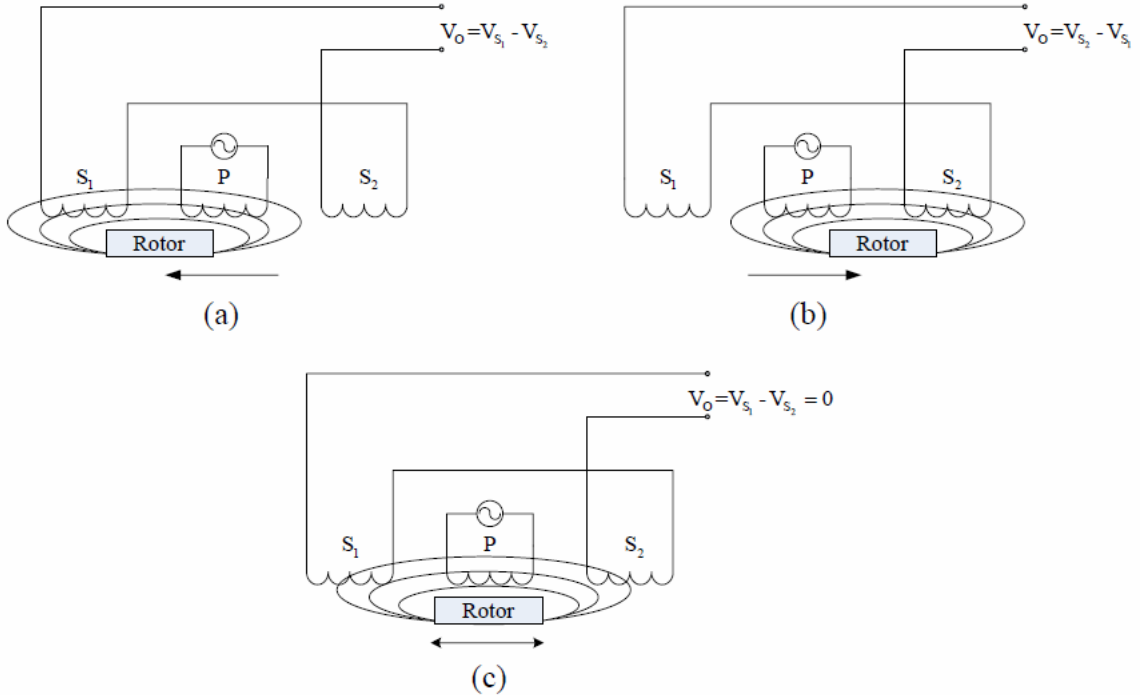
Doğrusal veya dairesel değişimli fark transformatörleri bir nesneye ilişkin doğrusal veya dairesel hareket bilgisini elektriksel işarete çeviren elektromekanik dönüştürücülerdir. İngilizce “Linear Variable Differential Transformer” kelimelerinin baş harflerinin birleşiminden meydana gelen LVDT kısaltmasıyla da isimlendirilen doğrusal değişimli fark transformatörleri bir inch ‘in milyonda birinden ± 20 inch (± 0.5 m) ‘e kadar geniş bir aralıkta meydana gelen hareketleri ölçmemize imkân tanır. Şekil 2.17. ‘de LVDT ‘ye ilişkin kısımlar görülmektedir (Güven, 2006).



Şekil 2.17. LVDT'nin yapısı (Güven, 2006)

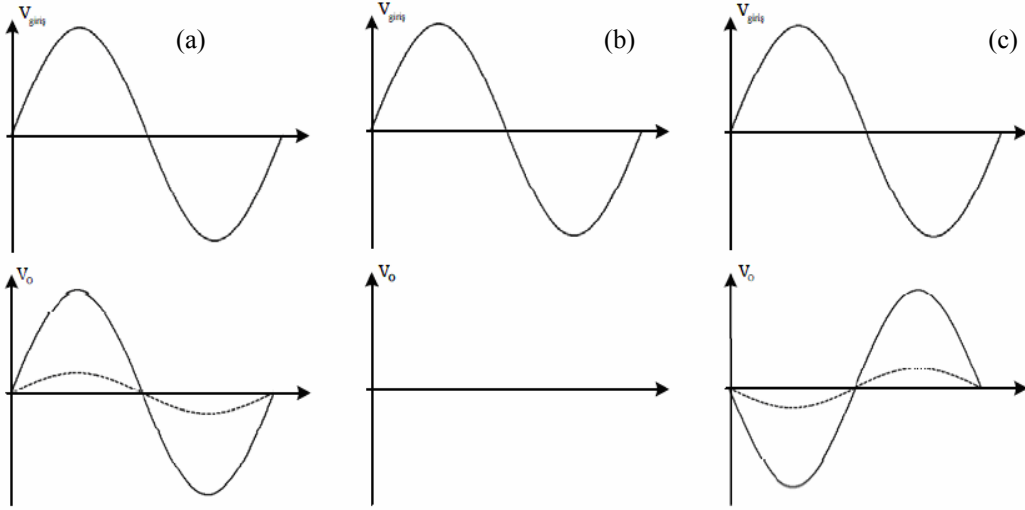
Farklı transformatörlerinde ana sargı, eşit büyüklükteki yardımcı sargıları simetrik yapacak şekilde yardımcı sargılar arasına tam merkeze yerleştirilmiştir. Bobinler tek parça olarak polimerle güçlendirilmiş ısı geçirmez cam oyuklara yerleştirilmiş, yalıtım malzemesi ile kaplanarak neme karşı koruma sağlanmıştır. Etrafı yüksek manyetik geçirgenliğe sahip kılıfla kaplanıp, paslanmaz çelikten bir kılıf içerisine yerleştirilmiştir. Bu bobin yapısı, genellikle dönüştürücünün duran kısmı olarak isimlendirilir.

LVDT 'nin hareket eden kısmı çekirdek olarak isimlendirilen boru şeklinde manyetik geçirgen bir rotordur (armatür). Rotor, boşlukta serbestçe ileri-geri doğrusal hareket yapabilmektedir. Konumu ölçülmek istenen nesneye mekanik olarak bağlanır. Rotorun hareket ettiği boşluk, rotor ile bobinler arasında fiziksel bir bağlantı meydana gelmeyecek şekildedir. Çalışma sırasında ana sargıya uygun genlik ve frekansa sahip alternatif akım uygulanır ve buna ana uyarma denir. LVDT 'nin çıkışındaki işaret rotorun boşluktaki konumu ile değişen yardımcı sargılar arasındaki AC gerilimin farkıdır. LVDT çıkışındaki AC gerilim uygun elektronik devreler kullanılarak daha yüksek bir DC gerilim seviyesine dönüştürülür veya kullanım açısından daha uygun olan akım haline dönüştürülür. P ; ana sargıyı, S_1 ; 1. yardımcı sargıyı, S_2 ; 2. yardımcı sargıyı göstermek üzere rotorun farklı konumları için LVDT 'ye ilişkin çıkış ifadeleri Şekil 2.18 'deki gibidir (Güven, 2006).



Şekil 2.18. a) İleri doğru hareket b) Geri doğru hareket c) Denge durumu

Eğer rotor, S_1 yardımcı sargısına S_2 yardımcı sargısından daha yakın bir konuma doğru hareket ediyor ise (Şekil 2.18. a), 1. sargı daha fazla akı tarafından kesileceğinden 1. sargıda indüklenen gerilim V_{S1} artarken 2. sargının gerilimi V_{S2} gittikçe azalacaktır. 1.sargıda indüklenen gerilim (V_{S1}), giriş gerilimi ile aynı fazdadır. (Şekil 2.19. a). Aksi durumda ise, 2. sargı daha fazla akı tarafından kesileceğinden 2. sargıda indüklenen gerilim (V_{S2}) artarken 1. sargının gerilimi (V_{S1}) gittikçe azalacaktır. (Şekil – 2.19. b) V_{S2} gerilimi ile giriş gerilimi arasında 180° faz farkı meydana gelir.(Şekil 2.19.c). Buradan çıkış geriliminin rotorun merkezden olan uzaklığı ile orantılı olduğu ve işaretinin de rotorun hareket yönü tarafından belirlendiğini sonucuna varılır.



Şekil 2.19. a) İleri hareket, b) denge konumu ve c) geri hareket için çıkış gerilimleri

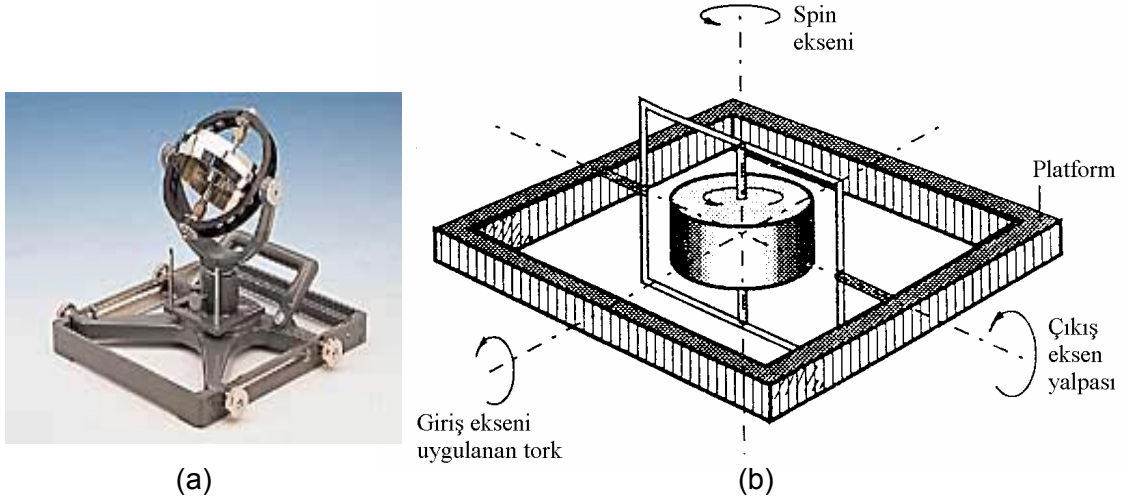
Dairesel değişimli fark transformatörleri (Rotary Variable Differential transformer-RVDT) LVDT'ler ile aynı prensipte çalışırlar. Aralarındaki tek fark döner ferromanyetik nüve kullanılmasıdır. RVDT'nin öncelikli kullanılma yeri açisal yer değişiminin ölçümüdür.

2.4.4. Jirokoplur

Manyetik bir pusula ile beraber jirokop çok kullanılan bir yakınlık algılayıcısıdır. Bazı durumlarda (örneğin uzayda) yerin manyetik alanı olmayabilir veya bazı parazitler tarafından değişebilir. Jirokop bir aracın konumunun tanımlanmasında vazgeçilmez bir ayardır. Uçak ve gemilerde yaygın olarak kullanılan jirokop kısaca jiro (yön tutucu) olarak söylenir ve bir saatteki sarkaç (zaman tutucu) gibi düşünülebilir. Çalışması açisal momentin korunumu temel prensibine dayanır. Herhangi bir parçacık

sisteminde sistem üzerine dış kuvvetlerin etki etmemesi şartıyla boşluktaki sabit noktaya göre sistemin toplam açısal momenti sabit kalır.

Jiroskopların bir türü olan mekanik jiroskoplar bir eksende dönebilen ağırca bir diskten oluşmaktadır. Eksen Şekil 2.20.' de de görüleceği gibi bir veya iki eksen etrafında dönebilen bir çerçeve ile kuşatılmıştır. Bundan dolayı eksen dönüş sayısına bağlı olarak jiroskoplar bir veya iki serbestlik dereceli tipte olabilir. Jiroskopun kullanışlılığını belirleyen iki nitelik aşağıdaki gibidir. Serbest jiroskopun dönüş (spin) eksenine üzerine dış kuvvetlerin etki etmemesi şartıyla uzaya göre sabit kalacaktır. Jiroskop bir tork veya çıkış sinyali üretecek şekilde yapılabilir, bu spin eksenine dik bir eksen etrafındaki açısal hızla orantılıdır (Gürdal, 2000).



Şekil 2.20. a) Mekanik jiroskop görünüşü b) Tek serbestlik dereceli mekanik jiroskop

Bir teker veya rotor serbest olarak döndüğünde aksenal konumunu korumaya çalışacaktır. Jiroskopun platformu giriş eksenine etrafında döndürülürse jiroskop dikey yani çıkış eksenine etrafında bir moment üretir. Böylece spin eksenini çıkış eksenine etrafında döndürür. Bu fenomen bir jiroskopun dönüş yalpası (precession) olarak adlandırılır ve Newton'un dönme hareket kanunu ile açıklanabilir. Giriş eksenine bir T momenti uygulandığı ve tekerin (rotor) ω hızı sabit tutulduğunda rotorun açısal momenti giriş eksenine göre sadece spin ekseninin izdüşümünün döndürülmesi ile değiştirilebilir, örneğin çıkış eksenine etrafında spin ekseninin dönüş oranı uygulanan moment ile orantılıdır.

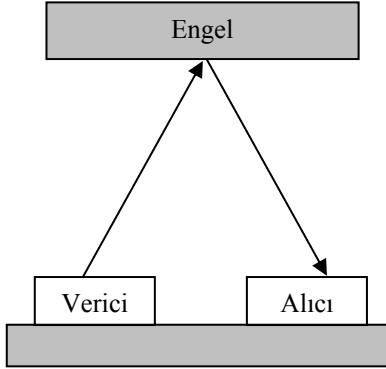
$$T = I\omega\Omega \quad (2.2)$$

Burada Ω çıkış eksenine etrafındaki açısal konum ve I ise spin eksenine etrafındaki jiroskop tekerinin ataletidir. Yalpa'nın yönünü belirlemek için şu kural kullanılabilir. Yalpa

uygulanan momentin dönüş yönü ile tekerin dönüş yönünü aynı hizaya getirecek bir yöndedir.

2.4.5. Ultrasonik Algılayıcılar

Ultrasonik kelime anlamı olarak insan kulağının duyabildiği frekansta yer alan sesin hemen üstünde bulunan yüksek frekanslardaki dalgalara verilen isimdir. Ultrasonik uzaklık algılayıcılar endüstride, askeri, ticari ve eğitim amaçlı temassız uzaklık ölçme uygulamalarında sıkça kullanılan ve diğer algılayıcılara göre birçok avantajları bulunan algılayıcı çeşitleridir (Uzun ve Özpınar, 2002). Bu ölçme düzeneklerinde insan kulağının duyamayacağı yüksek frekanslı bir ses dalgası (ultrasound) uzaktaki hedefe gönderilmekte ve yansıyan ses dalgası geri alınmaktadır. Ses dalgasının gönderilip engele çarpıp geri yansıması sırasında geçen süre hesaplanmakta ve elde edilen değer ses hızıyla çarpılmasıyla mesafe bilgisine ulaşılmaktadır. Mesafe ölçümünün yanı sıra aynı düzenek ile varlık ya da bir engel algılaması da gerçekleştirilebilir.



Şekil 2.21. Ultrasonik uzaklık ölçümü

Uzaklık ölçümü için gönderilen ve alınan ses dalgası arasında geçen zaman ölçülürse, bu süre sesin aradaki mesafeyi bir gidiş ve bir geliş için geçirdiği süreye eşit olacaktır. Sesin hızı sabit olduğundan (25 °C 'de 340 m/sn) hedefin uzaklığı basit bir çarpma işlemiyle bulunabilir. Sesin gidişi ve gelişi için harcadığı toplam süre Δt ile ifade edilirse, hedef ile ses dalgasının kaynağı arasındaki mesafe ΔX olmak üzere;

$$\Delta X = \frac{\Delta t}{2} \cdot V_{SES} = \frac{\Delta t}{2} \cdot 340 \left(\frac{m}{sn} \right) \quad (2.3)$$

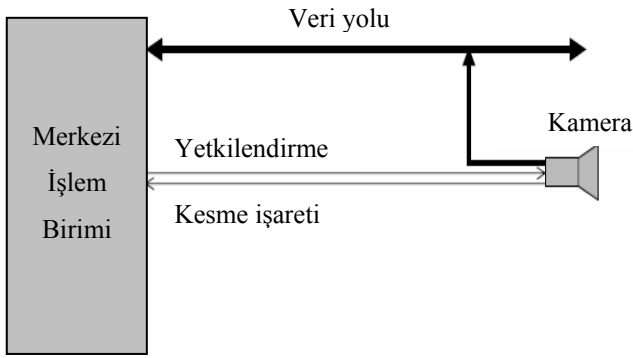
eşitliği elde edilmektedir. Süre ikiye bölünmelidir. Çünkü aradan geçen süre bir gidiş ve bir geliş zamanı için geçen süredir.

Ultrasonik algılayıcıların oldukça çeşitli kullanım alanları vardır. Gezgin bir robot dizgesine yerleştirilmek suretiyle robotun engellerden kaçmasını sağlayabileceği gibi, bu engellerin ya da olası hedeflerin ne kadar uzakta olduğunu hesaplamak mümkün olacaktır. Özellikle kısa mesafe ölçümlerinde bir ölü banda (kör nokta) sahip olmalarına rağmen ultrasonik algılayıcılar yaygın bir kullanıma sahiptirler (<http://robot.cmpe.boun.edu.tr/593/index.html>, 2007).

2.4.6. Kameralar

Kameralar robotikte kullanılan en karmaşık algılama elemanlarıdır. İşlemci hızı ve bellek gereksinimlerinden dolayı gömülü sistemlerde son zamanlara kadar kullanılmamışlardır. Günümüzde görüntü işleyicilere sahip kameralar yaygın bir kullanım alanına sahiptirler. Temelde iki tür kamera çeşidi vardır. Analog kameralar ve dijital kameralar. Her iki kamera tipinin de kablolu ve kablosuz türleri mevcuttur. Kameralarda teknik özellikleri belirleyen iki ana bileşen, görüntü algılayıcısı ve kullanılan sayısal işaret işleyici tüm devredir. Görüntü algılayıcısı olarak CCD (charge coupled device) veya CMOS (complementary metal oxide semiconductor) algılayıcılar kullanılmaktadır. CCD algılayıcılar CMOS algılayıcılara göre daha kaliteli görüntü vermektedir. Fakat fiyatları daha pahalı olmakla birlikte, üretimleri de zordur. Ayrıca CMOS algılayıcılara göre daha çok enerji gereksinimleri vardır. CMOS algılayıcılar ise daha düşük görüntü kalitesine sahiptirler. Fiyatları uygun ve üretimleri kolaydır.

Kamera için kullanılan 16 bit, 8 bit veya 4 bit seri ya da paralel tipik donanım arayüzleri kullanılmaktadır. Bunlara ek olarak denetleyici tarafından üretilmesi gereken birtakım işaretlere ihtiyaç vardır. Sadece birkaç algılayıcı, denetleyici ile uyum içerisinde iletişime geçerek (tokalaşma) görüntü bilgisinin tamponlanmasına ve daha yavaş okunmasına izin verir. Ayrıca standart kamera tüm devreleri saat işaretine de ihtiyaç duymaktadır. Veri akışını yönetebilmek için işlemcinin yeterli düzeyde hızlı olması zorunludur. Bir kamera ile merkezi işlem birimi için oluşturulan arayüz şekil 2.22.'de gösterilmiştir. İşlemci kameradaki görüntü sonucunda meydana gelen kesme istemiyle yetkilendirme işareti göndermekte, kameradaki görüntü bilgisi doğrudan veri hattına aktarılmaktadır. Kamerada oluşan her görüntü byte merkezi işlem birimine bir kesme istemi gönderecektir. Bu istem sonucunda kamera çıkışı yetkilendirilerek görüntü bilgisi veri hattına aktarılacaktır (Bräunl, 2006).



Şekil 2.22. Kamera ve işlemci arayüzü

2.5. Algılayıcı Karakteristikleri

Ölçme sorununu ortadan kaldıracak veya en aza indirecek uygun algılayıcı-dönüştürücü düzeneğin seçiminde göz önünde bulundurulması gereken unsurlar söz konusudur. Gelişen teknoloji ölçme alanında da birçok ürünü kullanıcı hizmetine sunmuştur. Birçok seçeneğin arasından ölçme sorununu en iyi şekilde çözebilecek algılayıcı-dönüştürücü düzeneğin belirlenmesinde ve oluşturulmasında dikkat edilmesi gereken noktalar bulunmaktadır. Bir başka ifade ile dönüştürücü seçiminde önemli olan bazı ölçütler mevcuttur. Bu bölümde karakteristik nitelikler hakkında bilgi verilecektir.

Bir algılayıcı veya dönüştürücü girişinden çıkışına elektrik sinyali üretmesi için bazı dönüşüm adımlarına sahip olabilir. Örneğin, platin dirençli bir termometrenin direnci sıcaklığa bağlı olarak değişir. Burada fiziksel yapısı veya dönüşüm yapmak için gerekli adımlar dikkate alınmaksızın bütün algılayıcı karakteristikleri tartışılacaktır. Bir algılayıcı sadece çıkış ve giriş sinyalleri arasındaki ilişkiler ile ilgilenilen bir kutu olarak dikkate alınacaktır.

2.5.1. Geçiş İşlevi

İdeal veya teorik bir çıkış-uyarıcı ilişkisi her algılayıcı için mevcuttur. Şayet ideal çalışanlar tarafından ideal malzemelerle bir algılayıcının tasarımı ve üretimi yapılmışsa böyle bir algılayıcının çıkışı daima uyarıcının gerçek değerini temsil edecektir. İdeal işlev tablo değerleri, grafik veya bir matematiksel eşitlik biçiminde ifade edilebilir. İdeal (teorik) bir çıkış-uyarıcı ilişkisi geçiş işlevi ile karakterize edilir. Geçiş işlevi algılayıcı tarafından üretilen S elektrik sinyali ve s uyarıcı sinyali arasındaki

bağımlılığı tesis eder. Uyarıcı ve çıkış arasında bir doğrusal ilişki veya doğrusal olmayan bir bağımlılık olabilir. Doğrusal bir ilişki

$$S = a + bs \quad (2.4)$$

eşitliği ile temsil edilir. Burada a kesişim noktası yani sıfır giriş sinyalindeki çıkış değeridir. b eğim olup bazen duyarlılık olarak adlandırılır. S çıkış elektrik sinyalinin karakteristiklerinden biridir. Algılayıcının özelliklerine bağlı olarak genlik, faz veya frekansı olabilir.

Logaritmik fonksiyon

$$S = a + b \ln s \quad (2.5)$$

Üstel fonksiyon

$$S = ae^{ks} \quad (2.6)$$

Güç fonksiyonu

$$S = a_0 + a_1 s^k \quad (2.7)$$

olarak ifade edilebilir. Burada k bir sabit sayıdır.

Bir algılayıcı yukarıdaki yaklaşımların hiçbirinin tam olarak yeteri kadar uyamayacağı bir geçiş işlevine sahip olabilir. Bu durumda daha yüksek dereceli çokterimli yaklaşım sıklıkla kullanılır. Doğrusal olmayan transfer fonksiyonu için b duyarlılığı (2.4) eşitliğindeki gibi sabit bir sayı değildir. Herhangi bir s_0 belirli giriş değerinde duyarlılık aşağıdaki gibi tanımlanabilir.

$$b = \frac{dS(s_0)}{ds} \quad (2.8)$$

Çoğu durumlarda doğrusal olmayan bir algılayıcı sınırlı bir aralık üzerinde doğrusal olarak dikkate alınır. Genişletilmiş aralık üzerinde doğrusal olmayan transfer fonksiyonu birkaç düz çizgi ile modellenilebilir. Bu parçalı doğrusal yaklaşım olarak adlandırılır. Bir fonksiyonun doğrusal bir model ile temsil edilip edilemeyeceğini belirlemek için çıkış değeri gözlenirken giriş artan değişken değerleri verilir. Doğrusal model ve gerçek tepki arasındaki fark belirlenen doğruluk sınırları içinde karşılaştırılır(Gürdal, 2000).

2.5.2. Doğrusallık

Ölçülen büyüklükteki her bir yüzdelik değişimin dönüştürücü çıkışında da aynı oranda görülmesi doğrusallık olarak adlandırılır. Bu değişim aynı oranda değilse dönüştürücü doğrusal değildir. Dönüştürücü çoğu zaman ölçülen büyüklüğün her

değerinde doğrusal olmayabilir. Bu durumda dönüştürücünün doğrusal olduğu bölge bulunur ve dönüştürücü bu aralıkta kullanılır. Robot hareketlerini denetlemek amacıyla kullanılan akımı basınca çeviren dönüştürücü düzeneklerden biri olan ve Foxboro firması tarafından üretilen dönüştürücü için 5 noktada yapılan doğrusallık testi sonucunda aşağıdaki değerler alınmıştır. Tablo dikkatle incelendiğinde giriş ve çıkış arasında doğrusal bir ilişki olduğu görülür. Akım 4.0 mA'den 8 mA'ye yükseldiğinde, çıkış basıncının da iki kat arttığı söylenebilir.

Çizelge 2.1. Doğrusallık testi sonuçları

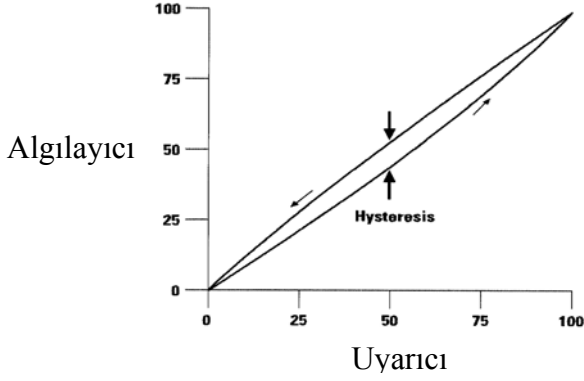
	I(mA)	P(psi)
1	4.0	83.13
2	8.0	166.36
3	12.0	249.59
4	16.0	332.80
5	20.0	416.02

2.5.3. Ölçme Aralığı

Her bir algılayıcı-dönüştürücünün ölçüm yapabildiği bir aralık söz konusudur. Yani her algılayıcının ölçebileceği bir en az ve bir en fazla değer vardır. Dolayısıyla dönüştürücü düzenek oluşturulurken çalışma koşulları analiz edilip, sistem değişkeninin değişim aralığı belirlenmelidir. Örneğin yer değiştirmenin ölçümünde kullanılan basınç algılama elemanına uygulanan basınç ölçüm aralığının dışında olursa algılayıcı tepki vermeyebilir. Giriş büyüklüğünün ölçme değerinin üzerine çıkması basınç algılayıcısının zarar görmesine neden olabilecektir. Ölçüm aralığı çok geniş olan bir basınç algılayıcısı ile hassas bir ölçüm yapılamayacaktır. Ölçme aralığının dar olması işlemin hassasiyetini artırmaktadır.

2.5.4. Histeresiz

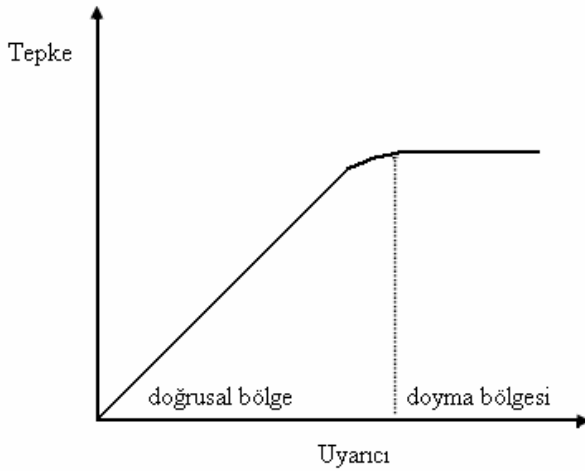
Histerezis hatası giriş sinyalinin belirli bir noktasına ters yönde yaklaşılırken algılayıcı çıkışında meydana gelen sapmadır. (Şekil 2.23.) Örneğin SHARP firması tarafından üretilen infrared mesafe algılayıcısında farklı mesafelerin ölçülmesi sırasında aynı gerilim değerlerini çıkışa aktarmaktadır.



Şekil 2.23 Histerezisli geçiş işlevi

2.5.5. Doyum

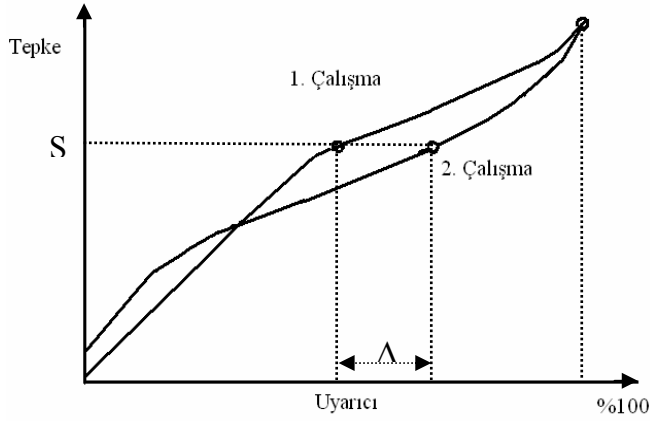
Hemen hemen her algılayıcı kendi çalışma sınırlarına sahiptir. Doğrusal olarak dikkate alınsa bile giriş uyarıcısının bazı seviyelerinde çıkış sinyali daha fazla tepki veremez. Uyarıcının daha fazla artışı istenilen bir çıkış üretmez. Bu algılayıcının giriş-çıkış değer doğrusalsızlığı veya doyum'a sahip olduğu şeklinde söylenir (Gürdal, 2000).



Şekil 2.24 Doyumlu geçiş işlevi

2.5.6. Tekrarlanabilirlik

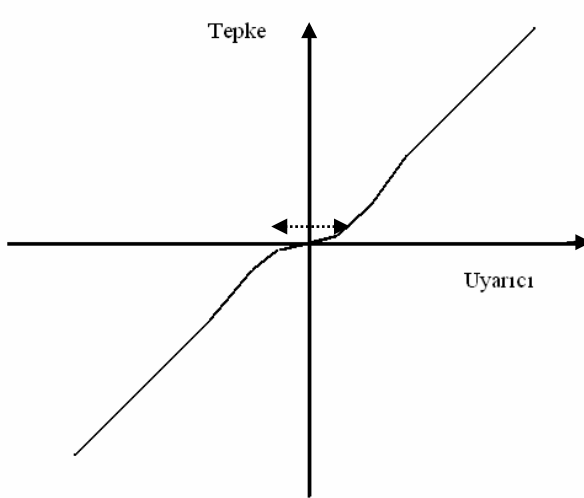
Tekrarlanabilirlik veya yeniden üretebilme hatası benzer şartlar altında bir algılayıcının aynı değeri verememesi olarak açıklanabilir. Tekrarlanabilirlik hatasının muhtemel kaynakları ısı gürültü, biriken yük, malzemenin esneklik katsayısı vb. olabilir.



Şekil 2.25. Tekrarlanabilirlik hatası: Aynı S_1 çıkış sinyali iki farklı giriş sinyaline karşılık gelir

2.5.7. Ölü Bant

Ölü bant giriş sinyallerinin belirli bir aralığında algılayıcının duyarsızlığıdır (Şekil 2.26.) Bu aralıkta bütün ölü bant bölgesi üzerinde çıkış belli bir değere yakın kalabilir. Bu değer genellikle sıfırdır.



Şekil 2.26. Geçiş işlevindeki ölü-bant bölgesi

2.5.8. Çözünürlük

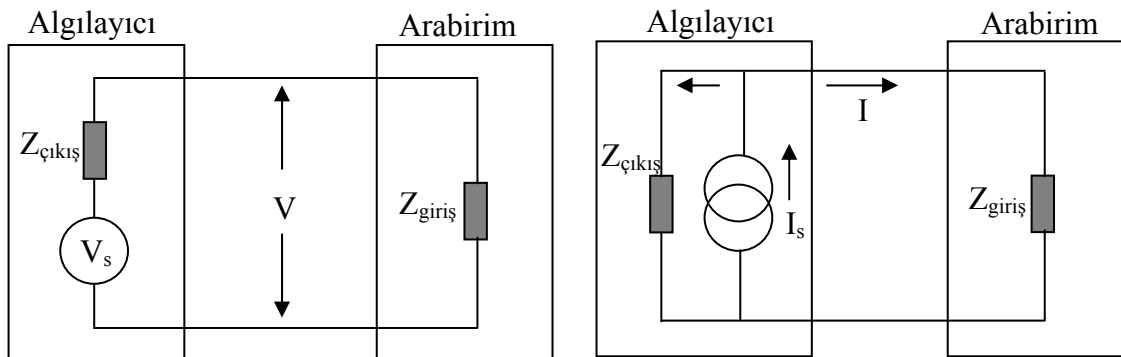
Çözünürlük uyarıcının algılanabilecek en küçük artışlarını tanımlar. Bir uyarıcı ölçüm aralığı üzerinde sürekli olarak değiştiğinden aynı algılayıcıların çıkış işaretleri gürültüsüz şartlarda bile mükemmel düzgün olmayacaktır. Çıkış küçük adımlarda değişebilir. Belirli şartlar altında (şayet varsa) çıkışın en küçük adımı ile sonuçlanan girişin genlik değişimi çözünürlük olarak belirlenebilir. Örneğin canlı dedektörü için

çözünürlük şöyle belirlenebilir. Çözünürlük 5 metre uzaklıkta 20 cm'lik cismin minimum eş uzaklıklı yer değişimidir. Tel sarımlı potansiyometrik açısal algılayıcılar için çözünürlük $0,5^\circ$ lik açı olarak belirlenebilir. Bazen tam skala olarak belirlenebilir. Örneğin 270° tam skalaya sahip açısal algılayıcı için $0,5^\circ$ lik çözünürlük % 0,181 tam skala olarak belirlenebilir. Adım büyüklüğünün bütün aralık üzerinde değişebileceğine dikkat edilmelidir. Bundan dolayı çözünürlük tipik, ortalama veya en kötü olarak belirlenebilir.

Dijital çıkış formatlı algılayıcıların çözünürlüğü veri kelimesinde bit'lerin sayısı ile verilir. Örneğin çözünürlük 8-bitlik çözünürlük olarak belirlenebilir. Çıkış sinyalinde hiç ölçülemeyen adım yoksa, algılayıcının sürekli veya sonsuz küçüklükte çözünürlüğe sahip olduğu söylenir (Gürdal, 2000).

2.5.9. Çıkış Empedansı

Çıkış empedansı, $Z_{\text{çıkış}}$ bir algılayıcının elektronik devre ile daha iyi arabirim durumunun bilinmesi için önemlidir. Bu empedans devrenin $Z_{\text{giriş}}$ empedansı ile ya paralel bağlanır (gerilim bağlantısı) ya da seri (akım bağlantısı) bağlanır. Şekil 2.27' de iki bağlantı görülmektedir. Çıkış ve giriş empedansları etkin ve pasif bileşenler içerebildiğinden genelde karmaşık formda temsil edilmeleri gerekir. Çıkış sinyalindeki bozulmaları en aza indirmek için akım üreten algılayıcı (Şekil 2.27.b) olabildiğince yüksek çıkış empedansına sahip olmalı ve devrenin giriş empedansı düşük olmalıdır. Gerilim bağlantısı için (şekil 4.5a) algılayıcı tercihen düşük $Z_{\text{çıkış}}$ ve devre olabildiği kadar pratik yüksek $Z_{\text{giriş}}$ 'e sahip olmalıdır (Gürdal, 2000).



Şekil 2.27. Gerilim ve akım çıkışlı algılayıcılar için uygun arabirim devresi

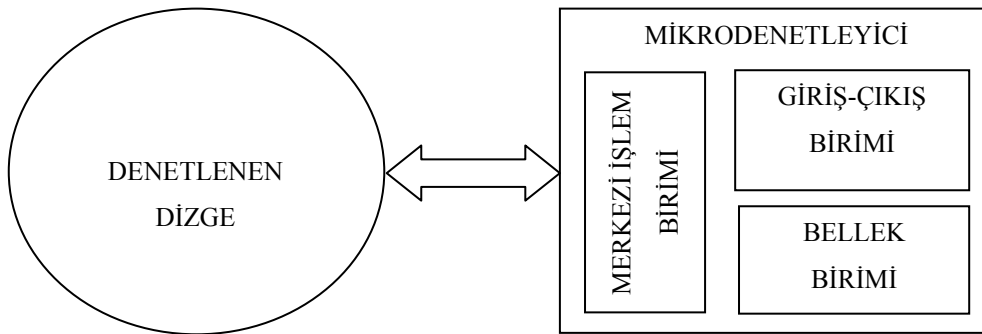
2.5.10. Uygulama Karakteristikleri

Tasarım, ağırlık ve dış boyutlar uygulamanın özel alanları içine girmektedir. Algılayıcının güvenilirliği ve doğruluğu en büyük önemde olduğunda maliyet ikinci bir sorun olarak kalmaktadır. Diğer taraftan tüketici uygulamalarının çok geniş bir aralığında algılayıcının fiyatı sıklıkla tasarımın bir köşe taşı olur. Örneğin insan vücudunun sıcaklıkları tercihen ısı ışınım termometreleri ile kulak kanalından alınmalıdır. 1986'da bu aygıtların ortaya çıkarılmasından sonra birkaç yıl süresince kulak termometrelerinin uygulaması sadece hastaneler ile sınırlanmıştı. Bunun nedeni ısı ışınımı algılamak için oldukça pahalı ısı algılayıcıların kulak termometrelerinde kullanılmış olmasıydı. Sonuç olarak böyle bir aygıtın fiyat etiketi 500\$-700\$ arasındaydı. 1991'de tıbbi bir kızıl ötesi termometrenin ev tipi, bu fiyatın 5 de biri olarak piyasaya sürülmüştür.

Çevresel faktörler ve çalışma koşulları, algılayıcı çıkışlarını etkilemektedir. Nem, sıcaklık, yüksek frekanslı bozucular bu çevresel faktörlerden bazılarıdır. Uzun süre kullanılan dönüştürücülerin doğruluk özelliği azalmaktadır. Ve hatalı ölçümlere yol açmaktadır. Bu nedenle dönüştürücülerin periyodik olarak kalibre edilmeleri gerekmektedir (Gürdal, 2000).

2.6. Mikrodenetleyiciler

Basit bir entegreden oluşan mikrodenetleyiciler, bir bilgisayar sisteminin içerisinde bulunan temel birimleri üzerlerinde barındırmaktadırlar. Merkezi işlem birimi (CPU, Central Processing Unit), bellek(Memory) ve giriş-çıkış birimleri(I/O Port) tek bir entegre üzerinde toplanmıştır. Mikrodenetleyici içerisine yerleştirilen silikon parçalarının özellikleri standart kişisel bilgisayarlardakine benzerdir. Temel yapısı şekil 2.28. 'de gösterilmiştir.



Şekil 2.28. Mikrodenetleyicinin temel yapısı (Altınbaşak, 2004)

2.6.1. Mikrodenetleyicilerin Üstünlükleri

Mikrodenetleyicilerin mikroişlemcilerle göre üstünlükleri oldukça fazladır. Mikroişlemcili bir denetim sistemi oluştururken mikroişlemcinin yanı sıra bellek (RAM, ROM veya EPROM), GİRİŞ / ÇIKIŞ birimi ve buna benzer birçok donanım kullanılmaktadır. Bu sistemin tasarlanması ve yapımı sıkıntılı olmakla birlikte maliyet olarak ta yüksektir. Mikrodenetleyicilerde bir sistemin çalıştırılabilmesi için yalnızca bir mikrodenetleyici ve osilatör devresi gerekmektedir. Sistemde gerekli olan ön bellek ve GİRİŞ / ÇIKIŞ birimi mikrodenetleyiciler içinde bir yonga halindedir.

2.6.2. PIC Mikrodenetleyicileri

Bu denetleyici adını "çevresel ünite denetleme arabirimi" anlamına gelen İngilizce ifadesinin baş harflerinden (Peripheral Interface Controller) almaktadır. İlk olarak 1994 yılında 16 bitlik ve 32 bitlik büyük işlemcilerin, giriş ve çıkışlarındaki yükü azaltmak ve denetlemek amacıyla çok hızlı bir çözüme ihtiyaç duyulduğu için geliştirilmiştir.

2.6.2. PIC Mikrodenetleyicilerinin Tercih Edilme Sebepleri

PIC mikrodenetleyicilerin başlıca tercih edilme sebepleri:

- a) Mantık (Lojik) uygulamalarının hızlı olması,
 - b) Fiyatının oldukça ucuz olması,
 - c) 8 bitlik mikrodenetleyiciler olması ve bellek ile veri için ayrı yerleşik BUS'ların(Veri yolu) kullanılması,
 - d) Veri ve belleğe hızlı olarak erişiminin sağlanması,
 - e) PIC'e göre diğer mikrodenetleyicilerde veri ve programı taşıyan bir tek bus bulunması, dolayısıyla PIC'in bu özelliği ile diğer mikrodenetleyicilerden iki kat daha hızlı olması,
 - f) Herhangi bir ek bellek veya giriş / çıkış elemanı gerektirmeden sadece 2 kondansatör ve bir direnç ile çalışabilmeleri,
 - g) Yüksek frekanslarda çalışabilme özelliği,
 - h) Stand-by durumunda çok düşük akım çekmesi,
 - i) Kesme kapasitesi ve 14 bit komut işleme hafızası.
- olarak sıralanabilir.

Kod sıkıştırma özelliği ile aynı anda birçok işlem gerçekleştirebilmesi, PIC mikrodenetleyicilerini çeşitli özelliklerine göre PIC16C6X, 16C7X, 16C5X gibi gruplara ayırırlar.

2.6.4. PIC' in Kullanımı İçin Gerekli Aşamalar

Giriş / Çıkış: Mikrodenetleyicinin dış dünya ile ilişkisini sağlayan, giriş veya çıkış olarak ayarlanabilen bağlantı uçlarıdır. Giriş / Çıkış mikrodenetleyicinin kontrol işareti üretmesine veya bilgi okumasına imkan sağlar.

Yazılım: Mikrodenetleyicinin çalışmasını ve işletilmesini sağlayan bilgidir. Başarılı bir uygulama için yazılım hatasız olmalıdır. Yazılım C, Basic, Pascal veya Assembler gibi çeşitli dillerde yazılabilir.

Donanım: Mikrodenetleyici, bellek, arabirim bileşenleri, güç kaynakları, sinyal düzenleyici devreler, bunları çalıştırmak ve arabirim görevini üstlenmek için bu cihazlara bağlanan tüm bileşenlerdir.

Benzetimci (Simülatör): PC üzerinde çalışan ve mikrodenetleyicinin içindeki işlemleri benzetim yapan PIC Simulator IDE gibi bir yazılım paketidir. Olayların ne zaman meydana geldiği biliniyorsa, bir benzetimci kullanmak tasarımları test etmek için kolay bir yol olacaktır. Öte yandan benzetimci, programları tümüyle veya adım adım izleyerek hatalardan arındırma fırsatı sunar.

Kaynak Dosyası: Hem Assembler'in, hem de tasarımcısının anlayabileceği dilde yazılmış bir programdır. Kaynak dosya mikrodenetleyicinin anlayabilmesi için önceden assemble edilmiş olmalıdır.

Assembler: Kaynak dosyayı bir nesne dosyaya dönüştüren yazılım paketidir. Hata araştırma bu paketin yerleşik bir özelliğidir. Bu özellik Assembler edilme sürecinde hatalar çıktıkça programı hatalardan arındırırken kullanılır. MPASM, tüm PIC ailesini elinde tutan Microchip'in son assemble edicisidir.

Nesne Dosyası (object file): Assembler tarafından üretilen bu dosya; programcı veya benzetimcinin anlayabilecekleri ve böylelikle dosyanın işlevlerinin çalışmasını sağlayabilecekleri bir dosyadır. Dosya uzantısı assembler edicinin emirlerine bağlı olarak “.OBJ” veya “.HEX” olur.

2.6.5. PIC Mikrodenetleyicilerinin Özellikleri

Güvenirlik: PIC komutları bellekte çok az yer kaplarlar. Dolayısıyla bu komutlar 12 veya 14 bitlik bir program bellek sözcüğüne sığarlar. Harvard mimarisi teknolojisi kullanılmayan mikrodenetleyicilerde de yazılım programının veri kısmına atlama yaparak bu verilerin komut gibi çalıştırılmasını sağlamaktadır. Buda büyük hatalara yol açmaktadır. PIC'ler de bu durum engellenmiştir.

Hız: PIC oldukça hızlı bir mikrodenetleyicidir. Her bir komut döngüsü $1\mu s$ 'dir. Örneğin 5 milyon komutluk bir programın 20Mhz'lik bir kristale işletilmesi yalnız $1s$ sürer.

Statik İşlem: PIC tamamıyla statik bir işlemcidir. Yani saat durdurulduğunda da tüm kaydedici içeriği korunur. Pratikte bunu tam olarak gerçekleştirebilmek mümkün değildir. PIC mikrodenetleyicisi programı işletilmediği zaman uyku moduna geçilerek mikrodenetleyicinin düşük akım çekmesi sağlanır. PIC mikrodenetleyicisi uyku moduna geçirildiğinde, saat durur ve PIC mikrodenetleyicisi uyuma işleminden önce hangi durumda olduğunu çeşitli bayraklarla ifade eder (elde bayrağı, zero bayrağı vs.) PIC mikrodenetleyicisi uyuma modunda $1\mu A$ 'den küçük değerlerde akım çeker.

Sürme Özelliği (Sürücü Kapasitesi): PIC mikrodenetleyicisi yüksek bir çıktı kapasitesine sahiptir. Tek bacadan 40mA akım çekebilmekte ve entegre toplamı olarak 150mA akım akıtma kapasitesine sahiptir. Entegrenin 4MHz osilatör frekansında çektiği akım çalışırken 2mA, stand-by durumunda ise $2\mu A$ kadardır.

Seçenekler: PIC mikrodenetleyicisi ailesinde her türlü ihtiyaçların karşılanacağı çeşitli hız, sıcaklık, kılıf, giriş / çıkış hatları, zamanlama (timer) fonksiyonları, seri iletişim portları, A/D ve bellek kapasite seçenekleri bulunur.

Güvenlik: PIC mikrodenetleyicisi endüstride en üstünler arasında yer alan bir kod koruma özelliğine sahiptir. Koruma bitinin programlanmasından itibaren, program belleğinin içeriği, program kodunun yeniden yapılandırılmasına olanak verecek şekilde okunmaz.

Geliştirme: PIC mikrodenetleyicisi program geliştirme amacıyla programlanabilip tekrar silinebilme özelliğine sahiptir (EPROM, EEPROM). Aynı zamanda seri üretim amacıyla bir kere programlanabilir (OTP) özelliğine sahiptir.

Liste Dosyası: Assembler tarafından oluşturulan ve kaynak dosyadaki tüm komutları hexadecimal sistemdeki değerleri ve tasarımcının yazmış olduğu

yorumlarıyla birlikte içeren bir dosyadır. Bir programı hatalardan arındırırken araştırılacak en yararlı dosya budur. Çünkü bu dosyayı izleyerek yazılımlarda neler olup bittiğini anlama şansı kaynak dosyasından daha fazladır.

Diğer Dosyalar: Hata dosyası hataların bir listesini içerir ancak bunların kaynağı hakkında hiçbir bilgi vermez.

2.6.6. PIC Mikrodenetleyicilerinin Donanımsal İncelenmesi

PIC mikrodenetleyiciler özellikle PIC16F84 yüksek hızlı otomobillerden, motor kontrolü uygulamalarına, düşük enerji sarfiyatlı uzaktan çalışan algılayıcılar, elektronik kilitler, güvenlik aygıtları ve akıllı kartlara kadar çeşitli uygulamalarda kullanılırlar. EEPROM teknolojisi uygulama programların (transmitter kodları, motor hızları, alıcı frekansları, güvenlik kodları vb.) yürütülmesini son derece hızlı ve uygun hale getirmektedir. Küçük boyutlarıyla bu mikrodenetleyiciler alan sınırlaması bulunan uygulamalarda kusursuzdur. Düşük maliyet, düşük enerji sarfiyatı, yüksek performans, kullanım kolaylığı ve GİRİŞ / ÇIKIŞ esnekliği özellikle de PIC16F84 mikrosunun daha önce kullanılması hiç düşünülmeyen alanlarda kullanılmasını sağlamaktadır. Zamanlayıcı, seri iletişim ve PWM fonksiyonları birçok uygulamalarda bu denetleyicinin kullanılabilmesine imkân sağlamıştır.

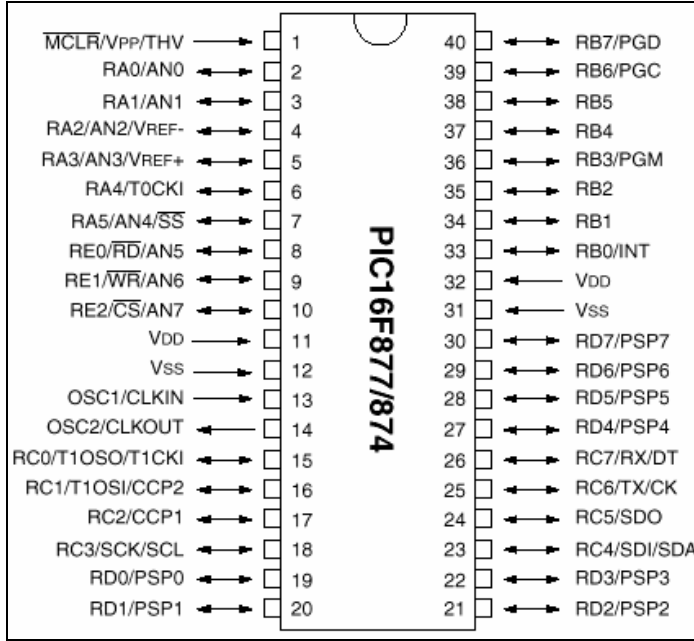
Seri sistem içi programlama özelliği (iki bacak üzerinden) ürünün tamamen toplanması ve test edilmesinden sonra ürünün alıştırılması esnekliğe imkan vermektedir. Bu özellik sayesinde ürün serileştirilebilmekte ve veriler saklanabilmektedir.

PIC16F877, dünyada kullanıma sunulmasıyla eş zamanlı olarak Türkiye’de de uygulama geliştirenlerin kullanımına sunulmuştur. PIC16F877, belki de en popüler PIC işlemcisi olan 16F84’ten sonra kullanıcılara yeni ve gelişmiş olanaklar sunmasıyla hemen göze çarpmaktadır. Program belleği FLASH ROM olan 16F877’de yüklenen program F84’te olduğu gibi elektriksel olarak silinip yeniden yüklenebilmektedir. Çizelge 2.2.’de 16F877 ve 16F84 işlemcileri arasında özellik karşılaştırması yer almaktadır.

Çizelge 2.2. 16F877 ve 16F84 işlemcileri arasında özellik karşılaştırması

ÖZELLİKLER	PIC16F877	PIC16F84
Çalışma hızı	DC - 20MHz	DC - 10 MHz
Program belleği	8Kx14 word Flash ROM	1Kx14 word Flash ROM
EEPROM Veri belleği	256 byte	64 byte
Kullanıcı RAM	368x8 byte	68x8 byte
Giriş/Çıkış port sayısı	33	13
Timer	Timer0,Timer1,Timer2	Timer0
A/D çevirici	8 kanal 10 bit	YOK
Capture/Comp./PWM	16 bit Capture 16 bit Compare 10 bit PWM çözünürlük	YOK
Seri çevresel arayüz	SPI(Master) ve I2C(Master/Slave) modunda SPI portu (senkron seri port)	YOK
Paralel slave port	8 bit, harici RD,WR ve CS kontrollü	YOK
USART/SCI	9 bit adresli	YOK

Özellikle 16C6x ve 16C7x ailesinin tüm özelliklerini barındırması, 16F877'yi kod geliştirmede de ideal bir çözüm olarak gündeme getirmekte. Konfigürasyon bitlerine dikkat etmek şartıyla C6x veya C7x ailesinden herhangi bir işlemci için geliştirdiğiniz kodu hemen hiç bir değişikliğe tabi tutmadan 16F877'e yükleyebilir ve çalışmasını deneyebilirsiniz. Bunun yanı sıra 16F877, 16C74 ve 16C77 işlemcileriyle de bire bir bacak uyumludur (Altınbaşak, 2004).



Şekil 2.29. PIC16F877'nin bacak bağlantıları (Altınbaşak, 2004)

2.6.7. PIC16F877 Mikrodenetleyicisinin Portlarının İşlevleri

PORT A: Her bir biti bağımsız olarak giriş veya çıkış olarak tanımlanabilmektedir. 6 bit genişliğindedir (F84'de 5 bittir). RA0, RA1, RA2, RA3 ve RA5 bitleri analog/sayısal çevirici olarak ayarlanabilmektedir. Buna ek olarak RA2 ve RA3 gerilim referansı olarak da ayarlanabilmektedir. (Bu durumda bu bitler aynı anda A/D çevirici olarak kullanılamazlar). İlgili yazmaçlar ve adresleri aşağıdaki gibidir.

PORTA 0x05

TRISA 0x85 ; giriş/çıkış belirleme yazmacı

ADCON1 0x9F ; RA portlarının A/D, referans gerilimi veya sayısal giriş/çıkış olarak seçiminde kullanılır.

İşlemciye ilk defa gerilim uygulandığında RA4 hariç diğer beş PORTA biti A/D çeviricidir. Eğer RA portunun bazı bitlerini sayısal giriş/çıkış olarak kullanmak isterseniz ADCON1 yazmacında değişiklik yapmanız gerekmektedir.

(bkz. s.122, DS30292a, Microchip Technology)

PORT B: Her bir biti bağımsız olarak sayısal giriş veya çıkış olarak tanımlanabilmektedir. 8 bit genişliğindedir. B portunun her bacağı dahili bir dirençle VDD'ye bağlıdır (weak pull-up). Bu özellik varsayılan olarak etkin değildir. Ancak OPTION yazmacınının 7.bitini 0 yaparak B portunun bu özelliğini etkinleştirebilirsiniz.

RB4-RB7 bacakları aynı zamanda bacakların sayısal durumlarında bir değişiklik olduğunda INTCON yazmacının 0. biti olan RBIF bayrağını 1 yaparak kesme oluştururlar. Bu özelliği, işlemci SLEEP konumundayken, devreye bağlı tuş takımının her hangi bir tuşuna basıldığında işlemcinin yeniden etkinleşmesi için kullanabilirsiniz. Bütün bunların yanı sıra RB6 ve RB7 yüksek gerilim programlama, RB3 ise düşük gerilim programlama modlarında da kullanılmaktadır. İlgili yazmaçlar ve adresleri aşağıdaki gibidir.

PORTB	0x06
TRISB	0x86 ; giriş/çıkış belirleme yazmacı
OPTION_REG	0x81, 0x181

PORT C: Her bir biti bağımsız olarak sayısal giriş veya çıkış olarak tanımlanabilmektedir. 8 bit genişliğindedir. SPI, USART, Capture/Compare ve PWM gibi özel fonksiyonlar, ilgili yazmaçların ayarlanmasıyla bu porttan yürütülmektedir. İlgili yazmaçlar ve adresleri aşağıdaki gibidir.

PORTC	0x07
TRISC	0x87 ; giriş/çıkış belirleme yazmacı

PORT D: Her bir biti bağımsız olarak sayısal giriş veya çıkış olarak tanımlanabilmektedir. 8 bit genişliğindedir. Bütün port bacakları Schmitt Trigger girişlidir. TRISE yazmacının 4.biti olan PSPMODE bitini 1 yaparak “parallel slave mode” da kullanılabilir. Bu fonksiyon aracılığıyla 8 bit genişliğindeki her hangi bir mikroişlemci veri hattına bağlayabilirsiniz.

PORTD	0x08
TRISD	0x88 ; giriş/çıkış belirleme yazmacı
TRISE	0x89

PORT E: Her bir biti bağımsız olarak giriş veya çıkış olarak tanımlanabilmektedir. 3 bit genişliğindedir. RE0, RE1 ve RE2 bacaklarında Schmitt Trigger giriş tamponları vardır. Her bir bacak analog/sayısal çevirici olarak ayarlanabilmektedir. Eğer PORTD parallel slave port olarak ayarlanacak olursa, RE0, RE1 ve RE2 bacakları PORTD'nin bağlandığı mikroişlemci bus'ında sırasıyla READ, WRITE ve CHIP SELECT kontrol girişleri olarak kullanılır. Bunun için TRISE uygun biçimde ayarlanmalıdır. İlgili yazmaçlar ve adresleri aşağıdaki gibidir.

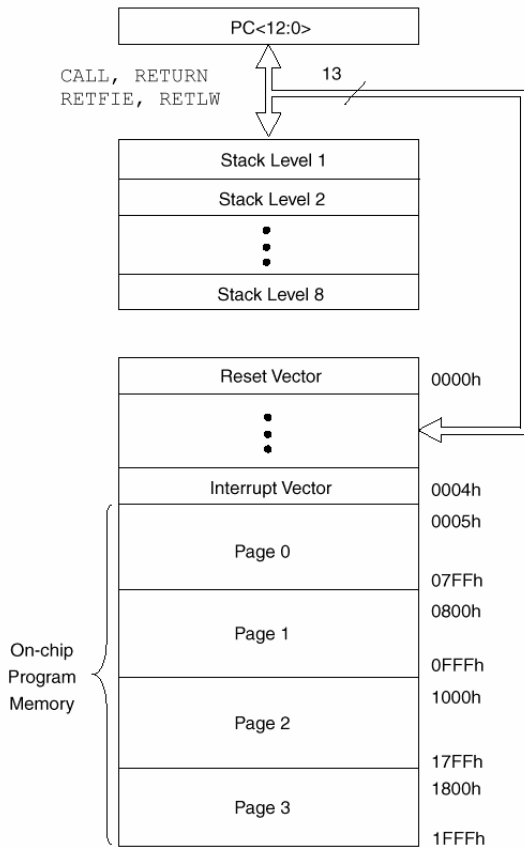
PORTE	0x09
TRISE	0x89 ; giriş/çıkış belirleme yazmacı

ADCON1 0x9F ; RE portlarının A/D veya sayısal giriş/çıkış olarak seçiminde kullanılır.

İşlemciye ilk defa gerilim uygulandığında üç PORTE biti de A/D çeviricidir. Eğer RE portunun bazı bitlerini sayısal giriş/çıkış olarak kullanmak isterseniz ADCON1 yazmacında değişiklik yapmanız gerekmektedir (Altınbaşak, 2004).

2.6.8. Program ve Kullanıcı RAM Bellek Dağılımı

PIC16F877'de üç bellek bloğu bulunmaktadır. Program ve kullanıcı veri belleği ayrı veri hattı yapısına sahiptir ve aynı anda erişilebilir. F877'de 13 bitlik bir program sayacı vardır ve 8Kx14 word adreslemeye yeterlidir. Reset vektörü 0x00'da kesme vektörü ise 0x04'de yer almaktadır.



Şekil 2.30. Program bellek haritası (Altınbaşak, 2004)

Kullanıcı veri belleği birden fazla yazmaç bankasına bölünmüştür. Bu yazmaç bankalarında hem genel amaçlı yazmaçlar hem de özel fonksiyon yazmaçları (SFR) bulunmaktadır. Yazmaç bankasını seçmek için STATUS yazmacındaki RP1 ve RP0

bitleri kullanılmaktadır. 16F84'de iki yazmaç bankası bulunmakta ve yalnızca RP0 bitini ayarlamak suretiyle ilgili yazmaç bankası seçilmektedir.

IRP	RP1	RP0	\overline{TO}	\overline{PD}	Z	DC	C
bit7							bit0

Şekil 2.31. STATUS yazmacı (Altınbaşak, 2004)

<RP1,RP0> bitlerini aşağıdaki gibi ayarlayarak istediğimiz yazmaç bankasına erişebiliriz. Her yazmaç bankası 128 byte genişliğindedir (7Fh).

00	Bank0
01	Bank1
10	Bank2
11	Bank3

2.6.9. PIC16F877 Mikrodenetleyicisinin Özel İşlevleri

Parallel Slave Port: TRISE yazmacının PSPMODE bitini 1 yaptığımızda PORTD'yi 8 bit genişliğinde mikroişlemci portu olarak kullanabilirsiniz. Bu arada RE0,RE1 ve RE2'yi TRISE ve ADCON1 yazmaçlarında ilgili ayarları yaparak sayısal giriş olarak da tanımlamanız gerekmektedir. Böylece harici bir mikro işlemci, RE0,RE1 ve RE2'yi kontrol olarak kullanarak 8 bitlik veri yoluna bağlı 16F877'nin PORTD'sine hem veri yazabilir hem de okuyabilir.

USART: USART, yani senkron/asenkron alıcı verici F877'deki iki seri giriş/çıkış modülünden biridir. Seri iletişim arayüzü (SCI: serial comm.interface) olarak da bilinen USART, monitör veya PC gibi aygıtlara tam çift yönlü asenkron bağlantıda kullanılmak üzere konfigüre edilebilmektedir. A/D veya D/A arayüzlerine, seri EEPROM'lara yarım çift yönlü eşzamanlı bağlantıda kullanılmak üzere de konfigüre edilebilir. USART aşağıdaki gibi konfigüre edilebilmektedir.

Asenkron: tam çift yönlü (full duplex)

Senkron: Master, yarım çift yönlü (half duplex)

Senkron: Slave, yarım çift yönlü

RC6 verici, RC7 ise alıcı port olarak kullanılmaktadır. RCSTA (0x18) ve TXSTA (0x98) yazmaçları konfigürasyonda kullanılmaktadır.

Master Synchronous Serial Port (MSSP): MSSP modülü, diğer çevre birimleri veya mikroişlemcilerle seri iletişimde kullanılmaktadır. Bu çevre birimleri seri EEPROM, kaydırmalı yazmaçlar (shift register), gösterge sürücüler, A/D çeviriciler vb. olabilir. MSSP modülü aynı anda aşağıdaki iki moddan birine ayar edilebilir:

Serial Peripheral Interface (SPI)

RC5: Seri veri çıkışı (SDO: serial data out)

RC4: Seri veri girişi (SDI: serial data in)

RC3: Seri saat (SCK: serial clock)

Inter Integrated Circuit (I²C)

RC4: Seri veri (SDA: serial data)

RC3: Seri saat (SCK: serial clock)

Bu modlardan birine göre konfigüre etmek içinse SSPSTAT (eşzamanlı seri port durum yazmacı, 0x94), SSPCON (senkron seri port kontrol yazmacı, 0x14) ve SSPCON2 (senkron seri port kontrol yazmacı 2, 0x91) yazmaçları ayarlanmalıdır.

Analog/Sayısal Çevirici Modülü: A/D modülü 16C7x ailesinden farklı olarak 10 bittir. Toplam 8 A/D kanal vardır. F877'nin güzel bir özelliği de işlemci SLEEP modundayken bile A/D çeviricinin geri planda çalışmasıdır. A/D kanalları için RA4 hariç diğer RA portlarını ve RE portlarını kullanabilirsiniz. Aşağıdaki yazmaçlar konfigürasyon ve sonuçta kullanılmaktadır.

ADRESH 0x1E ; A/D sonuç yazmacı (High register)

ADRESL 0x9E ; A/D sonuç yazmacı (Low register)

ADCON0 0x1F ; A/D kontrol yazmacı0

ADCON1 0x9F ; A/D kontrol yazmacı1

Capture/Compare ve PWM Modülü: Her capture/compare ve pwm modülü 16 bitlik yakalama(capture) yazmacı, 16 bitlik karşılaştırma(compare) yazmacı veya 16 bitlik PWM(darbe genişlikli modülasyon) yazmacı olarak kullanılabilir.

Yakalama modunda, TMR1 yazmacının değeri RC2/CCP1 bacağının durumunda bir gelişme olduğunda CCP1H:CCP1L yazmaçlarına yazılır ve PIR1 yazmacının 2.biti olan CCP1IF kesme bayrağı 1 olur. RC2 bacağının durumu, her alçalan kenarda, her

yükselen kenarda, her yükselen 4. veya 16.kenarda kontrol edilecek şekilde CCP1CON yazmacı aracılığıyla ayarlanarak konfigüre edilebilir.

Karşılaştırma modundaya CCPR1 yazmacındaki 16 bitlik değer düzenli olarak TMR1 yazmaç değeriyle karşılaştırılır ve bir eşitlik olduğunda RC2/CCP1 bacağı CCP1CON yazmacında yaptığımız ayara göre 1, 0 olur veya durumunu korur.

PWM modundaya RC2/CCP1 bacağı 10 bit çözünürlükte darbe genişlik modülasyonlu bir sinyal üretecek şekilde konfigüre edilebilir. PR2 yazmacı darbe genişlik periyodunun tayininde kullanılmaktadır(Altınbaşak,2004).

CCPR1H	0x16	; Yakalama/karşılaştırma yazmacı (High register)
CCPR1L	0x15	; Yakalama/karşılaştırma yazmacı (Low register)
CCP1CON	0x17	; kontrol yazmacı
PR2	0x92	; PWM çıkış yazmacı
TMR1L	0x0E	; TMR1 yazmacı (High register)
TMR1H	0x0F	; TMR1 yazmacı (Low register)

						File Address	
Indirect addr. ⁽¹⁾	00h	Indirect addr. ⁽¹⁾	80h	Indirect addr. ⁽¹⁾	100h	Indirect addr. ⁽¹⁾	180h
TMR0	01h	OPTION_REG	81h	TMR0	101h	OPTION_REG	181h
PCL	02h	PCL	82h	PCL	102h	PCL	182h
STATUS	03h	STATUS	83h	STATUS	103h	STATUS	183h
FSR	04h	FSR	84h	FSR	104h	FSR	184h
PORTA	05h	TRISA	85h		105h		185h
PORTB	06h	TRISB	86h	PORTB	106h	TRISB	186h
PORTC	07h	TRISC	87h		107h		187h
PORTD ⁽¹⁾	08h	TRISD ⁽¹⁾	88h		108h		188h
PORTE ⁽¹⁾	09h	TRISE ⁽¹⁾	89h		109h		189h
PCLATH	0Ah	PCLATH	8Ah	PCLATH	10Ah	PCLATH	18Ah
INTCON	0Bh	INTCON	8Bh	INTCON	10Bh	INTCON	18Bh
PIR1	0Ch	PIE1	8Ch	EEDATA	10Ch	EECON1	18Ch
PIR2	0Dh	PIE2	8Dh	EEADR	10Dh	EECON2	18Dh
TMR1L	0Eh	PCON	8Eh	EEDATH	10Eh	Reserved ⁽²⁾	18Eh
TMR1H	0Fh		8Fh	EEADRH	10Fh	Reserved ⁽²⁾	18Fh
T1CON	10h		90h		110h		190h
TMR2	11h	SSPCON2	91h		111h		191h
T2CON	12h	PR2	92h		112h		192h
SSPBUF	13h	SSPADD	93h		113h		193h
SSPCON	14h	SSPSTAT	94h		114h		194h
CCPR1L	15h		95h		115h		195h
CCPR1H	16h		96h		116h		196h
CCP1CON	17h		97h	General Purpose Register 16 Bytes	117h	General Purpose Register 16 Bytes	197h
RCSTA	18h	TXSTA	98h		118h		198h
TXREG	19h	SPBRG	99h		119h		199h
RCREG	1Ah		9Ah		11Ah		19Ah
CCPR2L	1Bh		9Bh		11Bh		19Bh
CCPR2H	1Ch		9Ch		11Ch		19Ch
CCP2CON	1Dh		9Dh		11Dh		19Dh
ADRESH	1Eh	ADRESL	9Eh		11Eh		19Eh
ADCON0	1Fh	ADCON1	9Fh		11Fh		19Fh
	20h		A0h		120h		1A0h
General Purpose Register 96 Bytes		General Purpose Register 80 Bytes		General Purpose Register 80 Bytes		General Purpose Register 80 Bytes	
	7Fh	accesses 70h-7Fh	EFh	accesses 70h-7Fh	16Fh	accesses 70h - 7Fh	1EFh
Bank 0		Bank 1	FFh	Bank 2	17Fh	Bank 3	1FFh

2.32. Kullanıcı RAM bellek haritası (Altınbaşak, 2004)

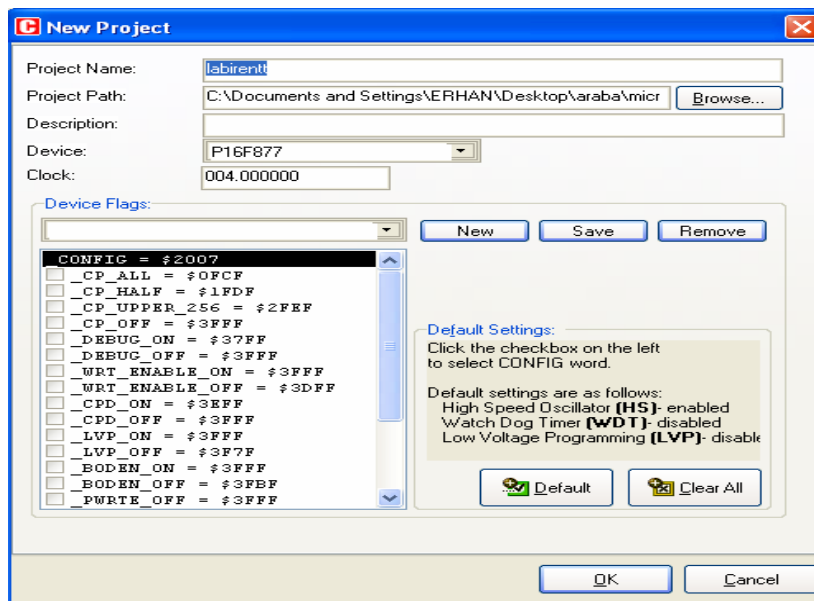
2.7. MicroC Derleyicisi

Assembly ile program yazdığımızda işlemciye tam bir hâkimiyet sağlarız. Hem daha performanslı hem de daha az yer kaplayan programlar yazılır. Assembly ile yazılmış bir programı ufak bir opcode tablosuna bakarak kendimiz bile makine diline (1 ve 0'lara) çevirmemiz mümkündür. Mikroişlemci komutları ve parametreleri bu 1 ve 0'lardan meydana gelir. Aslında assembly ile program yazan biri farkında olmadan

makine diliyle program yazıyordu. C ve diğer dillerle yazılan programlar derlendikleri zaman direk makine diline çevrilirler. Birçok derleyici yazdığımız programın assembly karşılığını görmemize imkan sağlar. Bu özellik sayesinde derleyicinin tam istediğimiz kodu üretip üretmediğini de kontrol etme imkanımız olur. Her C programında olduğu gibi program main() fonksiyonu içine yazılır. İlk önce main içindeki kodlar çalışır. Diğer c derleyicilerinden farklı olarak mikroc 'de herhangi bir #include işlemi yapmamıza gerek yoktur.

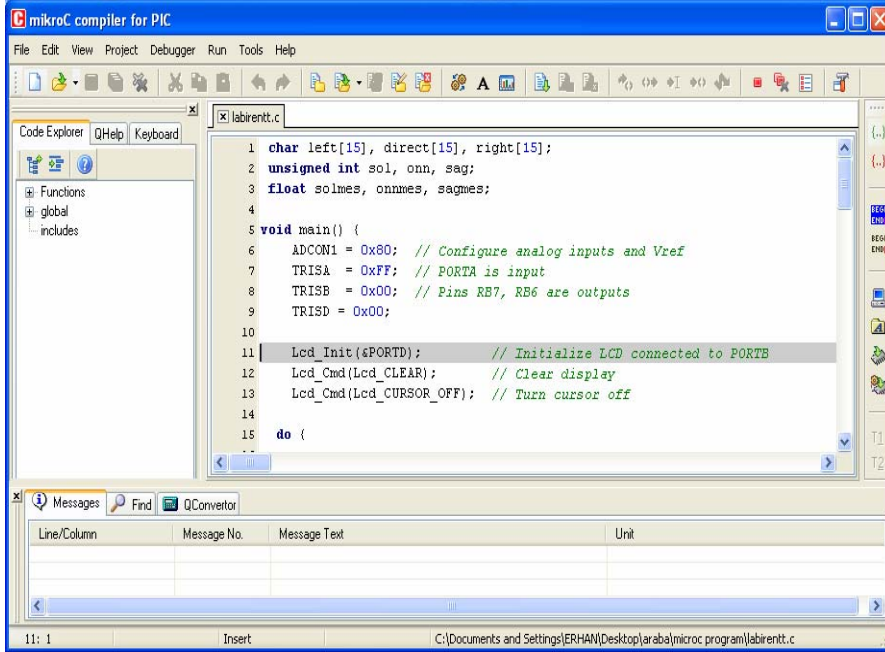
MikroC Mikroelektronika firması tarafından yapılmış PIC mikrodenetleyicilere yönelik bir C derleyicisidir. Firmanın diğer mikrodenetleyiciler içinde C, pascal ve basic derleyicileri vardır. Karakter LCD, grafik lcd, soft usart, soft i2c, ethernet, mmc kart okuma vb gibi geniş bir kütüphanesine sahiptir. Yardım dosyasındaki yazılar okunarak çok rahatlıkla bu derleyicinin kullanımı öğrenilebilmektedir. Diğer derleyicilerin aksine yardım dosyasında devre şemaları da yer almaktadır. Derleyicinin standart c kurallarına uymadığı noktaları vardır. Bu nedenle yazdığımız kodu başka bir derleyiciye veya mikroişlemci taşıyamazsınız (http://arkaoda.zerreelektronik.com/arkaoda/konu/mikroc_ve_ledler-1.html , 03.07.2009).

MicroC derleyici kullanılarak oluşturulan sistem için gerekli düzenlemeler kolaylıkla yapılabilmektedir. Bu aşamada kullanılan mikrodenetleyici türü, sistemin çalışması için kullanılacak olan işaret üreticinin türü ve hızı, oluşturulacak kodların korunup korunmayacağı vb. düzenlemeler yapılır. Derleyiciye ait yeni proje oluşturma menüsüne ait bir görüntü şekil. 2.33. 'de gösterilmektedir.



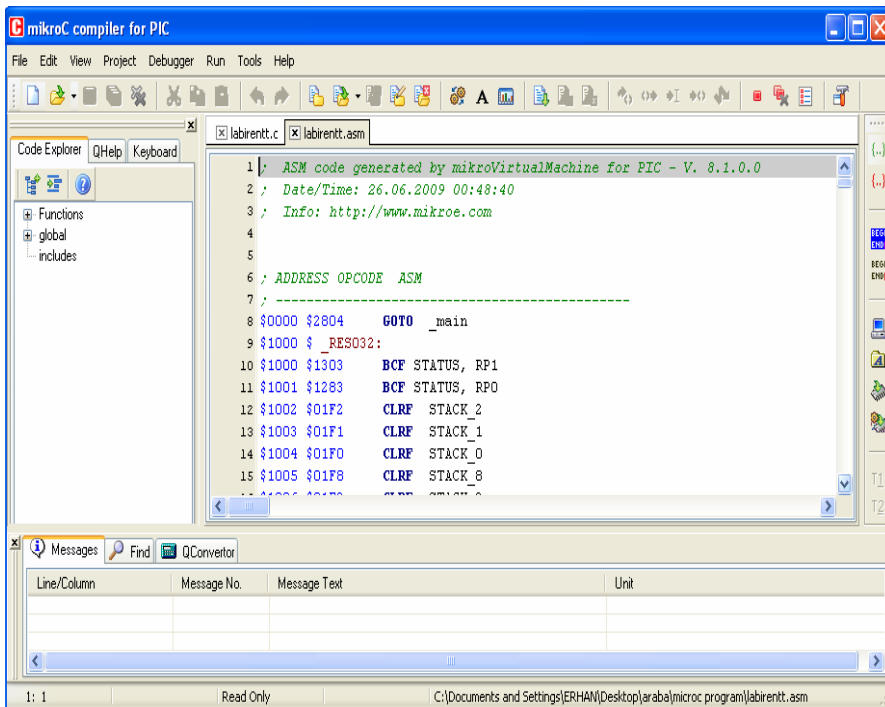
Şekil 2.33. MicroC derleyicisi yeni program menüsü

4 MHz'lik çalışma frekansı ve mikrodenetleyici olarak PIC16F877 seçilmiştir. Kod koruma (Code Protect) etkinleştirilmemiştir. Derleyiciye ait program yazma editörü şekil 2.34.'te gösterilmiştir.



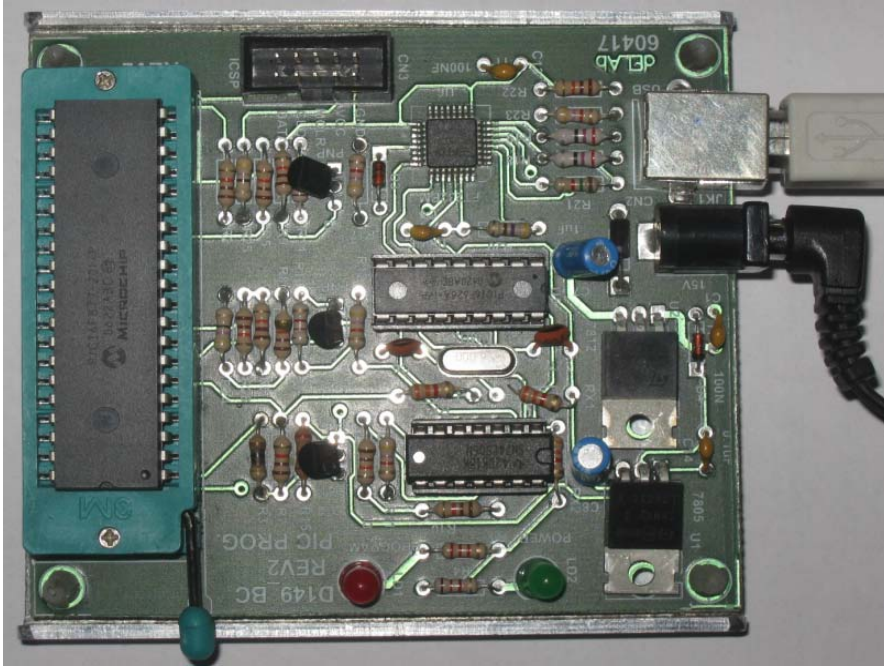
Şekil 2.34. MicroC derleyicisi program editörü

Derleyici C dilinde yazılan programların assembly karşılıklarına ulaşmamıza olanak sağlamaktadır.(Şekil 2.35.)

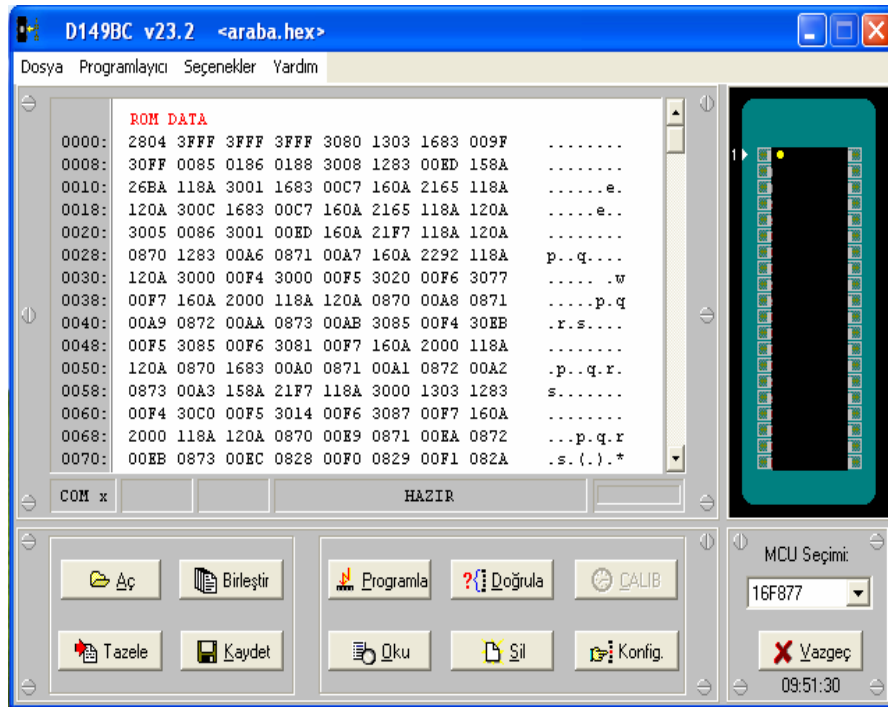


Şekil 2.35. Programın assembly dilindeki karşılığı

MicroC kullanılarak oluşturulan program derlenerek HEX kodlar elde edilir. Bu kodlar mikrodenetleyiciye yüklenir. Yükleme işlemini gerçekleştirmek için bir elektronik devreye ve bir yazılıma ihtiyaç duyulmaktadır. Bu yükleme kartları bilgisayar ile RS232 ya da USB bağlantısı ile haberleştirilir.(Şekil 2.36.) HEX dosyaları USB PIC-Programlayıcı yazılımı ile PIC mikrodenetleyicisine yüklenir.(Şekil 2.37.)



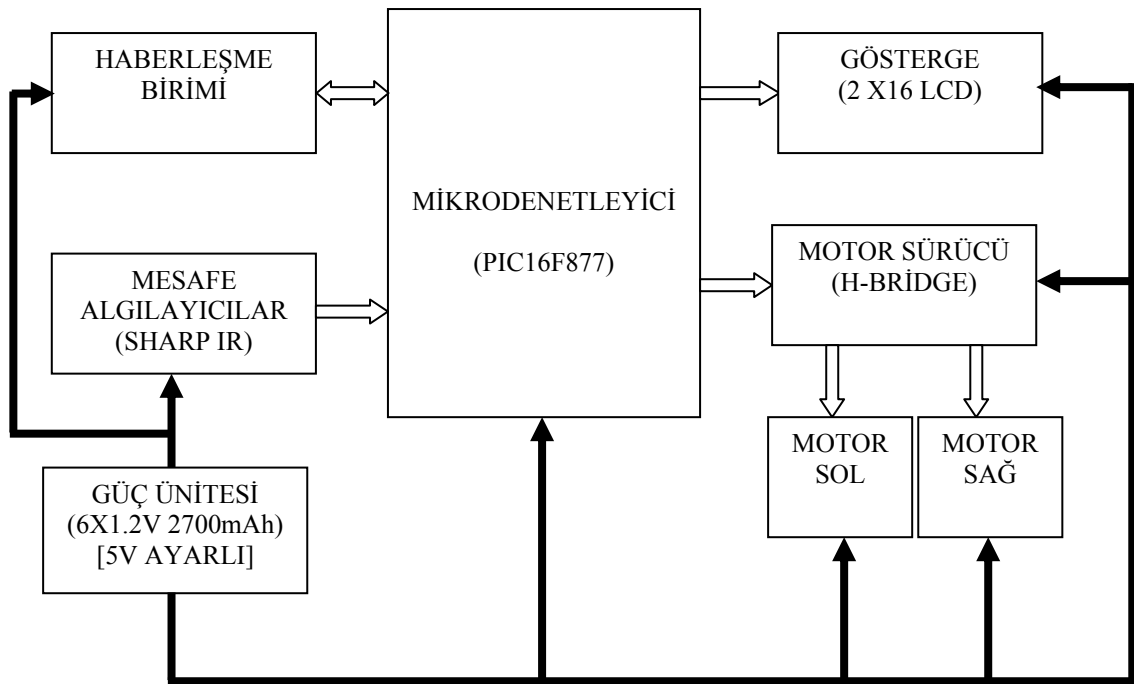
Şekil 2.36. PIC Programlama Kartı



Şekil 2.37.USB PIC programlayıcı yazılımı

3. MATERYAL VE YÖNTEMLER

Bu araştırmada kullanılmak üzere tasarlanmış ve gerçekleştirilmiş gezgin robot dizgesinin blok şeması Şekil 3.1.'de gsterilmektedir. Koyu renkle gsterilen oklar gu akışını temsil etmektedir. Gezgin robotun gu ihtiyacını karşılamak amacıyla 6 adet 1.2V ve 2700 mAh'lik şarj edilebilir pil kullanılmıştır. Bu pillerin seri olarak bağlanmasyla elde edilen gerilim LM7805 regülatörü kullanarak 5V'a sabitlenmiştir. Saydam oklar ise veri akışını temsil etmektedir.



Şekil 3.1. Gerçekleştirilen gezgin robotun blok şeması

Oluşturulan robotta denetleyici olarak PIC16F877 mikrodenetleyicisi kullanılmıştır. PIC16F877 özellikle örneksel verileri sayısal dönüştürebilme yeteneği ve boyut olarak tasarımcıya sağladığı esneklik nedeniyle tercih edilmiştir. Robotun her iki yanına ve önüne yerleştirilen 3 adet kızılötesi mesafe algılayıcısı sayesinde engeller (duvar) algılanmaktadır. Bu aşamada algılayıcılardan gelen mesafe bilgileri örneksel olduğu için sayısal dnştrlmştir. Bu bilgiler denetleyici içerisinde bazı iyileştirme ve dönüştürme işlemlerinden geçirilerek engeller ve engellere olan mesafe bilgilerine ulaşılmıştır.

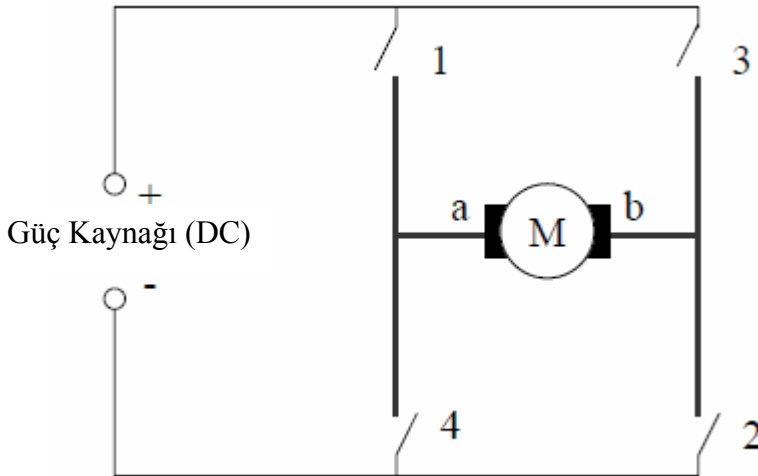
Bir sonraki aşama bu lme bilgilerine göre robotun yönlendirilmesidir. Robotumuzun sağ ve sol yanlarında ikişer tekerlek bulunmaktadır. Arka tekerleklere

doğru akım motoru bağlanmıştır. Ayrıca her iki yandaki tekerlekler kendi aralarında irtibatlandırılmıştır. Bu sayede sağ taraftaki motor çalıştığında sağ taraftaki her iki teker birden dönmeye başlayacaktır. Aynı durum sol taraftaki tekerlekler içinde geçerlidir. Robot sahip olduğu bu mekanik aksam ve doğru akım motorları sayesinde denetleyicinin belirlediği doğrultuda ilerlemektedir. Denetleyici H-Bridge (H-Köprü) sürücüsünü kullanarak motorları kontrol etmektedir.

Robota ait bazı güncel bilgilerin (örneğin konum) görüntülenmesi amacıyla 2 satır 16 karakter bir LCD ekran kullanılmıştır. Oluşturulan denetim kartına haberleşme uygulamalarını gerçekleştirmek amacıyla isteğe bağlı olarak RF alıcı-verici veya bluetooth modülü yerleştirilebilir.

3.1. H-Köprü Devresi

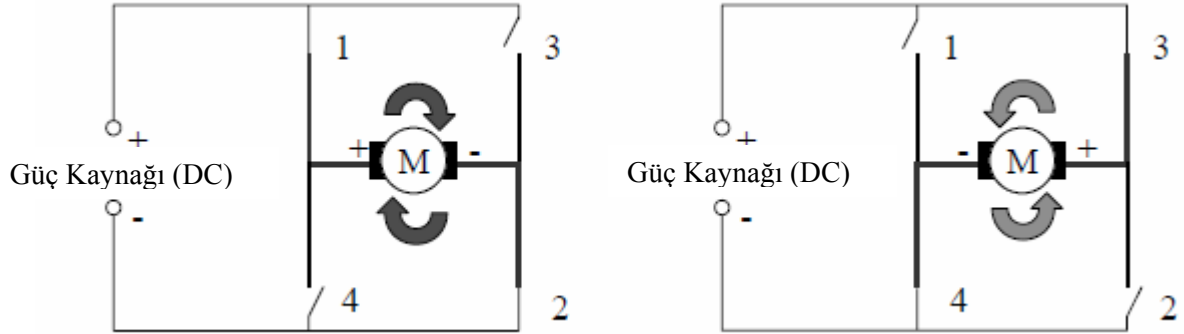
DC Motorun uçlarını bir gerilim kaynağına bağlarsak, motor bir yönde dönmeye başlar. DC Motorun uçlarını gerilim kaynağına ters olarak bağladığımızda ise motorun ters yönde hareket ettiğini görürüz. DC Motorun yön kontrolünü sağlayabilmek için H-Köprü devresi olarak adlandırılan bir sürücü tümdevre geliştirilmiştir. H-Köprü devresi genel olarak 4 adet transistor, diyot ya da MOSFET ile gerçekleştirilen ve motorun iki yönlü dönebilmesini sağlayan bir sürücü elemandır. Şekil 3.2’de adını benzediği H harfinden almış olan H köprü devresi gösterilmektedir.



Şekil 3.2. H-Köprü devresi (Bräunl , 2006)

Şekil 3.2’ de gösterilen bağlantılara sahip bir düzenekte 1 ve 2 numaralı anahtarların kapanması, motorun a bağlantısının güç kaynağının artı ucu ile b bağlantısının ise eksi ucu ile birleştirilmesini sağlar. Buda motorun ileri yönde hareket

ettirir. Aynı şekilde 3 ve 4 numaralı anahtarların kapatılması a' nın eksi uç, b ' nin ise artı uç ile birleşmesini sağlar. Buda motorun geri yönde hareket ettirir.(Şekil 3.3.)



Şekil 3.3. H-Köprü devresiyle motorun ileri ve geri yönde sürülmesi (Bräunl , 2006)

Burada dikkat edilmesi gereken husus 1 ve 4 numaralı anahtarlar ile 2 ve 3 numaralı anahtarların aynı anda kapatılmamasıdır. Her iki durumda da güç kaynağı kısa devre olacaktır.

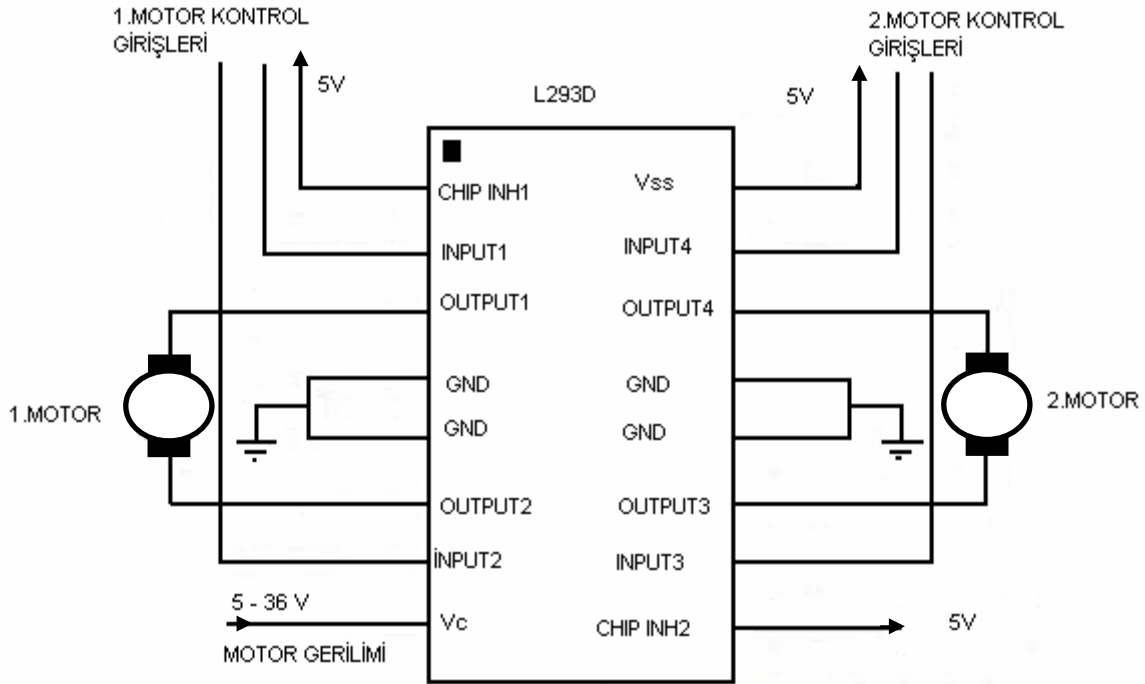
Çizelge 3.1. H-Köprü devresi anahtar konumlarına göre işlev listesi

1.ANAHTAR	2.ANAHTAR	3.ANAHTAR	4.ANAHTAR	İŞLEV
1	1	0	0	İleri
0	0	1	1	Geri
1	0	1	0	Fren
0	1	0	1	Fren
1	0	0	1	Kısa Devre
0	1	1	0	Kısa Devre

Bir mikrodenetleyicinin sayısal çıkışlarıyla motorun ileri veya geri yönde hareket ettirilmesi sağlanabilir. Fakat motor veya motorların çekecekleri akım değerlerinin yüksek olması (örneğin 1 A) motorun doğrudan mikrodenetleyici tarafından sürülmesini engellemektedir. Böyle bir durumda mikrodenetleyici zarar görecektir. SGS Thomson Microelectronics tarafından üretilen L293D entegresi iki ayrı yükselteç içeren bir güç yükselteç entegresidir. Bu özelliği ile iki DC motorun birden ileri ve geri yönde hareket ettirebilmektedir. Motorla elektriksel bir bağ bulunmadığından mikrodenetleyicinin sayısal çıkışları doğrudan entegreye bağlanabilir. Darbe genişlik modülasyonu kullanılarak veya entegrenin ilgili bacağına uygulanan motor besleme gerilimi değiştirilerek hız kontrolü yapılabilir (Bräunl , 2006).

Şekil 3.4.'de L293 entegresinin bacak bağlantıları gösterilmektedir. 1 ve 9 numaralı bacaklar hangi giriş ve çıkışın kullanılacağını belirleyen bacaklardır. Sadece 1 motor kullanılacaksa 1. bacak 5 volta bağlanır ve 9. bacak 0 volta çekilir. 2 motor kullanılacaksa her iki giriş birden 5 volta bağlanır. Ayrıca motorun hız kontrolü de yapılmak isteniyorsa bu yetkilendirme bacaklarına PWM sinyali uygulanır ve bu sinyalin değiştirilmesiyle motorun hız kontrolü yapılır. Input 1 ve Input 2 bacakları 1. motorun yön kontrolü için kullanılır(<http://ieec.itu.edu.tr/lab/hbridge.pdf> , 03.07.2009).

Input 1=5V, Input 2=0V yapıldığında motor ileri, ters durumda geri doğru döner. Aynı durum Input 3 ve 4 içinde geçerlidir. Output bacakları motorlara bağlanır. Output 1 ve 2 birinci motora 3 ve 4 ikinci motora bağlanır. Vss bacağı tümdevrenin besleme bacağıdır ve 5 V'a bağlanır. GND bacakları toprağa çekilir. Vs bacağı ise motorların beslemesidir. Motor hangi gerilimde çalıştırılacaksa o gerilim Vs bacağına uygulanır. Bu değer tümdevrenin yapısından dolayı 5V ile 36V arasında olmalıdır.

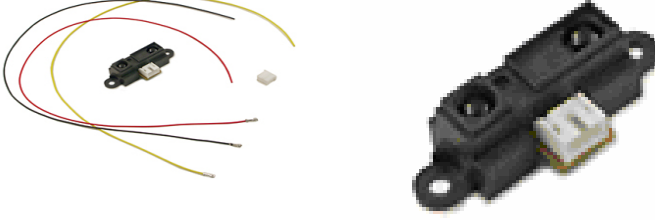


Şekil 3.4. L293D için bacak bağlantısı(<http://ieec.itu.edu.tr/lab/hbridge.pdf>, 03.07.2009)

3.2. Mesafe Ölçümü

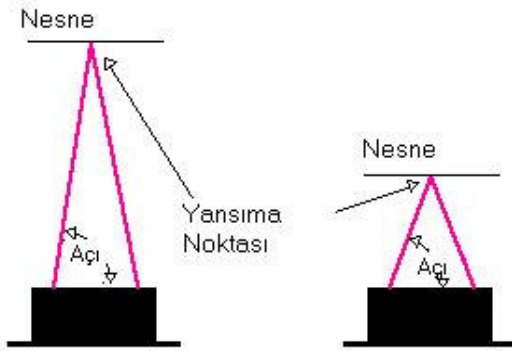
Bu çalışmada bir adet SHARP 2YOA21 ve iki adet SHARP 2D120X kızılötesi mesafe algılayıcısı kullanılmıştır. Robotun yan taraflarına 4cm-40cm ölçme aralığına

sahip Sharp 2D120X, ön tarafına ise 8cm-80cm ölçme aralığına sahip Sharp 2YOA21 kızılötesi mesafe algılayıcısı yerleştirilmiştir.



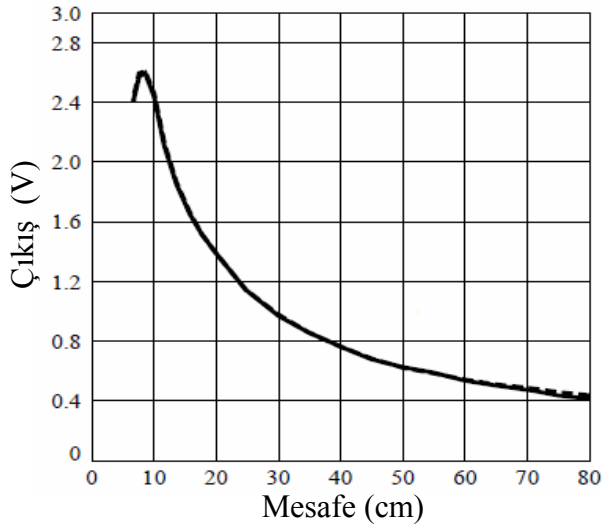
Şekil 3.5. Sharp mesafe algılayıcısı

Sharp GP2D12 algılayıcısının çalışmasındaki temel fikir; kızıl ötesi ışık, atmalar (pulse) şeklinde yollanmasıdır. Işık, algılayıcının görüş açısında yol alır. Eğer algılayıcının önünde bir cisim yoksa ışık algılayıcıya geri dönmez ve algılayıcıda önünü boş olarak algılar. Ancak önünde bir cisim varsa, yansıyan ışık atması algılayıcı tarafından algılanır. Algılayıcıdan ışığın çıkma noktası, yansıma noktası ve algılayıcıdan algılanan nokta arasında bir üçgen oluşur.(Şekil 3.6.)

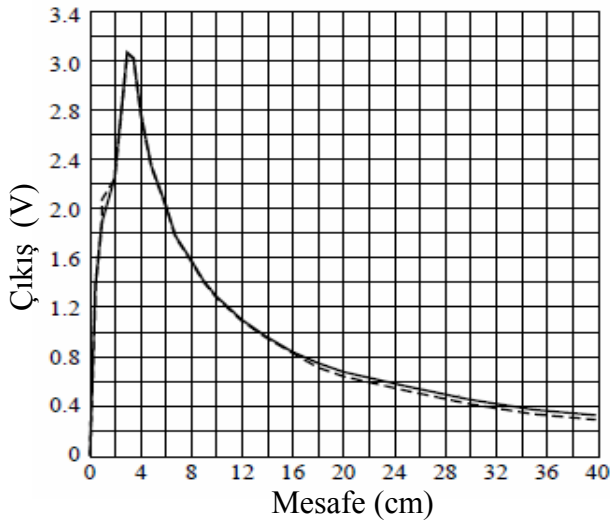


Şekil 3.6. Kızılötesi mesafe algılayıcısının çalışma ilkesi (<http://www.elektrobotik.com/dersler/sensorler.html>, 02.07.2009)

Bu açılar cismin uzaklığıyla orantılı olarak değişir. Algılayıcı bu açıyı göre uzaklığı algılar. Bazı basit trigonometrik oranlardan, elde edilen veriler uzaklıkla doğru orantılı değildir. Şekil 3.7. ve Şekil 3.8.'de gösterilen Sharp 2D120X ve Sharp 2YOA21 mesafe algılayıcılarının çıkış eğrileri incelenecek olursa, uzaklık arttıkça algılayıcının hassasiyetinin azaldığı anlaşılır. Ve cisim 10 cm'den yakınsa(Sharp 2YOA21 için), algılayıcı onu uzak algılamaya başlayacaktır. Çünkü cisim, algılayıcıdaki merceğin odak noktasından daha yakında bulundukça ve yaklaştıkça görüntüsü sonsuza gidecektir(<http://www.elektrobotik.com/dersler/sensorler.html>, 02.07.2009). Ayrıca yüzeyin gri veya beyaz olmasına göre yansıma oranı değişmektedir. Kesikli çizgiler gri, kesiksiz çizgiler beyaz yüzeyli engeller için algılayıcı çıkışını göstermektedir.



Şekil 3.7. Sharp 2YOA21 algılayıcısı için mesafe-gerilim değişimi (http://sharp-world.com/products/device/lineup/data/pdf/datasheet/gp2y0a21yk_e.pdf, 01.07.2009)



Şekil 3.8. Sharp 2D120X algılayıcısı için mesafe-gerilim değişimi (<http://www.technologicalarts.com/myfiles/data/gp2d120.pdf>, 01.07.2009)

Gezgin robotlar kullanılan konum ölçme yöntemleri ve algılayıcılarına, denetleyicinin yeteneklerine bağlı olarak çevrelerini algılamada bir takım güçlüklerle karşılaşmaktadırlar. Daha önce belirtildiği gibi algılayıcıların sınırlı ölçme aralıklarına sahip olmaları, çıkış büyüklüklerinin doğrusal olmaması, tekrarlanabilirlik kabiliyetlerinin düşük olması, belirli giriş aralıklarında ölü banda sahip olmaları veya çözünürlüklerinin düşük olması bu güçlükler için örnek olarak gösterilebilir. Şekil 3.7. ve Şekil 3.8. 'de görüldüğü gibi kullandığımız mesafe algılayıcılarının çıkışları doğrusal değildir.

Ölçüm yapılırken algılayıcı çıkışında oluşan elektriksel değişimin istenilen standart ölçü birimine çevrilmesi gerekmektedir. Bu amaçla algılayıcı karakteristiğini en iyi ifade eden matematiksel denklemler kullanılmaktadır (Hayırsever ve Erdem (2006)'in bildirdiğine göre Eroğlu ve ark. (2005)). Bu denklemler doğrusal olmayan algılayıcılarda en az üçüncü dereceden çokterimliler, üstel veya trigonometrik fonksiyonlarla ifade edilirler.

3.3. Algılayıcı Çıkışının Matematiksel Olarak Modellenmesi

Algılayıcılar ortamdaki fiziksel değişimlere karşılık tepki vererek bu değişimlerin algılanmasını ve ölçülmesini sağlar. Fakat algılayıcıların çoğunda ölçtüğü fiziksel değişime karşılık çıkışında oluşturduğu elektriksel büyüklük arasında doğrusal ilişki bulunmaz (Johnson, 2002). Ölçüm sonuçlarının daha iyi değerlendirilmesi ve daha basit yöntemlerle elde edilebilmesi için algılayıcı çıkışlarının doğrusallaştırılması gerekir. Oluşturulacak tasarımın yapısına uygun farklı doğrusallaştırma teknikleri kullanılabilir (Brignell, 1991).

Doğrusal olmayan algılayıcı tepkesini doğrusal bir çıkış işaretine dönüştürmek için pek çok analog veya sayısal yöntem yaygın olarak kullanılmaktadır. Örneğin Patranabis ve ark. (1988) ,exponansiyel olarak artan bir geçiş işlevine sahip algılayıcının çıkışını doğrusallaştırmak için logaritmik yükselteç önerdiler. Diğer taraftan expolansiyel olarak azalan geçiş işlevleri için ek dönüştürme işlemlerine ihtiyaç duyup, örnek olarak logaritmik yükselteç ve bir FET'in birlikte kullanımını önerdiler.

Analog devreler kullanılarak yapılan doğrusallaştırma işlemlerinde sayısal bir kontrol birimine ihtiyaç duyulmaz. Buna karşılık bahsedilen devrelerin yapısında kullanılan direnç ve sığaç gibi elemanların devrenin çalışma sahasını doğrudan etkilemesi, bu elemanların istenilen değerde temin edilememesi ve eleman değerlerinin ortam sıcaklığına bağlı olarak değişebilmesi gibi pek çok dezavantaj, doğrusallaştırma işlemlerinde analog devrelerin tercih edilmemesine neden olmaktadır (Patranabis ve ark., 1988).

Gelişen yarıiletken teknolojiyle beraber mikroişlemci fiyatlarının düşmesi, veri değerlendirme sistemlerini ihtiva eden birçok tasarımda bu devre elemanlarının tercih edilmesinde uygun ortamı hazırlamıştır. Dolayısıyla bunların birer devre elemanı olarak kullanılmasıyla analog doğrusallaştırma yöntemlerinin yerine sayısal doğrusallaştırma yöntemleri tercih edilmeye başlanmıştır (Atari ve ark., 1995).

Bir diğer yöntemde ise, ROM üzerinde saklanan tek boyutlu “Look-Up Table” (LUT) olarak isimlendirilen bir veri tabanı oluşturulmakta ve algılayıcıdan okunan veriye karşılık bu veri tabanından uygun değerler seçilerek çıkışa aktarılmaktadır. Bu yöntemin en büyük dezavantajı oluşturulan veri tabanının büyüklüğünün sistemin hassasiyeti ile doğru orantılı olarak artmasıdır. Diğer bir deyişle yüksek hassasiyetli bir lme sisteminin arzu edildiği uygulamalarda ihtiyaç duyulan bellek boyutlarının artması kaçınılmazdır (Flamini ve ark., 1997). Bu yöntem “Doğrusal Arayı Birleştirme Yöntemi” başlığıyla Ek-E ’de ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

Algılayıcı çıkışına karşılık gelen matematiksel ifadenin elde edilmesi sıkça kullanılan bir diğer yöntemdir. Bu yöntemde, deneysel ölçümlerde elde edilen veriler kullanarak algılayıcının geçiş işlevi üstel, çokterimli veya trigonometrik ifadeler cinsinden elde edilebilir. Bu aşamada algılayıcı ıkışları en az üçüncü dereceden çokterimli olarak ifade edilmektedir. Matematiksel işlem kabiliyeti olan bir işlemci algılayıcı çıkışında elde edilen elektriksel büyüklüğün sayısal karşılığını kullanarak ölçüm sonucuna rahatlıkla ulaşabilir. Bu yöntem “Eğri Uydurma Yöntemi” başlığıyla Ek-D ’de ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Gezgin robot dizgelerinde çevre algılama sorunları ve bu sorunlara bağlı olarak yaşanan güçlükleri irdelemek amacıyla çıkışı doğrusal olmayan ve girişin belli bir aralığında duyarsız kalan Sharp 2D120 ve Sharp 2YO A21 model kızılötesi mesafe algılayıcılarına sahip bir gezgin robot gerçekleştirilmiştir. Gerekli mekanik aksam temin edildikten sonra elektronik denetim kartı tasarlanmış ve hareket ettirici olarak iki adet DC motor kullanılmıştır.

Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda Çizelge 4.1. ve Çizelge 4.2. de belirtilen mesafeler için algılayıcı çıkışlarında elde edilen gerilim değerleri verilmiştir.

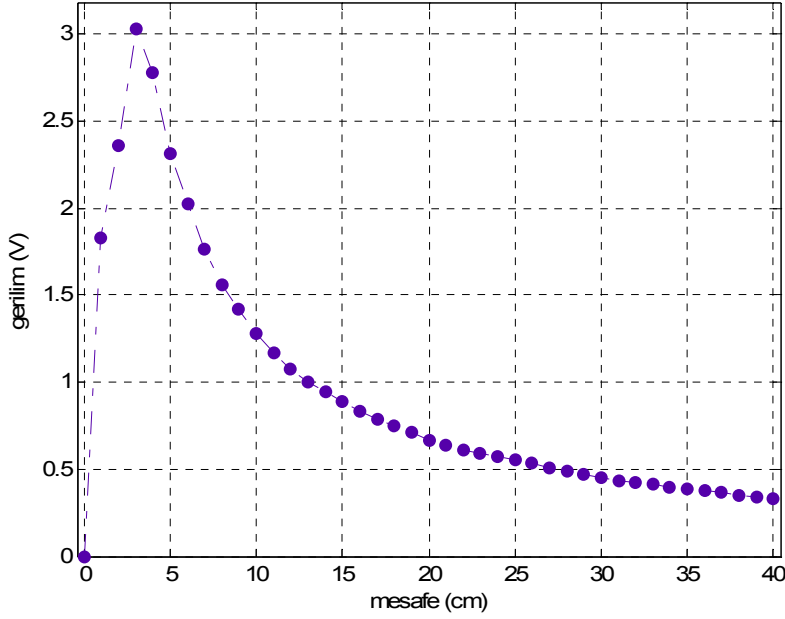
Çizelge 4.1. Sharp 2D 120 mesafe algılayıcısı için yapılan ölçüm sonuçları

ÇIKIŞ GERİLİMİ (V)	0	1.83	2.36	3.03	2.78	2.31	2.02	1.764	1.561
MESAFE (cm)	0	1	2	3	4	5	6	7	8
ÇIKIŞ GERİLİMİ (V)	1.416	1.279	1.165	1.071	0.998	0.948	0.887	0.828	0.786
MESAFE (cm)	9	10	11	12	13	14	15	16	17
ÇIKIŞ GERİLİMİ (V)	0.749	0.71	0.666	0.634	0.612	0.59	0.569	0.551	0.533
MESAFE (cm)	18	19	20	21	22	23	24	25	26
ÇIKIŞ GERİLİMİ (V)	0.51	0.488	0.468	0.45	0.437	0.424	0.411	0.397	0.385
MESAFE (cm)	27	28	29	30	31	32	33	34	35
ÇIKIŞ GERİLİMİ (V)	0.375	0.363	0.352	0.342	0.331				
MESAFE (cm)	36	37	38	39	40				

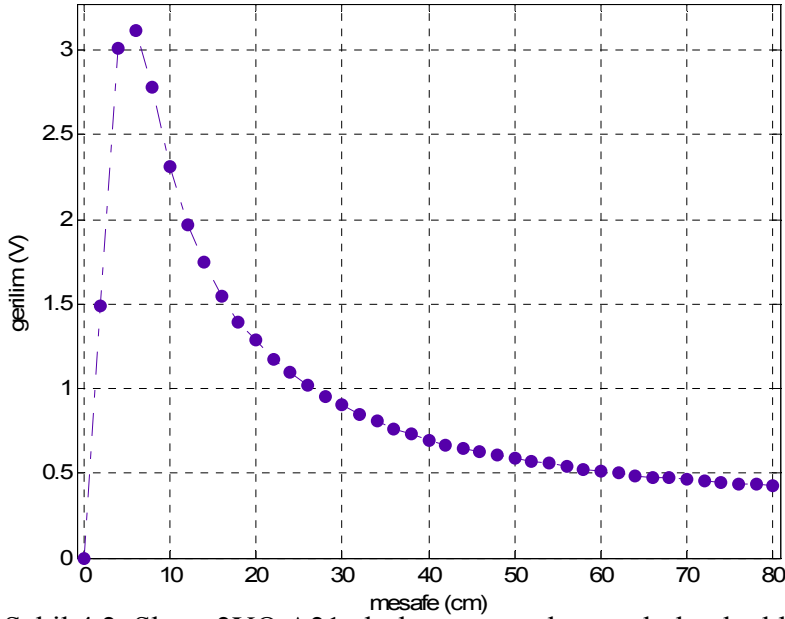
Çizelge 4.2. Sharp 2YO A21 mesafe algılayıcısı için yapılan ölçüm sonuçları

ÇIKIŞ GERİLİMİ (V)	0	1.487	3.01	3.119	2.78	2.31	1.97	1.752	1.545
MESAFE (cm)	0	2	4	6	8	10	12	14	16
ÇIKIŞ GERİLİMİ (V)	1.396	1.289	1.174	1.099	1.02	0.95	0.902	0.845	0.805
MESAFE (cm)	18	20	22	24	26	28	30	32	34
ÇIKIŞ GERİLİMİ (V)	0.766	0.728	0.692	0.669	0.647	0.627	0.608	0.59	0.573
MESAFE (cm)	36	38	40	42	44	46	48	50	52
ÇIKIŞ GERİLİMİ (V)	0.556	0.54	0.524	0.51	0.498	0.488	0.478	0.47	0.46
MESAFE (cm)	54	56	58	60	62	64	66	68	70
ÇIKIŞ GERİLİMİ (V)	0.452	0.446	0.44	0.434	0.43				
MESAFE (cm)	72	74	76	78	80				

Çizelge 4.1. ve Çizelge 4.2.' deki verilerden yararlanarak robotta kullanılan iki algılayıcı için mesafe-gerilim değişimleri elde edilmiştir.



Şekil 4.1. Sharp 2D120 algılayıcısının deneysel olarak elde edilen çıkış karakteristiği

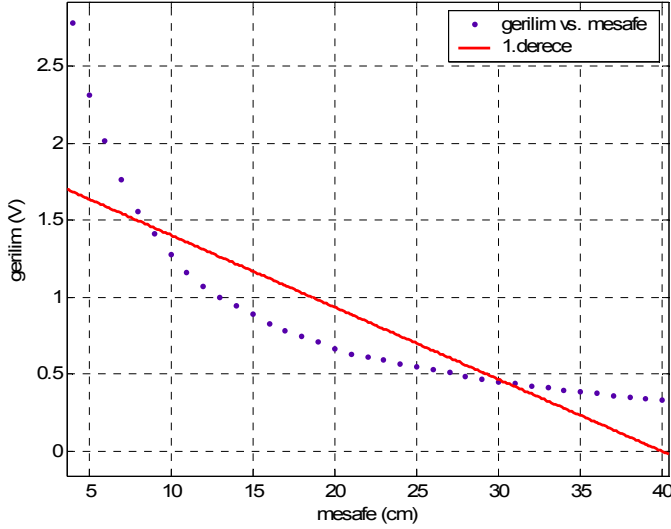


Şekil 4.2. Sharp 2YO A21 algılayıcısının deneysel olarak elde edilen çıkış karakteristiği

Deneysel olarak elde edilen çıkış karakteristikleri incelendiğinde belirli bir aralıkta farklı giriş değerleri için algılayıcı çıkışlarının aynı olduğu görülmektedir. Bu bölgeler algılayıcıların duyarsız kaldığı bölgeler olarak kabul edilecektir. Mesafe ölçme işlemi için bu bölgeler kullanılmayacaktır. Aynı zamanda uzak mesafeler için gerçekleştirilen ölçümlerde hassasiyet azalmaktadır. Bu giriş aralıklarında yapılması gereken hassas ölçümler için yükseltici devreler kullanılabilir.

4.1. Eğri Uydurma Sonuçları

4.1.1. Sharp 2D 120 İçin Elde Edilen Eğriler



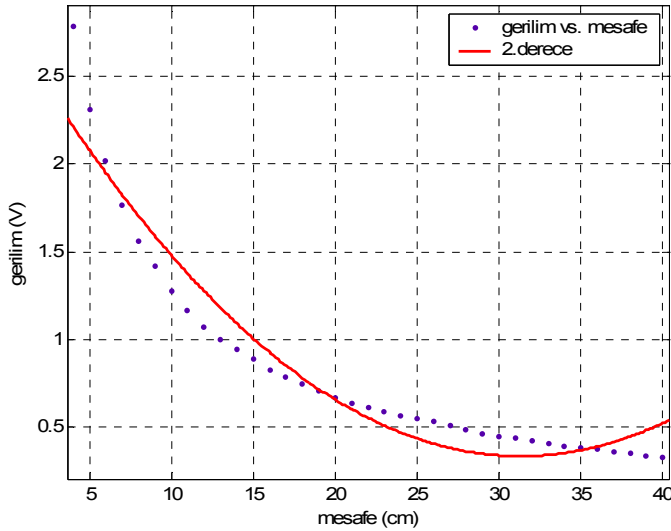
Şekil 4.3. Sharp 2D120 için benzetilen doğru

$$p_1 = -0.04684 \quad [-0.05638, -0.0373] \quad p_2 = 1.873 \quad [1.639, 2.106] \quad (4.1)$$

$$y = p_1 x + p_2$$

$$SSE = 3.261 \quad R\text{-square} = 0.7394 \quad \text{Adjusted R-square} = 0.732 \quad RMSE = 0.3052$$

$$\text{mesafe} = -15.79(\text{gerilim}) + 35.29 \quad (4.2)$$



Şekil 4.4. Sharp 2D120 için ikinci derece çokterimli

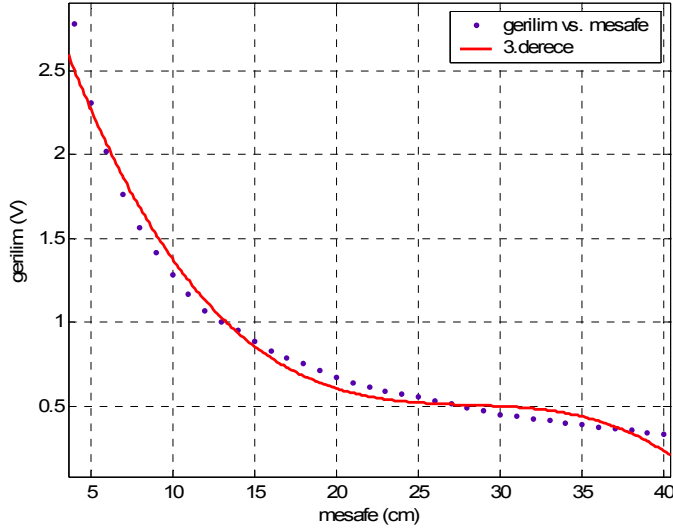
$$p_1 = 0.002509 \quad [0.001993, 0.003026] \quad p_2 = -0.1573 \quad [-0.1805, -0.134]$$

$$p_3 = 2.801 \quad [2.575, 3.027]$$

$$y = p_1 x^2 + p_2 x + p_3 \quad (4.3)$$

$$SSE = 0.8439 \quad R\text{-square} = 0.9326 \quad \text{Adjusted R-square} = 0.9286 \quad RMSE = 0.1575$$

$$\text{mesafe} = 11.7(\text{gerilim})^2 - 46.93(\text{gerilim}) + 49.27 \quad (4.4)$$



Şekil 4.5. Sharp 2D120 için benzetilen üçüncü derece çokterimli

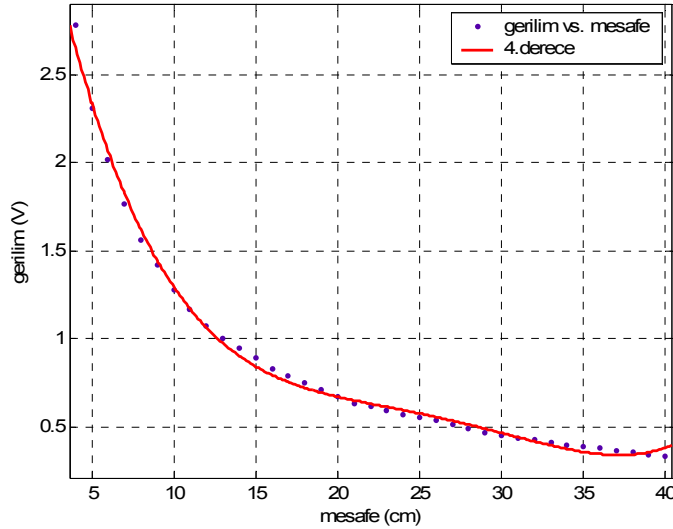
$$p_1 = -0.0001383 \quad [-0.0001658, -0.0001108] \quad p_2 = 0.01164 \quad [0.009804, 0.01347]$$

$$p_3 = -0.3297 \quad [-0.3659, -0.2935] \quad p_4 = 3.65 \quad [3.447, 3.853]$$

$$y = p_1 x^3 + p_2 x^2 + p_3 x + p_4 \quad (4.5)$$

$$SSE=0.2022 \quad R\text{-square}=0.9838 \quad \text{Adjusted R-square}=0.9824 \quad RMSE=0.07827$$

$$\text{mesafe} = -8.762 (\text{gerilim})^3 + 49.53 (\text{gerilim})^2 - 91.7 (\text{gerilim}) + 62.96 \quad (4.6)$$



Şekil 4.6. Sharp 2D120 için benzetilen dördüncü derece çokterimli

$$p_1 = 7.38e-006 \quad [5.955e-006, 8.805e-006] \quad p_2 = -0.0007877 \quad [-0.0009139, -0.0006616]$$

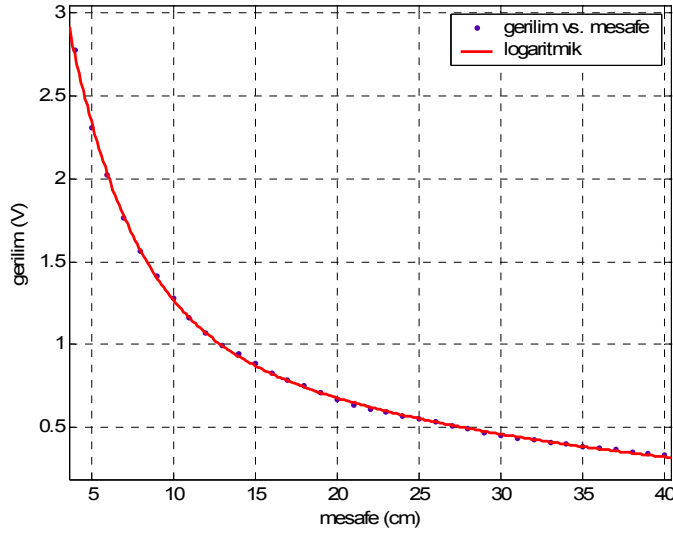
$$p_3 = 0.03091 \quad [0.02708, 0.03474] \quad p_4 = -0.5491 \quad [-0.5949, -0.5033]$$

$$p_5 = 4.408 \quad [4.232, 4.584]$$

$$y = p_1 x^4 + p_2 x^3 + p_3 x^2 + p_4 x + p_5 \quad (4.7)$$

$$SSE=0.04518 \quad R\text{-square}=0.9964 \quad \text{Adjusted R-square}=0.9959 \quad RMSE=0.03757$$

$$\text{mesafe} = 6.698 (\text{gerilim})^4 - 48.28 (\text{gerilim})^3 + 126.6 (\text{gerilim})^2 - 148.6 (\text{gerilim}) + 76.07 \quad (4.8)$$



Şekil 4.7. Sharp 2D120 için benzetilen logaritmik fonksiyon

$$a = 4.473 \quad [4.318, 4.627]$$

$$b = -0.2571 \quad [-0.2692, -0.2449]$$

$$c = 1.324 \quad [1.258, 1.391]$$

$$d = -0.03547 \quad [-0.03724, -0.03369]$$

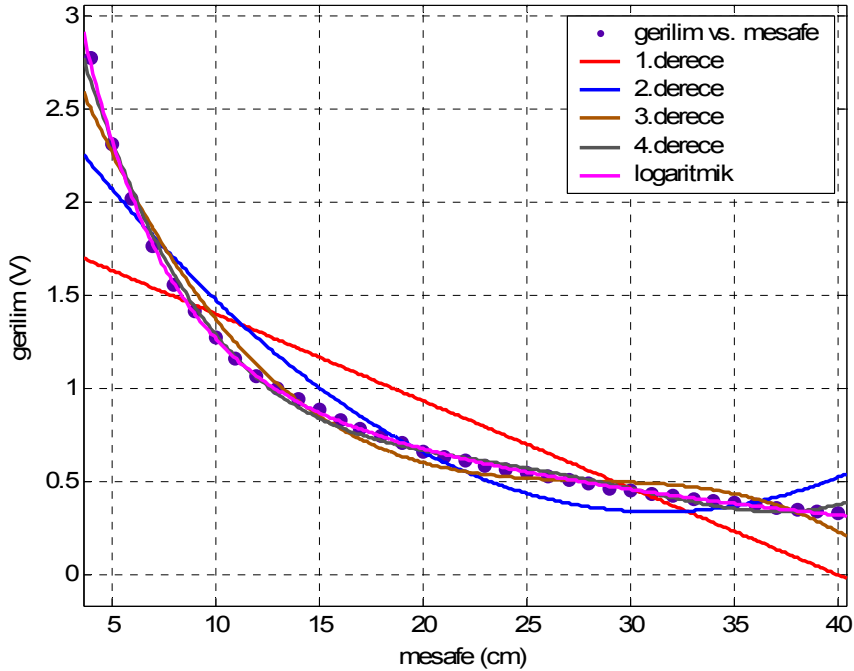
$$y = a \cdot \exp(b \cdot x) + c \cdot \exp(d \cdot x)$$

(4.9)

$$SSE = 0.004501 \quad R\text{-square} = 0.9996 \quad \text{Adjusted } R\text{-square} = 0.9996 \quad RMSE = 0.01168$$

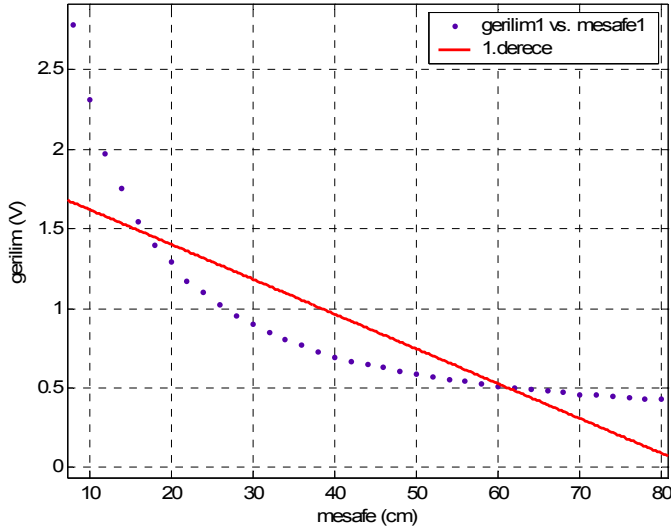
$$\text{mesafe} = 78.56 \exp(-3.539 \text{gerilim}) + 18.52 \exp(-0.5541 \text{gerilim})$$

(4.10)



Şekil 4.8. Sharp 2D120 için benzetilen eğrilerin karşılaştırılması

4.1.2. Sharp 2YO A21 İçin Elde Edilen Eğriler



Şekil 4.9. Sharp 2YO A21 için benzetilen doğru

$$p_1 = -0.02189 \quad [-0.02669, -0.01709]$$

$$p_2 = 1.841 \quad [1.606, 2.075]$$

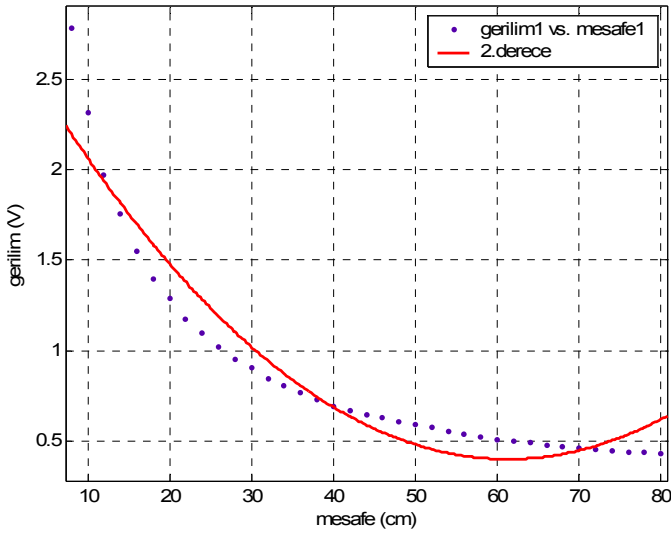
$$y = p_1 x + p_2$$

(4.11)

$$SSE = 3.304 \quad R\text{-square} = 0.7099 \quad \text{Adjusted R-square} = 0.7016 \quad RMSE = 0.3072$$

$$\text{mesafe} = -32.43(\text{gerilim}) + 72.45$$

(4.12)



Şekil 4.10. Sharp 2YO A21 için benzetilen ikinci derece çokterimli

$$p_1 = 0.0006322 \quad [0.0005026, 0.0007618] \quad p_2 = -0.07753 \quad [-0.08919, -0.06586]$$

$$p_3 = 2.776 \quad [2.549, 3.003]$$

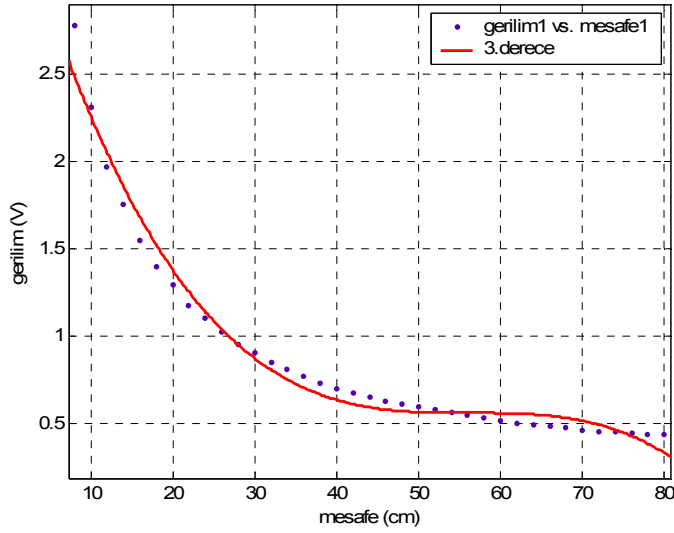
$$y = p_1 x^2 + p_2 x + p_3$$

(4.13)

$$SSE = 0.8491 \quad R\text{-square} = 0.9254 \quad \text{Adjusted R-square} = 0.9211 \quad RMSE = 0.158$$

$$\text{mesafe} = 25.64(\text{gerilim})^2 - 102.9(\text{gerilim}) + 106.7$$

(4.14)



Şekil 4.11. Sharp 2YO A21 için benzetilen üçüncü derece çokterimli

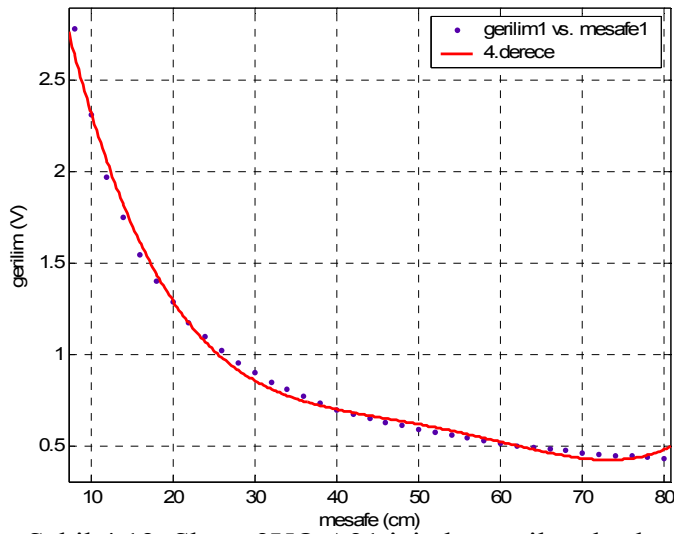
$$p_1 = -1.713e-005 \ [-2.07e-005, -1.355e-005] \quad p_2 = 0.002893 \ [0.002417, 0.00337]$$

$$p_3 = -0.163 \ [-0.1818, -0.1441] \quad p_4 = 3.617 \ [3.406, 3.828]$$

$$y = p_1 x^3 + p_2 x^2 + p_3 x + p_4 \quad (4.15)$$

$$SSE = 0.2189 \quad R\text{-square} = 0.9808 \quad \text{Adjusted R-square} = 0.979 \quad RMSE = 0.08145$$

$$\text{mesafe} = -22.3(\text{gerilim})^3 + 125.2(\text{gerilim})^2 - 227.6(\text{gerilim}) + 148.7 \quad (4.16)$$



Şekil 4.12. Sharp 2YO A21 için benzetilen dördüncü derece çokterimli

$$p_1 = 4.681e-007 \ [3.678e-007, 5.684e-007] \quad p_2 = -9.952e-005 \ [-0.0001173, -8.177e-005]$$

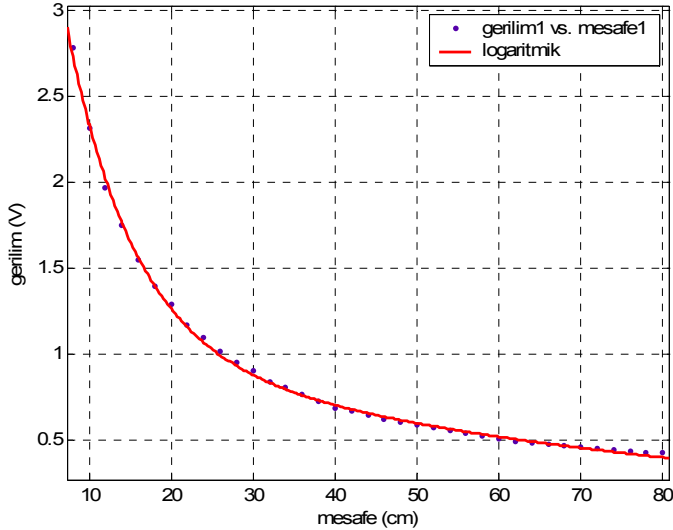
$$p_3 = 0.007783 \ [0.006707, 0.00886] \quad p_4 = -0.2743 \ [-0.3001, -0.2485]$$

$$p_5 = 4.386 \ [4.189, 4.584]$$

$$y = p_1 x^4 + p_2 x^3 + p_3 x^2 + p_4 x + p_5 \quad (4.17)$$

$$SSE = 0.05722 \quad R\text{-square} = 0.995 \quad \text{Adjusted R-square} = 0.9943 \quad RMSE = 0.04229$$

$$\text{mesafe} = 21.47(\text{gerilim})^4 - 152.7(\text{gerilim})^3 + 391(\text{gerilim})^2 - 483.3(\text{gerilim}) + 202.7 \quad (4.18)$$

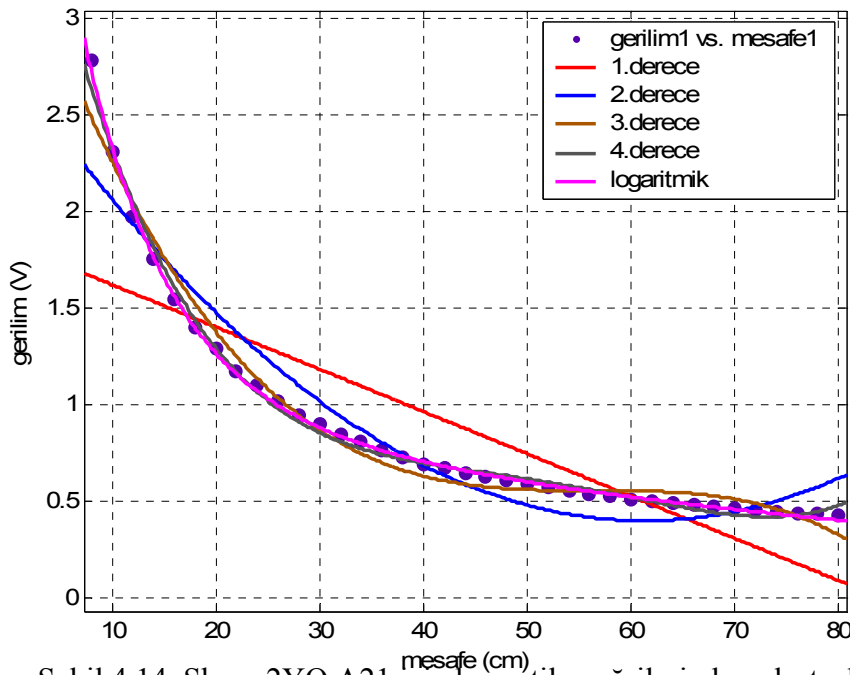


Şekil 4.13. Sharp 2YO A21 için benzetilen logaritmik fonksiyon

$$\begin{aligned}
 a &= 4.559 \quad [4.331, 4.787] & b &= -0.1217 \quad [-0.13, -0.1134] \\
 c &= 1.12 \quad [1.031, 1.209] & d &= -0.0128 \quad [-0.01415, -0.01144] \\
 y &= a \cdot \exp(b \cdot x) + c \cdot \exp(d \cdot x)
 \end{aligned}
 \tag{4.19}$$

$$\text{SSE} = 0.01226 \quad \text{R-square} = 0.9989 \quad \text{Adjusted R-square} = 0.9988 \quad \text{RMSE} = 0.01928$$

$$\text{mesafe} = 297.5 \exp(-4.185 \text{ gerilim}) + 33.83 \exp(-0.4864 \text{ gerilim})
 \tag{4.20}$$

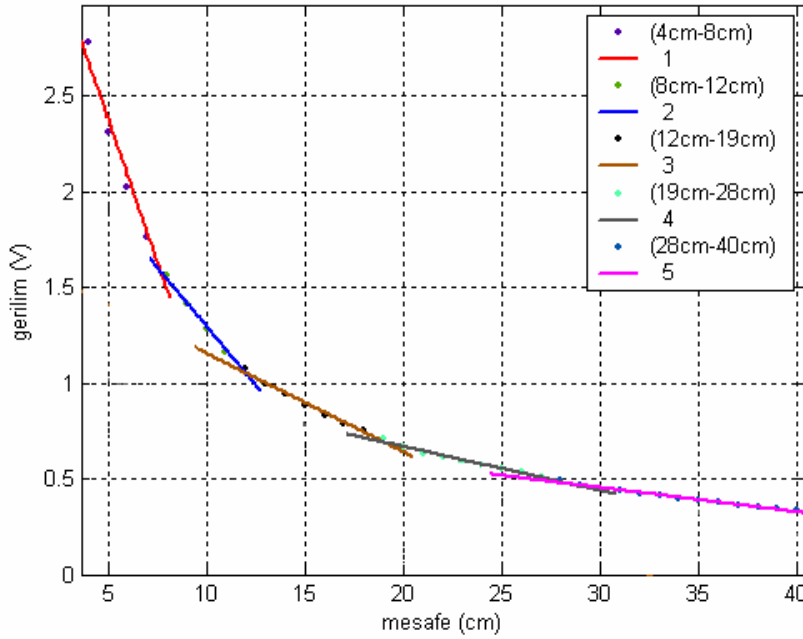


Şekil 4.14. Sharp 2YO A21 için benzetilen eğrilerin karşılaştırılması

Yukarıda verilen şekiller ve benzetme parametreleri incelendiğinde algılayıcı çıkışları için uydurulan çokterimlinin derecesi arttıkça eğri gerçek çıkışa yaklaşmaktadır. Çıkış doğru denklemine benzetildiğinde iki noktada doğru sonuç

vermektedir. İkinci dereceden bir çokterimli ifadeye benzetildiğinde hatanın azaldığı gözlemlenmiştir. Fakat elde edilen sonuçlar tatminkar değildir. Üçüncü derece çokterimliye benzetildiğinde hata gözle görülür bir oranda azalmaktadır. Dördüncü derece çokterimliye benzetildiğinde ise eğri neredeyse çıkış üzerine oturmaktadır. Benzetim için daha yüksek dereceden çokterimli ifadelerin kullanılması durumunda daha doğru sonuçlar alınabilecektir.

Algılayıcı çıkışının parçalar halinde doğrusallaştırılması farklı bir seçenek olarak düşünülebilir. Bu aşamada ise elde edilen ifade birden fazla (parça sayısı kadar) doğru denkleminin birleşiminden oluşacaktır. Sharp 2D 120 mesafe algılayıcısına ait (4cm-8cm), (8cm-12cm), (12 cm-19cm), (19cm-28cm) ve (32cm-40cm) olarak parçalara ayrılmış çalışma aralığı için uydurulan doğru denklemleri şekil 4.15'te gösterilmektedir. Algılayıcı çıkışındaki gerilim hangi aralığın içinde ise o denklemin işleme sokulmasına dikkat edilmelidir. Bu yöntem yüksek doğruluk gerektirmeyen uygulamalarda işlemcinin yükünü azaltmak için düşünülebilir.



Şekil 4.15. Sharp 2D 120 çıkışı için 5 parçalı doğru denklemlerle yapılan benzetimi

Çalışma aralığına denk gelen doğru denklemleri ise sırasıyla;

$$y_1 = -0.2984x + 3.877 \quad (4.21)$$

$$y_2 = -0.1231x + 2.529 \quad (4.22)$$

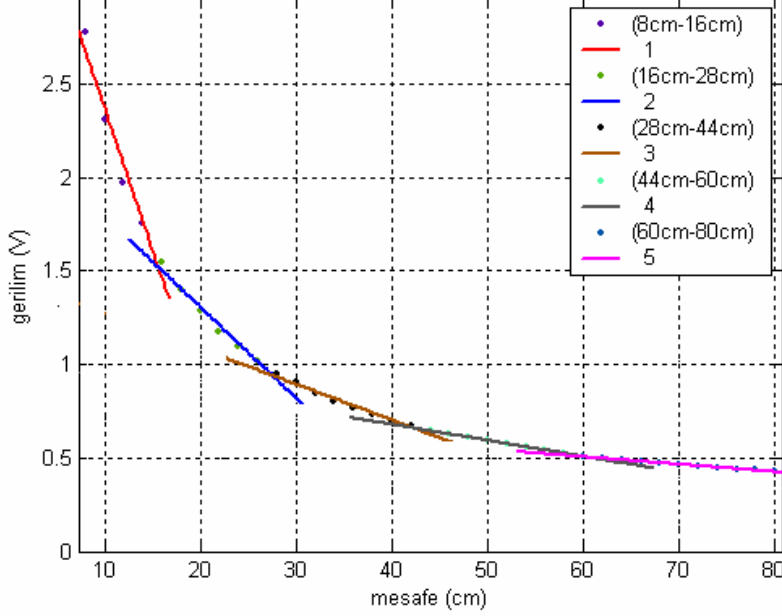
$$y_3 = -0.05139x + 1.669 \quad (4.23)$$

$$y_4 = -0.02302x + 1.127 \quad (4.24)$$

$$y_5 = -0.01269x + 0.8333 \quad (4.25)$$

olarak elde edilir.

Benzer şekilde Sharp 2YO A21 mesafe algılayıcısı için (8cm-16cm), (16cm-28cm),(28cm-44cm), (44cm-60cm) ve (60cm-80cm) çalışma bölgeleri için ayrı ayrı elde edilen doğru denklemleri şekil 4.16.' da gösterilmektedir.



Şekil 4.16. Sharp 2YO A 21 çıkışı için 5 parçalı doğru denklemlerle yapılan benzetimi

Çalışma aralığına denk gelen doğru denklemleri ise sırasıyla;

$$y_1 = -0.1514x + 3.888 \quad (4.26)$$

$$y_2 = -0.0487x + 2.282 \quad (4.27)$$

$$y_3 = -0.01912x + 1.466 \quad (4.28)$$

$$y_4 = -0.008558x + 1.02 \quad (4.29)$$

$$y_5 = -0.004009x + 0.7448 \quad (4.30)$$

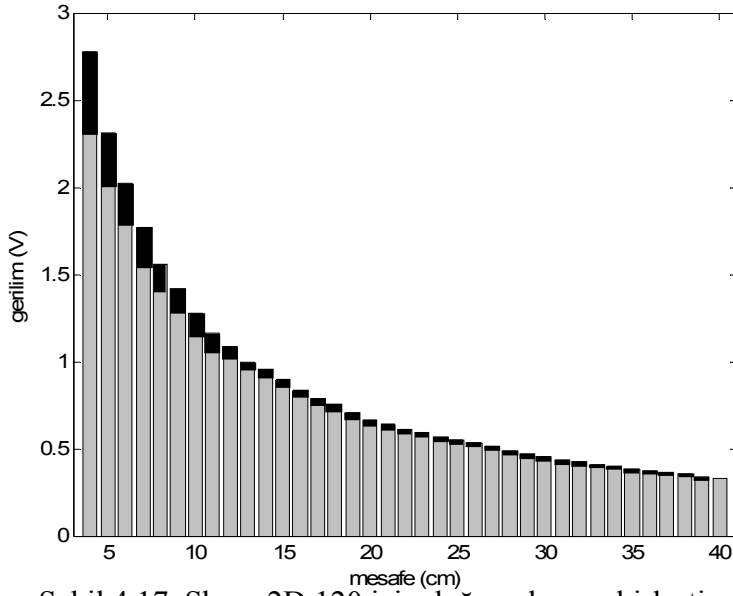
Algılayıcı çıkışı üstel bir değişime benzerlik göstermektedir. Bunun için benzetim için üstel bir ifade kullanıldığında yüksek doğruluklu bir sonuca ulaşılmaktadır. Her bir benzetim için elde edilen eğrilerin karşılaştırılması amacıyla Şekil 4.8. ve Şekil 4.14. çizilmiştir.

Benzetim için kullanılacak denklemin seçiminde dikkat edilecek tek ölçüt doğruluk değildir. Doğruluk arttıkça denetleyicinin de işlem yükü artmaktadır. Bu durum örnekleme zamanının uzamasına neden olacaktır. Bu aşamada yapılması gereken

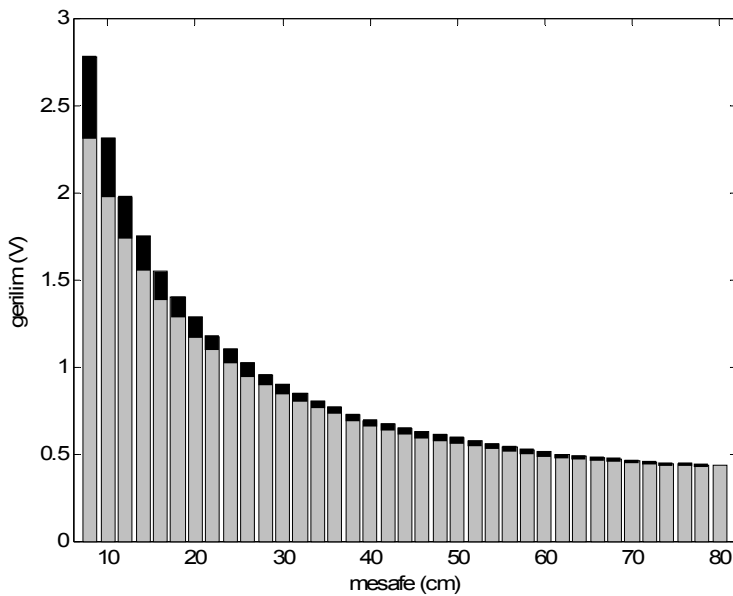
kabul edilebilir hata oranlarının belirlenmesi ve denetleyicinin işlem yükünün azaltılmasıdır.

4.2. Doğrusal Arayı Birleştirme Yönteminin İncelenmesi

Kullanılan mesafe algılayıcıları için çalışma aralıkları üzerinde, eşit uzunlukta 37 parça belirlenmiştir. Sharp 2YO A21 için 2 cm'lik, Sharp 2D 120 için 1 cm'lik aralıklarla belirlenen bu noktalarda yapılan ölçümlerden elde edilen algılayıcı çıkışları Çizelge 4.1. ve Çizelge 4.2. de gösterilmiştir. Bu veriler kullanılarak her bir gerilim aralığına karşılık gelen mesafe bilgileri şekil 4.17. ve şekil 4.18. 'de gösterilmektedir.



Şekil 4.17. Sharp 2D 120 için doğrusal arayı birleştirme yöntemi çıkış karakteristiği



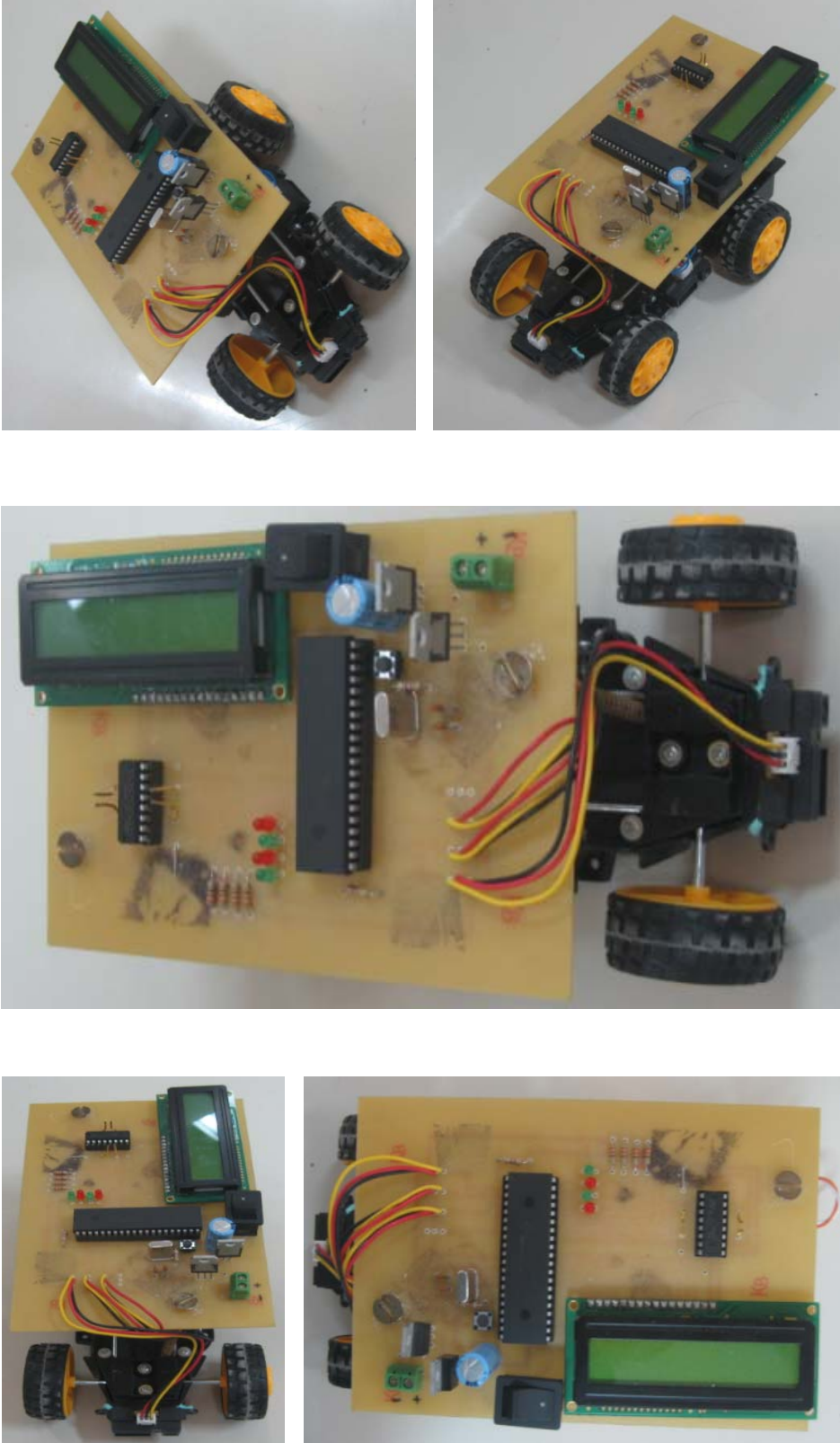
Şekil 4.18. Sharp 2YO A21 için doğrusal arayı birleştirme yöntemi çıkış karakteristiği

Şekil 4.17. ve şekil 4.18. incelendiğinde ölçüm mesafesi arttıkça çıkış geriliminin azaldığı görülmektedir. Mesafe algılayıcılarının çalışma bölgelerinin ilk çeyreğinde duyarlılık çok yüksektir. Gerçeklenen gezgin robot iki farklı mesafe algılayıcısına sahip olduğu için toplamda 37 elemanlı iki veri tabanı oluşturmak gerekmektedir. Bu nedenle bu yöntem için fazla bellek kullanımı söz konusudur. Ayrıca kullanılan üç mesafe algılayıcısı için her örneklemede bu veri tabanının taranacak olması işlemci yükünü arttırmaktadır. Ortalama bir tarama zamanından söz etmek mümkün olmayacaktır. Veri tabanında yapılacak olan karşılaştırma işleminde gerilimin mesafe karşılığı ilk deneme sonucunda elde edilebileceği gibi, sonuç ancak 37. denemede elde edilebilir. Okunan son iki mesafe bilgisini test etmek suretiyle bir yön kestiriminde bulunulabilir. Okunan son iki mesafe bilgisi arasındaki farkın negatif ya da pozitif çıkması durumuna göre bir engele yaklaşıldığı veya uzaklaşıldığı anlaşılabilir. Bu işlem tarama süresinin kısalması için bir çözüm olarak düşünülebilir. Algılayıcının kullanılmayan çalışma aralıklarındaki parça sayısının azaltılması da işlemci hızını arttırabilir.

Yüksek doğruluk gerektiren uygulamalar için nokta sayısının arttırılması kaçınılmaz olduğundan, daha fazla bir bellek gereksinimi olacak ve işlemcinin örnekleme süresi uzayacaktır. Bu örnekleme süresinin çok uzaması denetim işaretlerinin gecikmesine neden olacaktır. Denetim işaretlerinin gecikmesi gezgin robot için başta çarpma veya çarpışma olmak üzere birçok olumsuz durum meydana getirecektir. Algılayıcıya ait çalışma aralığında yoğun olarak kullanılacak bölge belirlenerek o bölgeye ait parça sayısı arttırılarak, işlemciyi daha az yoracak şekilde yüksek doğruluk elde edilebilir.

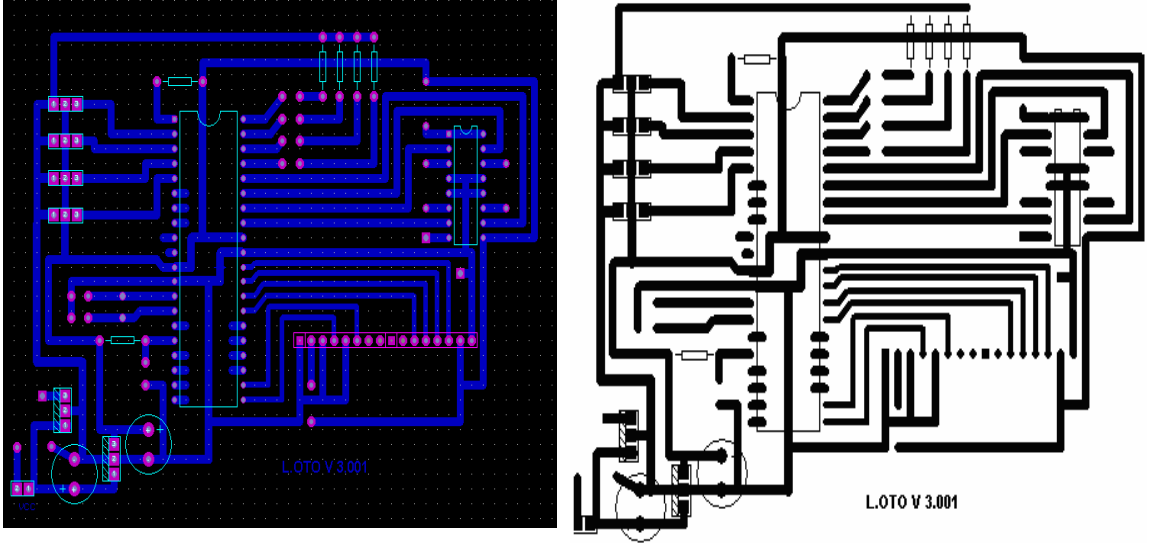
4.3. Gerçeklenen Gezgin Robot Dizgesi

Bu çalışma kapsamında gezgin robot dizgelerinin çevre algılamada yaşadıkları güçlükleri incelemek amacıyla özellikleri “Materyal ve Yöntemler” bölümünde açıklanan 20cm x 10cm x 8cm boyutunda bir gezgin robot gerçekleştirilmiştir(Şekil 4.19). Gezgin robotun tekerlek çapı 4cm ‘dir. Yanlardaki tekerlekler mil ve dişliler aracılığıyla irtibatlandırılmıştır. Hareket sağlamak için iki DC motor arka tekerleklere bağlanmıştır. Bir yöndeki arka tekerlek dönmeye başladığında aktarım elemanları sayesinde o yöndeki ön tekerlekte dönmeye başlayacaktır.

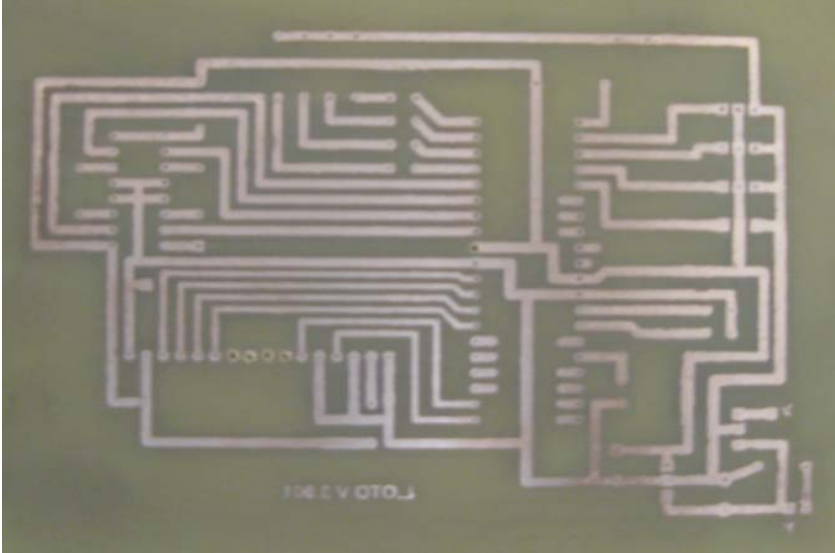


Şekil 4.19. Gerçeklenen gezgin robotun görüntüleri

Robota ait baskı devre çizimi ve proteus programında oluşturulan model görüntüleri ise Şekil 4.20. ve Şekil 4.21.'de gösterilmektedir.



Şekil 4.20. Gerçeklenen gezgin robotun baskılı devre benzeşimi



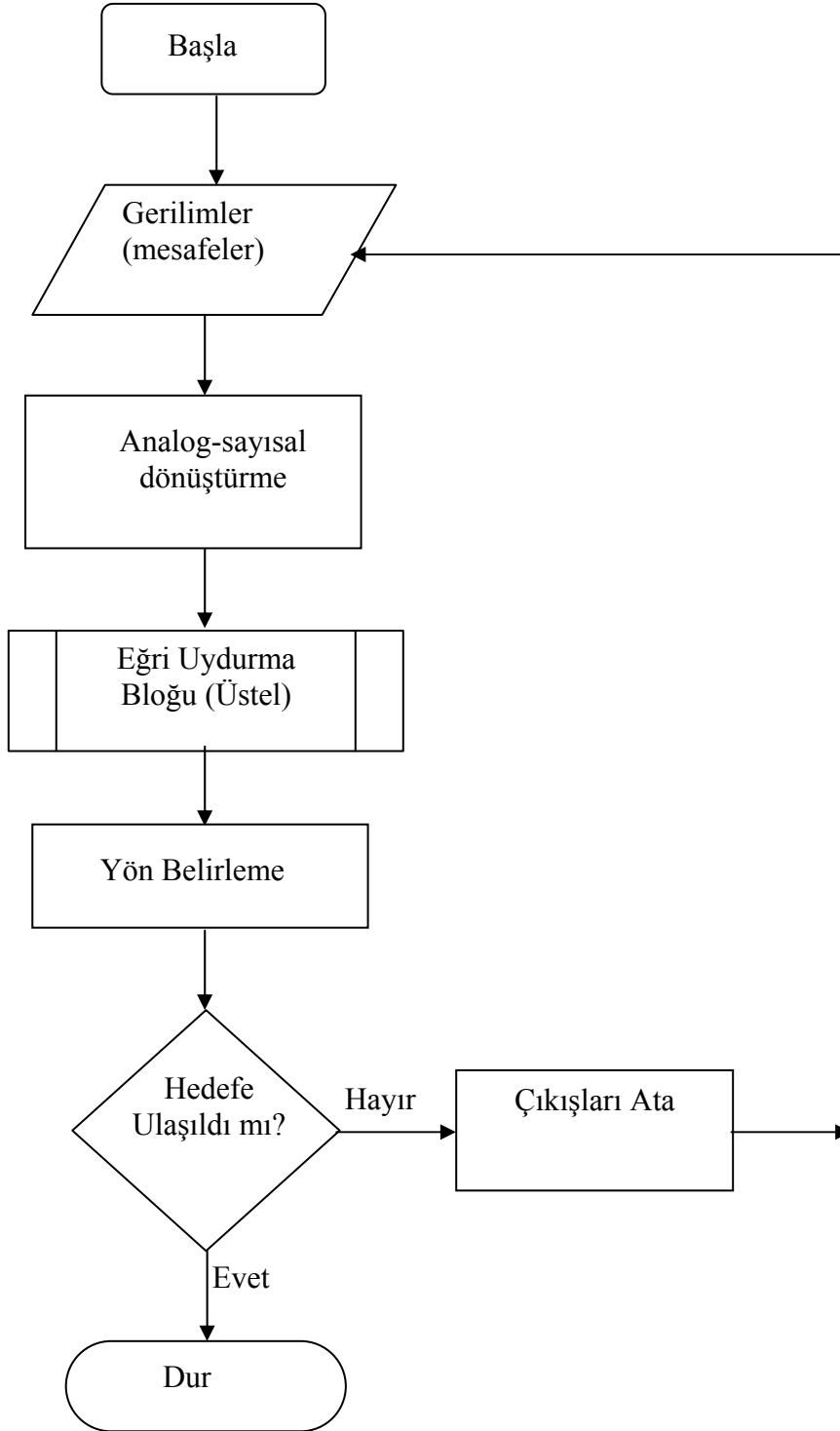
Şekil 4.21. Gerçeklenen gezgin robotun baskılı devre görüntüsü

4.3.1. Gezgin Robot Yazılımı

Gezgin robot dizgesinde oluşturulan mekanik ve elektriksel aksamın kullanıcı tarafından belirlenen amaca uygun olarak hareket etmesini sağlamak amacıyla bir denetleyici kullanılmaktadır. Bu çalışmada denetleyici olarak PIC16F877 mikrodenetleyicisi kullanılmıştır. Bu denetleyicinin mesafe algılayıcılarından gelen ölçüm bilgisini değerlendirmesi, sonuçları ekranda görüntülemesi ve bu sonuçlara göre motorlara denetim işaretleri göndererek yönlendirme görevini yapabilmesi için bir program geliştirilmiştir.

Program micro C derleyicisi kullanılarak yazılmıştır. Mesafe algılayıcılarından gelen işaretlerin okunması, eğri uydurma yönteminde elde edilen matematiksel ifadeye göre işlenmesi, yön tayini ve bu doğrultuda motor konumlarının belirlenmesi gibi aşamaları içermektedir. Yön tayini için bir öncelik sırası belirlenmiştir.

Robot için oluşturulan programa ait akış şeması Şekil.4.22 ' de gösterilmektedir.



Şekil 4.22. Gezgin robot programı akış şeması

4.3.2. Gerçeklenen Gezgin Robotun Hareket Becerisinin Değerlendirilmesi

4.3.2.1. Engeli Algılama ve Yaklaşma Becerisi

Gerçeklenen gezgin robot için öngörülen en temel beceri karşısına çıkan engelleri fark etmesi, çarpmanın veya çarpışmanın önüne geçebilmesidir. Robot ön kısmına yerleştirilen mesafe algılayıcısından gelen ölçme işaretini kullanarak karşısındaki engelleri algılamaktadır (Şekil 4.23.). Yapılan deneysel çalışmalarda robot engeli algılamakta ve neredeyse ayarlanan mesafe kadar yaklaştıktan sonra durmaktadır. Bu aşamada hareketi durdurmak için gönderilen denetim işaretinin sürücüye ulaşması için geçen süre ve fren mesafesinden dolayı engele olan durma mesafesinde bir miktar azalma görülmektedir. Engele 10 cm yaklaşması istenilen deneme sürüşü engele 8 cm'lik bir mesafe ile son bulmuştur.



Şekil 4.23. Engeli algılama ve yaklaşma

Motor hız denetimi için oluşturulacak PWM işareti ile bu sorun aşılabilir. Engel için öngörülen yaklaşma mesafesi öncesinde oluşturulacak kesikli çalışma hatayı azaltmakta fakat yaklaşma süresinin uzamasına neden olmaktadır.

4.3.2.2. Yolu Ortalama Becerisi

Gezgin robot için öngörülen bir diğer beceri bir yol boyunca, yoldan sapmadan ilerlemesidir. Gezgin robotun her iki yanına yerleştirilen ve ön kısmındaki mesafe algılayıcısına göre daha dar bir çalışma bölgesine sahip mesafe algılayıcıları, yan taraflardaki engelleri sürekli algılamakta ve ölçüm sonucunu mikrodenetleyiciye göndermektedir. Mikrodenetleyici gelen ölçüm sonuçlarından aracın her iki tarafa olan uzaklıklarını hesaplamaktadır. Bu uzaklıkların farkı alınarak aracın yolu hangi düzeyde ortaladığı elde edilmektedir. Bu aşamada 2 cm'lik bir ölü bant oluşturulmuştur. Robotun herhangi bir tarafının diğer tarafına göre kenara 2 cm daha fazla yaklaşması durumunda

denetleyicinin duruma müdahale etmesi sağlanmıştır. Deneme sürüşlerinin yapılması için Şekil 4.24. ve şekil 4.25.’te gösterilen ortamlar oluşturulmuştur.



Şekil 4.24. Düz yol için robotun yolu ortalama becerisi



Şekil 4.25. Virajlı yol için robotun yolu ortalama becerisi

Yapılan test sürüşlerinde düz yolda herhangi bir olumsuzluk yaşanmamıştır. Virajlı yol için yapılan deneme sürüşlerinde oluşturulan 2 cm’lik ölü banttı daha fazla mesafelerde her iki yana yaklaşımlar gözlemlenmiştir. Fakat robot hareketini duvarlara çarpmadan tamamlamıştır.

4.3.2.3. Yön Belirleme ve Dönüşler

Gezgin robot sahip olduğu 3 mesafe algılayıcısı sayesinde ön cephesini, solunu ve sağını, sınırlı bir aralıkta ve sınırlı bir açıda algılayabilmektedir. Bu algılama sonucunda birden fazla ilerleme seçeneği olması durumunda bir öncelik oluşturulmuştur. Gerçeklenen gezgin robot yolun uygun olması durumunda sola doğru dönüş yapacaktır. Soldaki algılayıcıdan “yol açık” bilgisi gelmediğinde ikinci öncelikli doğrultuya bakılacaktır. Ön algılayıcıdan “yol açık” bilgisi geldiği sürece ve sol algılayıcıdan “yol kapalı” bilgisi geldiği sürece robot doğrultusunda ilerleyecektir. Sol taraftaki ve öndeki algılayıcılardan “yol kapalı” bilgisi geldiğinde sağ taraftaki algılayıcıdan gelen bilgiye bakılacak ve yol uygunsa sağa robot sağa dönecektir. Üç algılayıcının tamamı “yol kapalı” bilgisini gönderdiğinde robot geriye dönecektir.

Oluşturulan bu öncelikle gezgin robotun bulunduğu alanın tamamını taraması amaçlanmıştır. Dönüş motorların zıt yönlerde çalıştırılmasıyla gerçekleştirilmiştir. Bu şekilde gezgin robotun kendi ekseninde dönmesi ve aracın hızlı tepki vermesi sağlanmıştır.

Sola Dönüş: Sol taraftaki DC motor geri ve sağ taraftaki DC motor ileri yönde çalıştırılarak gerçekleştirilmiştir. Deneme sürüşleri için şekil 4.26.'da gösterilen ortam oluşturulmuştur. Yapılan deneme sürüşlerinde robotun engellere çarpmaksızın dönme işlemini gerçekleştirdiği gözlemlenmiştir. Dönüş işleminin sonlandırılması aşamasında öndeki algılayıcıdan da faydalanılmıştır. Dönüş işlemi gerçekleştikten sonra sol taraftaki algılayıcıdan “yol boş” bilgisi gelmesi karışıklığa neden olacaktır. Bu nedenle robotun, dönüş işleminden sonra ölçme bilgisi almaksızın, kısa bir süre için doğrultusunda ilerlemesi sağlanmıştır.



Şekil 4.26. Sola dönüş için oluşturulan deneme ortamı

Sağa Dönüş: Sol taraftaki DC motor ileri ve sağ taraftaki DC motor geri yönde çalıştırılarak gerçekleştirilmiştir. Deneme sürüşleri için şekil 4.27.'de gösterilen ortam oluşturulmuştur.



Şekil 4.27. Sağa dönüş için oluşturulan deneme ortamı

Yapılan deneme sürüşlerinde robotun engellere çarpmaksızın dönme işlemini gerçekleştirdiği gözlemlenmiştir. Dönüş işleminin sonlandırılması aşamasında öndeki algılayıcıdan da faydalanılmıştır. Dönüş işlemi gerçekleştikten sonra robotun kısa bir süre için doğrultusunda ilerlemesi sağlanmıştır.

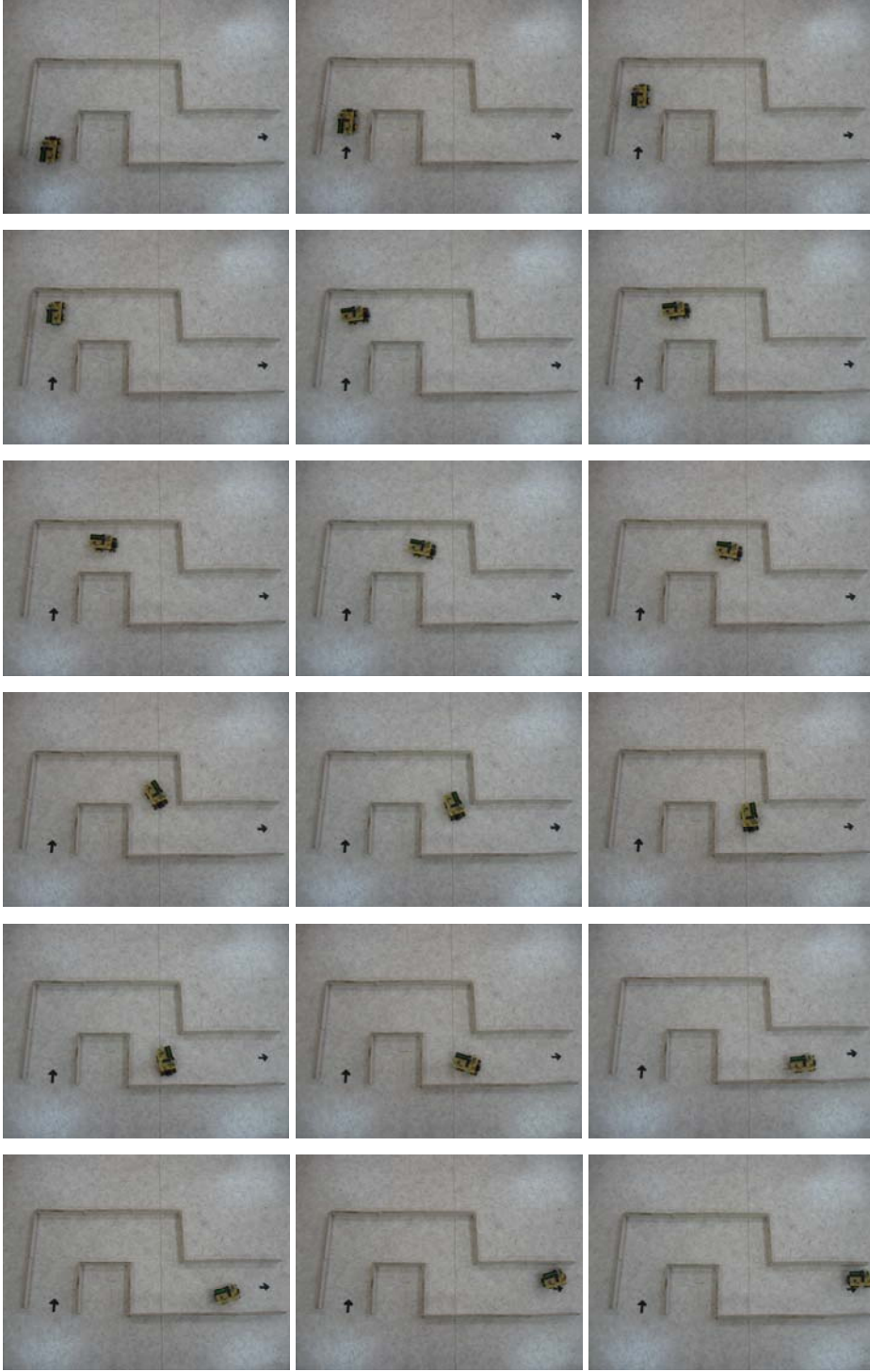
Geriye Dönüş: Üç algılayıcıdan birden “yol kapalı” bilgisinin gelmesi durumunda robot geriye dönecektir. Dönüş yönünün belirlenmesinde yan algılayıcılardan gelen mesafe bilgileri kullanılmıştır. Yönün durumuna göre motorların çalışacakları yönler belirlenmektedir. Deneme sürüşleri için şekil 4.28.’de gösterilen ortam oluşturulmuştur.



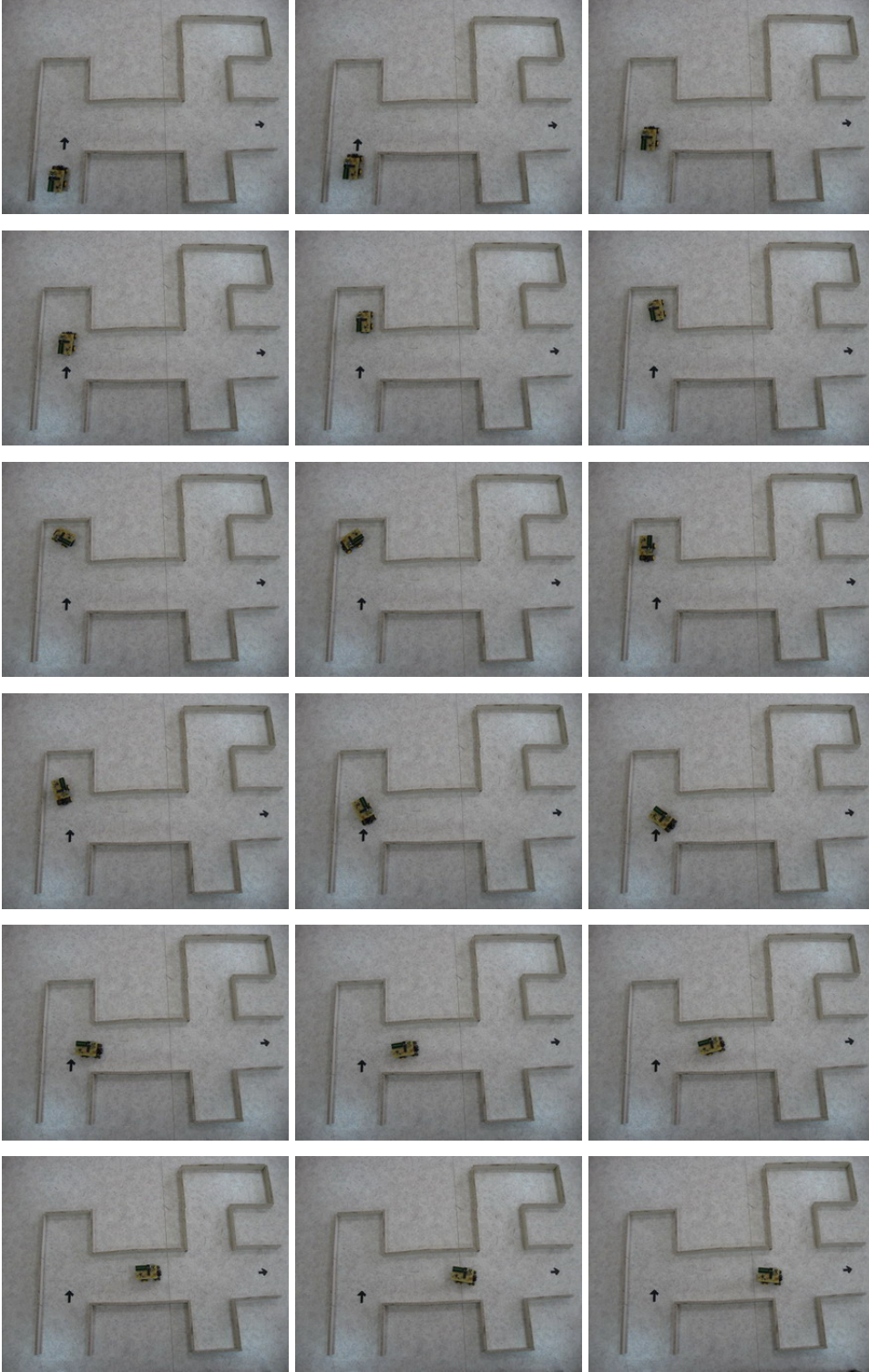
Şekil 4.28. Geriye dönüş için oluşturulan deneme ortamı

Yapılan deneme sürüşlerinde robotun engellere çarpmaksızın dönme işlemini gerçekleştirdiği gözlemlenmiştir. Dönüş işleminin sonlandırılması aşamasında öndeki algılayıcıdan da faydalanılmıştır. Ön tarafa yerleştirilen algılayıcının ölçüm sonucu belirlenen mesafenin üzerine çıktığında dönüş için sürücüye gönderilen denetim işareti sonlandırılmaktadır.

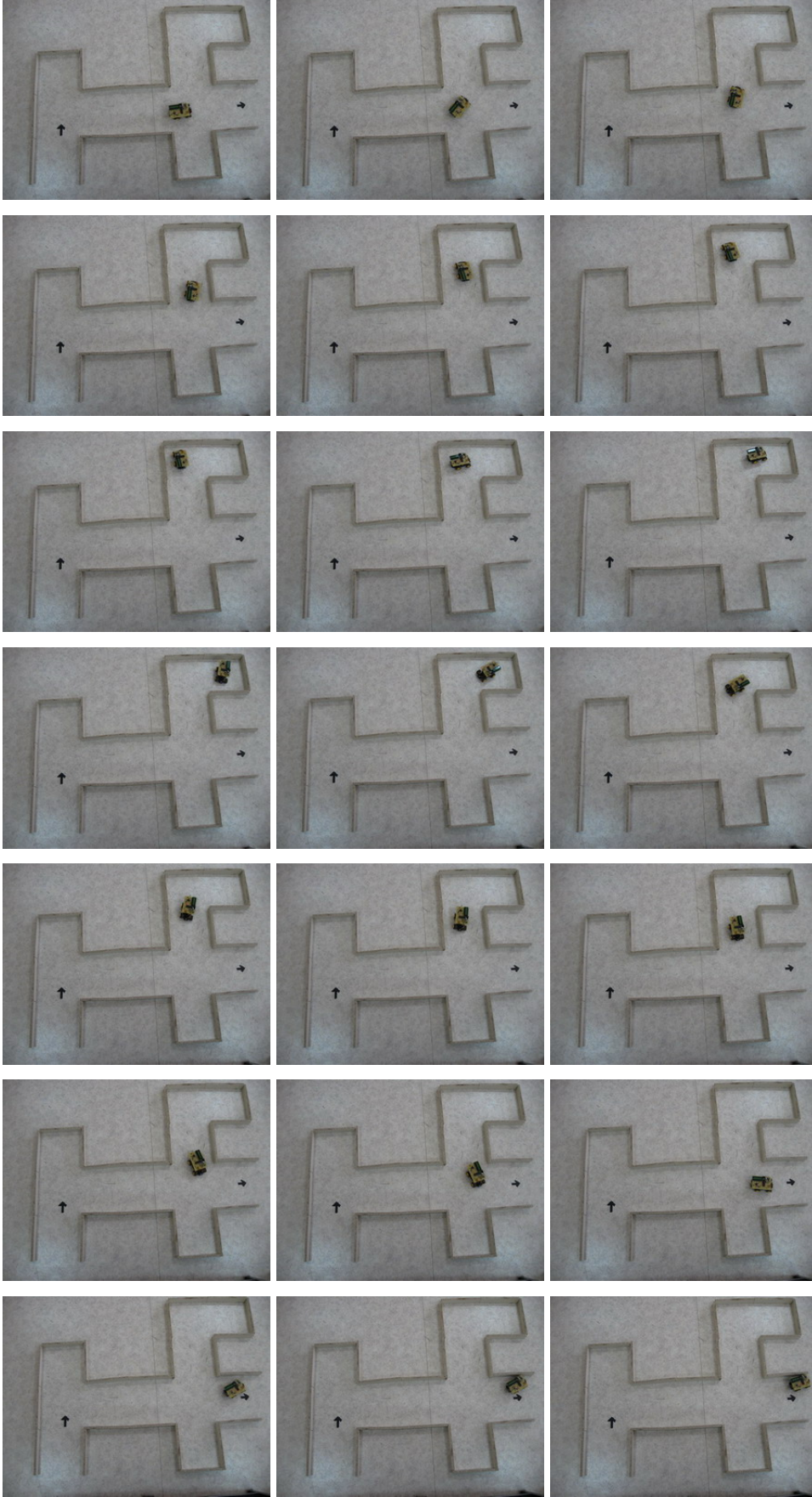
Şekil 4.29.’da gerçekleştirilen gezgin robota ait farklı ortamlar için elde edilmiş deneme sürüşü görüntüleri verilmektedir. Görüntüler ikişer saniyelik zaman aralıklarında alınmıştır. Robot engelleri ayarlanan mesafe aralığında algılamakta ve denetleyici bu doğrultuda denetim işareti üretmektedir. Engelleri algılama mesafesi, dönüşleri sonlandırma ölçütleri ve yolu ortalama işlemi için oluşturulan ölü bant mesafesi gibi değişkenler gezgin robot dizgesinin performansını belirlemektedir.



Şekil 4.29. a) Gezgin robota ait deneme sürüşü görüntüleri



Şekil 4.29. b) Gezgin robota ait deneme sürüşü görüntüleri



Şekil 4.29. b) Gezgin robota ait deneme sürüşü görüntüleri (devam)

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma kapsamında çıkışı doğrusal olmayan ve belli bir aralıkta denetim için kullanılacak nitelikte ölçme işareti üretemeyen algılayıcılara sahip bir gezgin robot dizgesi tasarlanmıştır. Algılayıcılardan kaynaklanan bu olumsuzluklar robotun çevre algılama becerisinin düşük seviyede kalmasına neden olmaktadır. Çevre algılama becerisi yeterli düzeyde olmayan bir gezgin robotun doğru bir şekilde yönlendirilmesi mümkün değildir. Bu aşamada kullanılan kızılötesi mesafe algılayıcılarının çıkış karakteristiğine en az hatayla karşılık gelen matematiksel ifadenin elde edilmesi gerçekleştirilen ilk işlem olmuştur.

Algılayıcı çıkışının doğrusallaştırılması veya mikrodenetleyicilerin işleyebileceği basit matematiksel ifadelere dönüştürülmesi için kullanılan eğri uydurma yöntemi ve doğrusal arayı birleştirme yöntemi açıklanmıştır. Gerçeklenen gezgin robot dizgesinde algılayıcı çıkışına ait matematiksel ifade eğri uydurma yöntemi ile elde edilmiştir. Bu doğrultuda algılayıcı çıkışı üstel bir ifadeyle modellenmiştir. Elde edilen üstel ifade kullanılarak yeterli doğrulukta mesafe ölçümü yapılmıştır.

Ayrıca kızılötesi mesafe algılayıcılarının ölçüm için uygun tepki vermediği ölçme aralıkları ölü bant olarak belirlenmiştir. Mümkün olduğu müddetçe gezgin robot bu bölgeden uzak tutulmuştur.

Denetleyici olarak PIC16F877 mikrodenetleyicisi kullanılmıştır. PIC16F877 sahip olduğu 10-bit'lik analog-sayısal dönüştürücüler ve yeterli düzeydeki programlama belleği sayesinde beklentileri karşılamıştır. Gezgin robot dizgesi için gerekli program MicroC derleyicisi kullanılarak yazılmıştır. Algılayıcılardan gelen gerilimler kullanılarak mesafe bilgileri elde edilmiş ve bu bilgiler LCD göstergede görüntülenmiştir. Gerçekleştirilen gezgin robot dizgesi ile değişik ortamlar için deneme sürüşleri yapılmıştır. Bu esnada bazı istisnalar dışında dizgenin engelleri belirli bir mesafede algıladığı ve çarpmaksızın ilerlediği gözlemlenmiştir. Belirlenen yön önceliğine uygun olarak hareket eden gezgin robot farklı labirent ortamları için yapılan denemelerde çıkışa ulaşmayı başarmıştır.

Gerçekleştirilen bu dizge için farklı seçenekler mevcuttur. Doğruluğu arttırmak için yüksek çözünürlükte, işlemciyle tümleşik veya harici bir analog-sayısal çevirici kullanılabilir. Gezgin robotun konumunu ve çevre bilgisini daha iyi algılayabilmesi için

kullanılan algılayıcı sayısının arttırılması da düşünülebilir. Örneğin gerçekleştirilen gezgin robot dizgesinde yanlara, aralarında uygun mesafe bırakmak koşuluyla iki mesafe algılayıcısının yerleştirilmesi, dizgenin engele kolaylıkla koşut hale getirilebilmesi anlamına gelmektedir.

Gezgin robotun doğru şekilde yönlendirilmesi aşamasında kullanılan denetleyicinin komut işleme hızı ve işlem yükü belirleyici etkenler olduğundan hızlı işlemciler kullanarak daha etkin dizgeler oluşturmak mümkündür. Bu nedenle eğri uydurma yöntemiyle algılayıcı çıkışı iyileştirilirken, işlemcinin yükünü hafifletmek için benzetilen matematiksel ifadenin derecesi azaltılabilir. Benzer şekilde işlem hızını arttırmak için doğrusal arayı birleştirme yönteminde oluşturulan parça sayısı azaltılabilir. Fakat işlem hızını arttırmak için alınan bu tedbirlerin algılayıcı doğruluğunu azalttığı unutulmamalıdır.

Benzer çalışmalar için farklı hareket aksamalarının kullanılması da düşünülebilir. DC motor yerine adım motoru kullanılarak daha iyi sonuçlar elde edilebilir. Servo sürüş sistemi oluşturulabilir. Kullanılan motorun yanı sıra tekerlek düzeneğinde de farklılığa gidilebilir.

6. KAYNAKLAR

- Altınbaşak O.**, 2004, *PicBasic Pro ile PIC Programlama.*, Altaş Yayıncılık ve Elektronik Tic. Ltd. Şti., 199 s, İstanbul.
- Attari M., Boudjema F., Heniche M.**, 1995, An Artificial Neural Network To Linearize A G (Tungsten vs. Tungsten 26% Rhenium) Thermocouple Characteristic In The Range Of Zero To 2000°C, PROCEEDINGS OF THE IEEE INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON INDUSTRIAL ELECTRONICS, ISIE '95, Vol 1.
- Bayhan S.**,2006, Bilgisayar Kontrollü Gezgin Robot Tasarımı, Gazi Üniversitesi, Ankara.
- Bräunl T.**, 2006, *Embedded Robotics.*, Springer, 458 s, Almanya.
- Brignell J.**,1991, “Software Tehniques For Sensor Compensation”, SENS. ACTUATORS A., Vol 25, Iss 27, pp 29-35.
- Borenstein J. , Everett H.R. , Feng L. ,** 1996, Sensors and Methods for Mobile Robot Positioning., 281 s.
- Çetin, A.E.**, 2003, *Herkes İçin Matlab 6.5.*, Alfa Basım Yayım Dağıtım Ltd. Sti., 690 s, İstanbul.
- Gürdal, O.**, 2000, *Algılayıcılar ve Dönüştürücüler.*, Nobel Yayın Dağıtım, 696 s, Ankara.
- Flammini A., Marioli D., Taroni A.**, 1997, Transducer Output Signal Processing Using An Optimal Look-Up Table In Microcontroller Based Systems, ELECTRONICS LETTERS, Vol 33, Iss 14, pp. 1197-1198.
- Hayırsever İ., Erdem H.**,2006, Mikrodenetleyici Tabanlı Doğrusallaştırma, Akıllı Sistemlerde Yenilikler ve Uygulamaları Sempozyumu, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- http://arkaoda.zerreelektronik.com/arkaoda/konu/mikroc_ve_ledler-1.html,(02.07.2009)
- <http://ieee.itu.edu.tr/lab/hbridge.pdf> , (03.07.2009).

<http://robot.cmpe.boun.edu.tr/593/index.html>,Boğaziçi Üniversitesi Robot Topluluğu, (03.07.2009).

http://sharp-world.com/products/device/lineup/data/pdf/datasheet/gp2y0a21yk_e.pdf, (01.07.2009)

<http://www.elektrobotik.com/dersler/sensorler.html>, (02.07.2009)

<http://www.technologicalarts.com/myfiles/data/gp2d120.pdf>, (01.07.2009)

Johnson C.D., 2002, *Process Control Instrumentation Technology*, 7 th edition
Prentice Hall

Güven A.F. , 2006, *Ölçme ve Enstrumantasyon Laboratuar Föyü*, Elektrik-elektronik Mühendisliği, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Özkan M., 2007,Farklı özelliklere Sahip Gezgin Robot Grubunun Dağıtık Kontrolü.
Doktora Tezi, Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir, 134s.

Özkan M., Yazıcı A., Parlaktuna O., 2004, Gezgin Robotlarda Kapsama (Subsumption) Mimarisi Kullanılarak Nesne Toplama Görevinin Gerçeklenmesi, Akıllı Sistemlerde Yenilikler ve Uygulamaları Sempozyumu.

Özyılmaz L., Yorulmaz S., Yılmaz A., 2007, Hedef Bulan Robot Projesi,
Elektrik Mühendisleri Odası 3. Proje Yarışması, İstanbul.

Parr E.A., 2002, *Endüstriyel Kontrol El Kitabı Cilt-I Transduserler*.(Editör: İ.Coşkun), Milli Eğitim Basımevi, İstanbul.

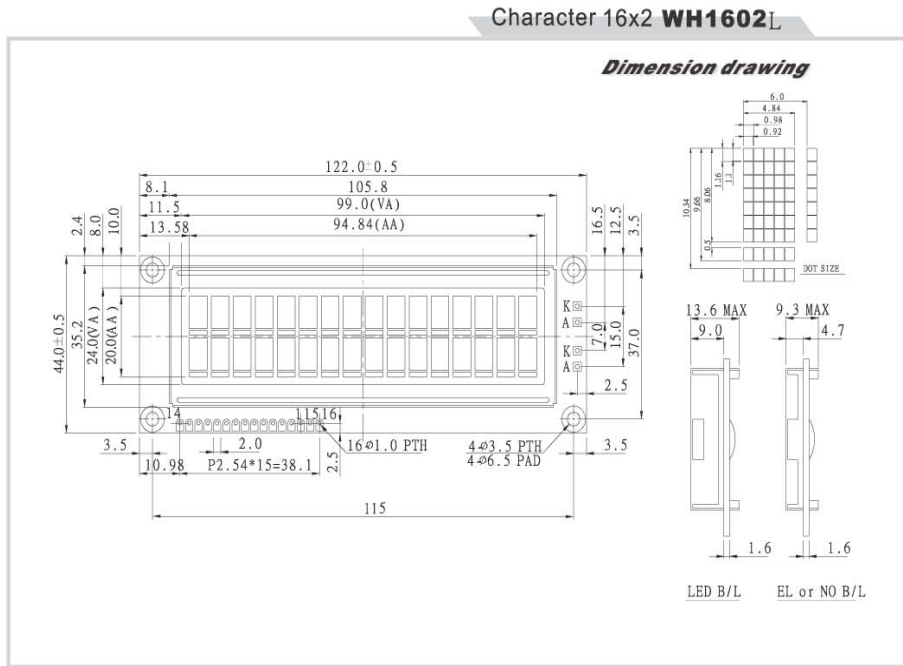
Patranabis D., Ghosh S., Bakshi C., 1988, Linearizing Transducer Characteristics,
IEEE TRANS. INST. & MEAS., Vol 37, Iss 1, pp 66-69,

Uzun T., Özpınar A., Ultrasonik Uzaklık Algılayıcı Devresi, Yıldız Teknik Üniversitesi İstanbul.

Yıldız, N., Uzun, T., 2005,Araba Benzeri Bir Gezgin Robotun Donanımı ile Yazılımının Tasarlanması ve Gerçekleştirilmesi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.

7. EKLER

Ek A: 2x16 Karakter LCD Gösterge



Feature

1. 5x8 dots includes cursor
2. Built-in controller (KS 0066 or Equivalent)
3. +5V power supply (Also available for +3V)
4. 1/16 duty cycle
5. LED can be driven by pin1, pin2, or pin15, pin16 or A and K
6. N.V. optional for +3V power supply

Pin NO.	Symbol	Function
1	Vss	GND
2	Vdd	+3V or + 5V
3	Vo	Contrast Adjustment
4	RS	H/L Register select signal
5	R/W	H/L Read / write signal
6	E	H → L Enable signal
7	DB0	H/L Data bus line
8	DB1	H/L Data bus line
9	DB2	H/L Data bus line
10	DB3	H/L Data bus line
11	DB4	H/L Data bus line
12	DB5	H/L Data bus line
13	DB6	H/L Data bus line
14	DB7	H/L Data bus line
15	A/Vee	+4.2V for LED (RA=0Ω)/Negative Voltage output
16	K	Power supply for B/L (0V)

Mechanical Data

Item	Standard Value	Unit
Module Dimension	122.0x44.0	mm
Viewing Area	99.0x24.0	mm
Mounting hole	115x 37.0	mm
Character Size	4.84x9.66	mm

Character type

Absolute Maximum Rating

Item	Symbol	Standard Value			Unit
		min.	typ.	max.	
Power Supply	VDD-VSS	-0.3	---	7.0	V
Input Voltage	VI	-0.3	---	VDD	V

Note : VSS=0 Volt, VDD=5.0 Volt.

Electronical Characteristics

Item	Symbol	Condition	Standard Value			Unit
			min.	typ.	max.	
Input Voltage	VDD	VDD=+5V	4.7	5.0	5.3	V
Supply Current	IDD	VDD=5V	---	1.6	1.5	mA
		-20°C	---	---	5.2	
		0°C	---	---	4.5	
		25°C	4.2	4.2	---	
		50°C	3.8	---	---	
Recommended LC Driving Voltage for Normal Temp. Version module	VDD-V0	70°C	3.5	---	---	V
		25°C	---	4.2	4.6	
LED Forward Voltage	VF	25°C	---	260	520	mA
LED Forward Current	IF	25°C	Array Edge	20	40	
EL Power Supply Current	IEL	Val=110VAC,400Hz	---	---	5.0	mA

Display Character Address Code :

Display position	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
DD RAM Address	00	01														0F
DD RAM Address	40	41														4F

Ek B: SARP GP2D120 Mesafe Algılayıcısı Veri Yaprağı

SHARP
GP2D120

GP2D120

General Purpose Type Distance Measuring Sensors

■ Features

1. Less influence on the color of reflective objects, reflectivity
2. Line-up of distance output/distance judgement type
Distance output type (analog voltage) : GP2D120
Detecting distance : 4 to 30cm
3. External control circuit is unnecessary

■ Applications

1. TVs
2. Personal computers
3. Amusement equipment
4. Copiers

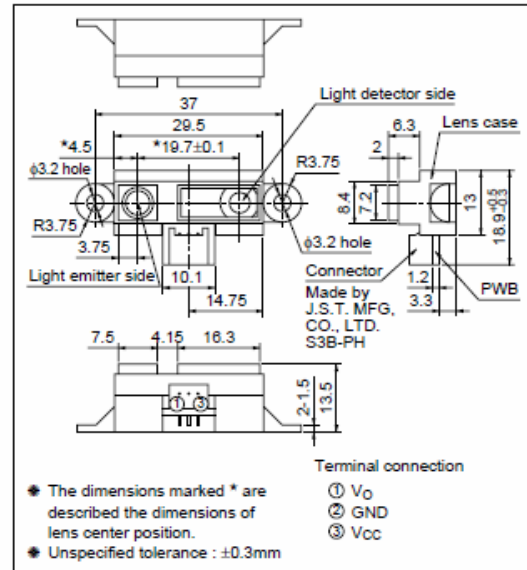
■ Absolute Maximum Ratings

 $(T_a=25^{\circ}\text{C}, V_{cc}=5\text{V})$

Parameter	Symbol	Rating	Unit
Supply voltage	V_{cc}	-0.3 to +7	V
Output terminal voltage	V_o	-0.3 to $V_{cc}+0.3$	V
Operating temperature	T_{opr}	-10 to +60	$^{\circ}\text{C}$
Storage temperature	T_{stg}	-40 to +70	$^{\circ}\text{C}$

■ Outline Dimensions

(Unit : mm)



Notice In the absence of confirmation by device specification sheets, SHARP takes no responsibility for any defects that may occur in equipment using any SHARP devices shown in catalogs, data books, etc. Contact SHARP in order to obtain the latest device specification sheets before using any SHARP device.
Internet Internet address for Electronic Components Group <http://www.sharp.co.jp/ecg/>

■ Recommended Operating Conditions

Parameter	Symbol	Rating	Unit
Operating supply voltage	V _{CC}	4.5 to +5.5	V

■ Electro-optical Characteristics

(T_a=25°C, V_{CC}=5V)

Parameter	Symbol	Conditions	MIN.	TYP.	MAX.	Unit
Distance measuring range	ΔL	*1 *2	4	-	30	cm
Output terminal voltage	V _o	L=30cm *1	0.25	0.4	0.55	V
Difference of output voltage	ΔV_o	Output change at L=30cm to 4cm *1	1.95	2.25	2.55	V
Average Dissipation current	I _{CC}	L=30cm *1	-	33	50	mA

Note) L : Distance to reflective object.

*1 Using reflective object : White paper (Made by Kodak Co. Ltd. gray cards R-27 : white face, reflective ratio : 90%).

*2 Distance measuring range of the optical sensor system.

Fig.1 Internal Block Diagram

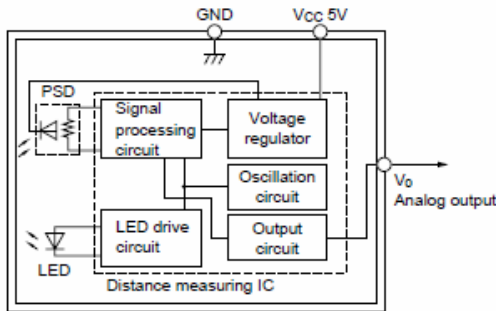


Fig.2 Timing Chart

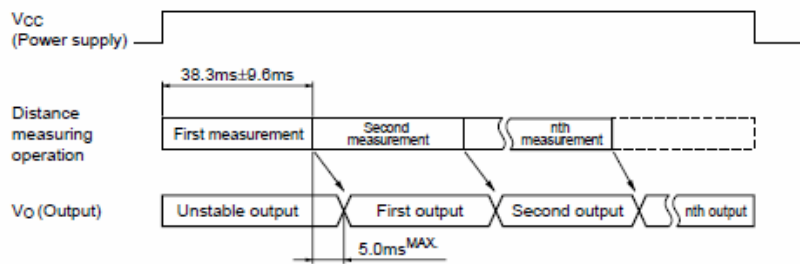


Fig.3 Analog Output Voltage vs. Surface Illuminance of Reflective Object

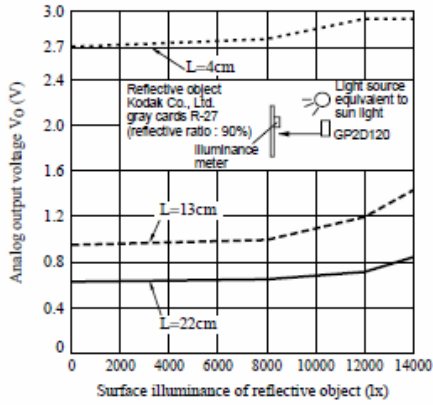


Fig.4 Analog Output Voltage vs. Distance to Reflective Object

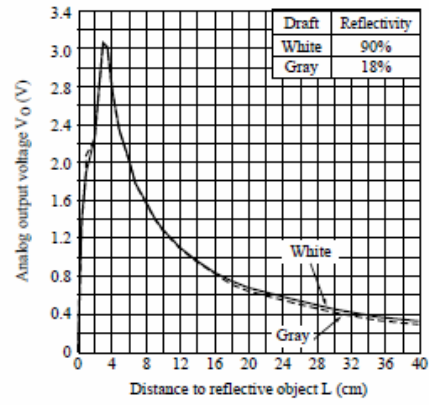


Fig.5 Analog Output Voltage vs. Ambient Temperature

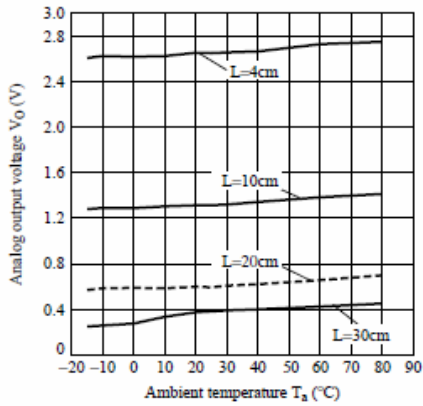
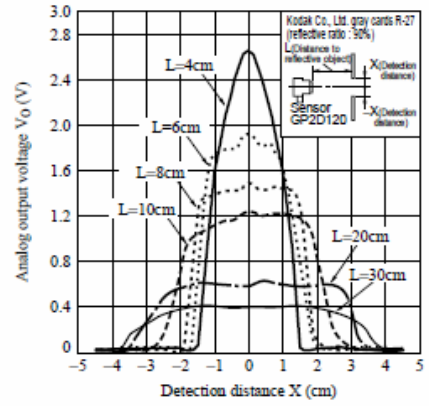


Fig.6 Analog Output Voltage vs. Detection Distance



Application Circuits

NOTICE

- The circuit application examples in this publication are provided to explain representative applications of SHARP devices and are not intended to guarantee any circuit design or license any intellectual property rights. SHARP takes no responsibility for any problems related to any intellectual property right of a third party resulting from the use of SHARP's devices.
- Contact SHARP in order to obtain the latest device specification sheets before using any SHARP device. SHARP reserves the right to make changes in the specifications, characteristics, data, materials, structure, and other contents described herein at any time without notice in order to improve design or reliability. Manufacturing locations are also subject to change without notice.
- Observe the following points when using any devices in this publication. SHARP takes no responsibility for damage caused by improper use of the devices which does not meet the conditions and absolute maximum ratings to be used specified in the relevant specification sheet nor meet the following conditions:
 - (i) The devices in this publication are designed for use in general electronic equipment designs such as:
 - Personal computers
 - Office automation equipment
 - Telecommunication equipment [terminal]
 - Test and measurement equipment
 - Industrial control
 - Audio visual equipment
 - Consumer electronics
 - (ii) Measures such as fail-safe function and redundant design should be taken to ensure reliability and safety when SHARP devices are used for or in connection with equipment that requires higher reliability such as:
 - Transportation control and safety equipment (i.e., aircraft, trains, automobiles, etc.)
 - Traffic signals
 - Gas leakage sensor breakers
 - Alarm equipment
 - Various safety devices, etc.
 - (iii) SHARP devices shall not be used for or in connection with equipment that requires an extremely high level of reliability and safety such as:
 - Space applications
 - Telecommunication equipment [trunk lines]
 - Nuclear power control equipment
 - Medical and other life support equipment (e.g., scuba).
- Contact a SHARP representative in advance when intending to use SHARP devices for any "specific" applications other than those recommended by SHARP or when it is unclear which category mentioned above controls the intended use.
- If the SHARP devices listed in this publication fall within the scope of strategic products described in the Foreign Exchange and Foreign Trade Control Law of Japan, it is necessary to obtain approval to export such SHARP devices.
- This publication is the proprietary product of SHARP and is copyrighted, with all rights reserved. Under the copyright laws, no part of this publication may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, for any purpose, in whole or in part, without the express written permission of SHARP. Express written permission is also required before any use of this publication may be made by a third party.
- Contact and consult with a SHARP representative if there are any questions about the contents of this publication.

Ek C: SARP GP2DY0 A21 Mesafe Algılayıcısı Veri Yaprağı

SHARP

GP2Y0A21YK/GP2Y0D21YK

GP2Y0A21YK/ GP2Y0D21YK

■ Features

1. Less influence on the color of reflective objects, reflectivity
2. Line-up of distance output/distance judgement type
 - Distance output type (analog voltage) : **GP2Y0A21YK**
 - Detecting distance : 10 to 80cm
 - Distance judgement type : **GP2Y0D21YK**
 - Judgement distance : 24cm
 - (Adjustable within the range of 10 to 80cm [Optionally available])
3. External control circuit is unnecessary
4. Low cost

■ Applications

1. TVs
2. Personal computers
3. Cars
4. Copiers

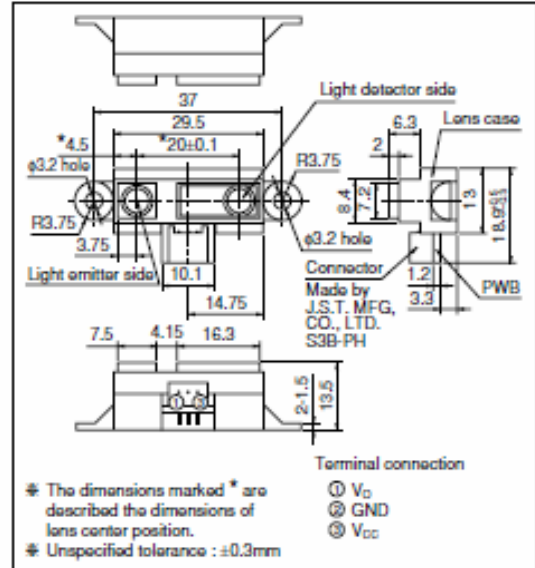
■ Absolute Maximum Ratings (T_a=25°C, V_{CC}=5V)

Parameter	Symbol	Rating	Unit
Supply voltage	V _{CC}	-0.3 to +7	V
Output terminal voltage	V _O	-0.3 to V _{CC} +0.3	V
Operating temperature	T _{OP}	-10 to +60	°C
Storage temperature	T _{stg}	-40 to +70	°C

General Purpose Type Distance Measuring Sensors

■ Outline Dimensions

(Unit : mm)



Notice In the absence of confirmation by device specification sheets, SHARP takes no responsibility for any defects that may occur in equipment using any SHARP devices shown in catalogs, data books, etc. Contact SHARP in order to obtain the latest device specification sheets before using any SHARP device.
Internet Internal address for Electronic Components Group <http://sharp-world.com/ecg/>

■ Recommended Operating Conditions

Parameter	Symbol	Rating	Unit
Operating supply voltage	V_{CC}	4.5 to +5.5	V

■ Electro-optical Characteristics

($T_a=25^{\circ}\text{C}$, $V_{CC}=5\text{V}$)

Parameter	Symbol	Conditions	MIN.	TYP.	MAX.	Unit	
Distance measuring range	ΔL	^{*1} ^{*3}	10	—	80	cm	
Output terminal voltage	GP2Y0A21YK	V_O	$L=80\text{cm}$ ^{*1}	0.25	0.4	0.55	V
	GP2Y0D21YK	V_{OH}	Output voltage at High ^{*1}	$V_{CC}-0.3$	—	—	V
	GP2Y0D21YK	V_{OL}	Output voltage at Low ^{*1}	—	—	0.6	V
Difference of output voltage	GP2Y0A21YK	ΔV_O	Output change at $L=80\text{cm}$ to 10cm ^{*1}	1.65	1.9	2.15	V
Distance characteristics of output	GP2Y0D21YK	V_O	^{*1} ^{*4} ^{*2}	21	24	27	cm
Average Dissipation current	I_{CC}	$L=80\text{cm}$ ^{*1}	—	30	40	mA	

Note) L : Distance to reflective object

*1 Using reflective object : White paper (Made by Kodak Co. Ltd. gray cards R-27 - white face, reflective ratio : 90%)

*2 We ship the device after the following adjustment : Output switching distance $L=24\text{cm}\pm 3\text{cm}$ must be measured by the sensor

*3 Distance measuring range of the optical sensor system

*4 Output switching has a hysteresis width. The distance specified by V_O should be the one with which the output I. switches to the output H

Fig.1 Internal Block Diagram

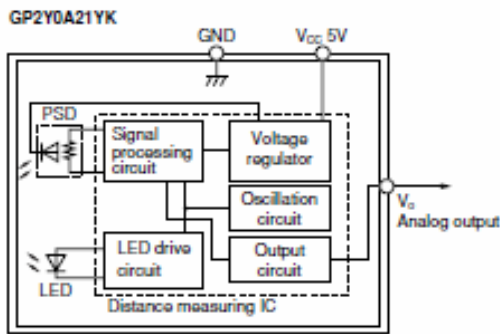


Fig.2 Internal Block Diagram

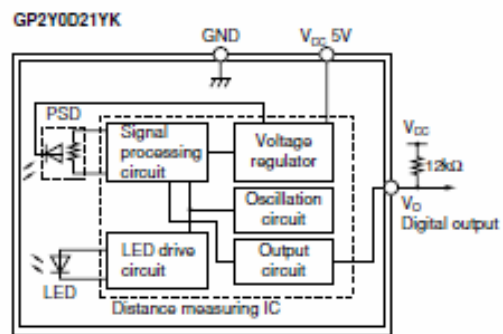


Fig.3 Timing Chart

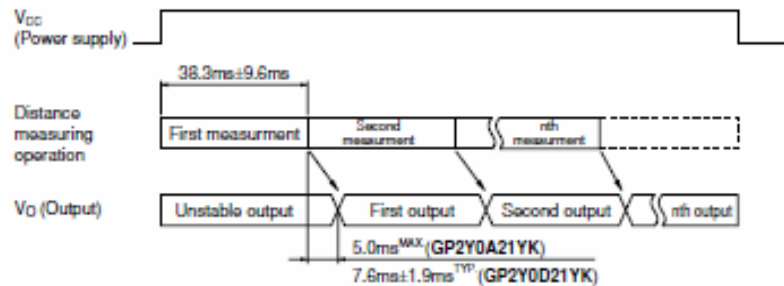


Fig.4 Distance Characteristics

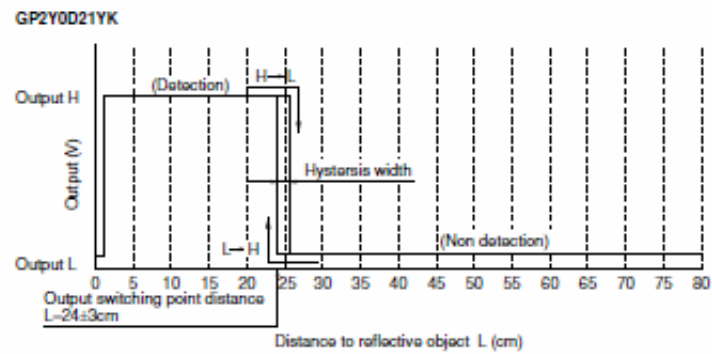
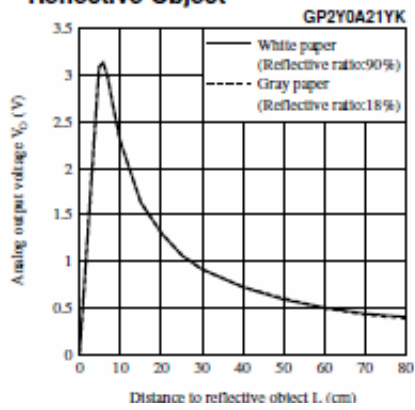


Fig.5 Analog Output Voltage vs. Distance to Reflective Object



NOTICE

- The circuit application examples in this publication are provided to explain representative applications of SHARP devices and are not intended to guarantee any circuit design or license any intellectual property rights. SHARP takes no responsibility for any problems related to any intellectual property right of a third party resulting from the use of SHARP's devices.
- Contact SHARP in order to obtain the latest device specification sheets before using any SHARP device. SHARP reserves the right to make changes in the specifications, characteristics, data, materials, structure, and other contents described herein at any time without notice in order to improve design or reliability. Manufacturing locations are also subject to change without notice.
- Observe the following points when using any devices in this publication. SHARP takes no responsibility for damage caused by improper use of the devices which does not meet the conditions and absolute maximum ratings to be used specified in the relevant specification sheet nor meet the following conditions:
 - (i) The devices in this publication are designed for use in general electronic equipment designs such as:
 - Personal computers
 - Office automation equipment
 - Telecommunication equipment [terminal]
 - Test and measurement equipment
 - Industrial control
 - Audio visual equipment
 - Consumer electronics
 - (ii) Measures such as fail-safe function and redundant design should be taken to ensure reliability and safety when SHARP devices are used for or in connection with equipment that requires higher reliability such as:
 - Transportation control and safety equipment (i.e., aircraft, trains, automobiles, etc.)
 - Traffic signals
 - Gas leakage sensor breakers
 - Alarm equipment
 - Various safety devices, etc.
 - (iii) SHARP devices shall not be used for or in connection with equipment that requires an extremely high level of reliability and safety such as:
 - Space applications
 - Telecommunication equipment [trunk lines]
 - Nuclear power control equipment
 - Medical and other life support equipment (e.g., scuba).
- Contact a SHARP representative in advance when intending to use SHARP devices for any "specific" applications other than those recommended by SHARP or when it is unclear which category mentioned above controls the intended use.
- If the SHARP devices listed in this publication fall within the scope of strategic products described in the Foreign Exchange and Foreign Trade Control Law of Japan, it is necessary to obtain approval to export such SHARP devices.
- This publication is the proprietary product of SHARP and is copyrighted, with all rights reserved. Under the copyright laws, no part of this publication may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, for any purpose, in whole or in part, without the express written permission of SHARP. Express written permission is also required before any use of this publication may be made by a third party.
- Contact and consult with a SHARP representative if there are any questions about the contents of this publication.

Ek D: Eğri Uydurma Yöntemi

Doğrusal olmayan algılayıcıların karakteristiğini ifade eden matematiksel denklemin mikrodenetleyici tarafından hesaplanabilmesi için basitleştirilmesi gerekir. Bu nedenle algılayıcının karakteristik eğrisinden eğri uydurma yöntemi ile matematiksel denklem çıkartılabilir. Algılayıcının çıkış eğrisini mikroişlemcinin işleyebileceği bir matematiksel ifadeye dönüştürmek için farklı yöntemler kullanılmaktadır (Hayırsever ve Erdem, 2006). Bu yöntemlerden biriside eğri uydurma (curve fitting) yöntemidir. Deneysel bir çalışma sonucunda, bağımsız x değişkenine bağlı y'yi, Çizelge 7.1.' de verildiği gibi elde ettiğimizi varsayalım (Çetin, 2003).

Çizelge 7.1. Eğri uydurma yöntemi için örnek değerler

x	y
0	0
1	0.02
2	0.8
3	0.6
4	0.5

Amacımız x ile y arasında bu değerleri kullanarak,

$$y = p_1x^3 + p_2x^2 + p_3x + p_4 \quad (7.1)$$

şeklinde 3. dereceden bir çokterimli belirlemektir. Bu sayede x'in belirtilen aralıkta aldığı değerlere karşılık gelen y değerlerini hesaplayabiliriz. Tablodaki her bir x ve x'e karşılık gelen y değerini, katsayılarını aradığımız denklem (7.1)' de yerine yazacak olursak;

$$p_4 = 0 \quad (7.2)$$

$$p_1 + p_2 + p_3 + p_4 = 0.02 \quad (7.3)$$

$$8p_1 + 4p_2 + 2p_3 + p_4 = 0.8 \quad (7.4)$$

$$27p_1 + 9p_2 + 3p_3 + p_4 = 0.6 \quad (7.5)$$

$$64p_1 + 16p_2 + 4p_3 + p_4 = 0.5 \quad (7.6)$$

Şeklinde 4 bilinmeyenli 5 denklem elde ederiz. Bu denklem sistemini matris olarak yazacak olursak;

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \\ 8 & 4 & 2 & 1 \\ 27 & 9 & 3 & 1 \\ 64 & 16 & 4 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} p_1 \\ p_2 \\ p_3 \\ p_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0.02 \\ 0.8 \\ 0.6 \\ 0.5 \end{bmatrix} \quad (7.7)$$

Ya da

$$A \cdot X = Y \quad (7.8)$$

ifadelerini elde ederiz. Denklemlerdeki bilinmeyen çokterimlinin katsayılarını içeren X vektörünü en küçük kareler yöntemi ile hatayı minimum yapacak şekilde hesaplatarak x ile y arasında istediğimiz eğriyi tanımlayabiliriz. Ancak uydurmak istediğimiz çokterimlinin derecesi elimizdeki mevcut x ve y veri çifti sayısından küçük olmamalıdır. Örneğimizde 5 nokta için x-y veri çifti mevcut olduğu için en fazla 4. dereceden bir çokterimli uydurabiliriz. Aksi takdirde bilinmeyen sayısı denklem sayısını aşar ve sonuç ancak bazı bilinmeyenlerin keyfi olarak seçilmesi ile elde edilebilir.

Bu aşamada üçüncü derece veya daha yüksek dereceden çokterimli denklemler kullanarak algılayıcı çıkışı elde edilebilir. Benzetilen çokterimlinin derecesi arttıkça uydurulan eğri algılayıcı çıkışına yaklaşacaktır. Çarpma işlemi yapabilen bütün mikrodenetleyiciler bu ifadeleri işleyebilecektir. Fakat çokterimlinin derecesi arttıkça denetleyicinin de işlem yükünün artacağı unutulmamalıdır. Algılayıcı çıkışı üstel bir fonksiyona da benzetilebilir.

İşlem kapasitesi sınırlı bir mikrodenetleyicide işlem yükünü hafifletmek için alternatif bir yöntem mevcuttur. Dar kesit aralıklarında algılayıcının eğrisinin doğrusala daha yakın olması mantığından yola çıkarak eğri parçalara ayrılır. Daha sonra her parçanın birinci dereceden denklemi elde edilir. Eğrinin biçimine göre daha yüksek doğruluk elde etmek için parça sayısı artırılabilir (Hayırsever ve Erdem, 2006).

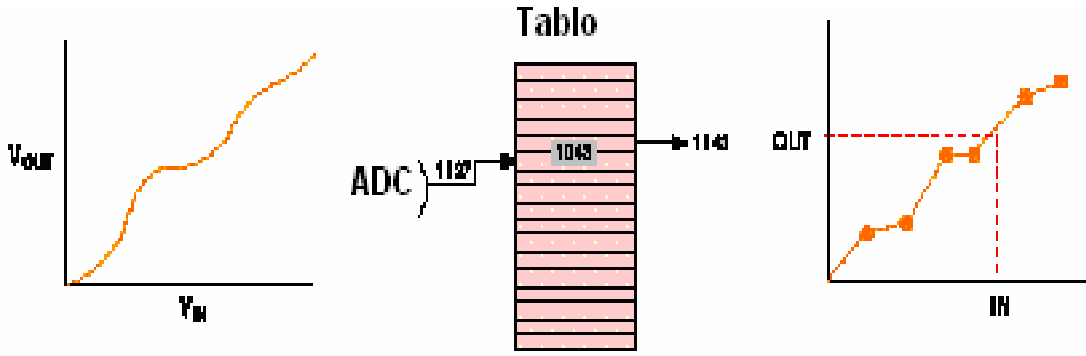
Ölçüm sırasında mikrodenetleyici ölçtüğü aralığa uygun denklemi bulur ve kullanır. Bu yöntem mikrodenetleyicinin işlem yükünü hafifletmesine karşılık kullanılan denklem sayısına göre bellekte fazladan yer tutacaktır. Ayrıca bütün denklemlerin tek tek elde edilip mikrodenetleyicinin programına uygun bir şekilde yerleştirilmesi gerektiğinden denklem sayısı arttıkça tasarımın karmaşıklılığı da artacaktır (Hayırsever ve Erdem, 2006).

Matlab programının Curve Fitting (Eğri Uydurma) araç kutusu kullanılarak algılayıcı çıkışı çokterimli fonksiyonlarla ve üstel fonksiyonlarla ifade edilmiştir. Elde edilen grafikler “Bulgular ve Tartışma” bölümünde aktarılmıştır.

Ek E: Doğrusal Arayı Birleştirme Yöntemi

Diğer doğrusallaştırma tekniği tarama tablosu (look-up table) tabanlı ROM yöntemidir. Bu yöntemde algılayıcının bütün dinamik aralığı ve ölçümler için dönüşüm tablosu bir ROM bellekte saklanır. Ölçümün sayısal eşdeğeri adresleme yapılarak ROM bellekten elde edilir.

Doğrusallaştırma için algılayıcının denklemini mikrodenetleyiciye hesaplatmak her zaman mümkün olmayabilir. Elimizde algılayıcının giriş-çıkış değerleri mevcut ise bunları tablo haline getirip mikrodenetleyicinin belleğine yerleştirebiliriz. Bu durumda mikrodenetleyicinin, ölçüm için algılayıcının tepki denklemini kullanmasına gerek kalmaz. Bunun yerine uygun değeri belleğindeki tablodan bulur.(Şekil 7.1.)

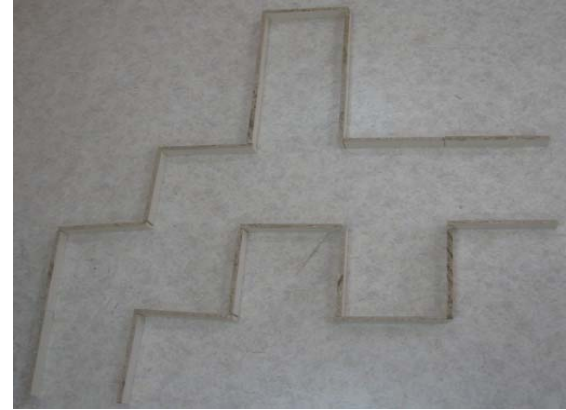
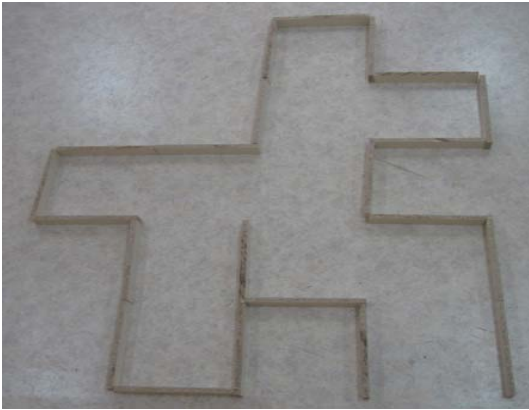


Şekil 7.1. Doğrusal arayı birleştirme yöntemi çalışma ilkesi (Hayırsever ve Erdem,2006)

10-bit'lik bir analog-sayısal dönüştürücü (ADC) kullanıldığında algılayıcı çıkışı 1024 farklı değer ile ifade edilebilir. Fakat bu kadar değere referans edecek ölçüm sonucu mikrodenetleyicinin belleğinde çok fazla yer tutar (Hayırsever ve Erdem, 2006). Daha az tablo elemanı kullanabilmek için arayı birleştirme işlemi uygulamak gerekir. Tasarlanan robotun yan taraflarına yerleştirilen SHARP 2DI 120 algılayıcısı için 1 cm aralıklarla oluşturulacak değer tablosu en fazla 40 elemanlı olacaktır. Benzer şekilde robotun ön tarafına yerleştirilen SHARP 2 YO 20X algılayıcısı için 2 cm aralıklarla oluşturulacak değer tablosu en fazla 40 elemanlı olacaktır. Her iki algılayıcı türü için elde edilen değer tabloları "Bulgular ve Tartışma" bölümünde verilmiştir.

Ölçüm sırasında tabloda olmayan değerlerin arayı birleştirme tekniği ile mikrodenetleyici tarafından hesaplanıp bulunması gerekir. Bu yöntemde mikrodenetleyicinin yapması gereken iş, değeri bilinen iki nokta arasında doğrusal bir çizgi üzerinden tabloda bulunmayan ara değerlerin yerini belirlemektir. Aranılan değer doğru üzerinde belirlenen noktaya karşılık gelen uzaklıktır.

Bu yöntemde değer tablosunda bulunan örnek sayısı ile hassasiyet arasında doğru bir orantı bulunmaktadır. Fakat örnek sayısının fazla olması işlemci yükünü ve bellek gereksinimini arttırmaktadır.

Ek F: Deneme Sürüşleri İçin Oluşturulan Ortam Görüntüleri

ÖZ GEÇMİŞ

Adı Soyadı : Erhan BERGİL

Doğum Yeri : Sivas

Doğum Tarihi : 03/07/1980

Medeni Hali : Evli

Bildiği Yabancı Diller: İngilizce

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Ulaş Lisesi / 1997

Lisans :Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-
Elektronik Mühendisliği Bölümü / 2001

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl:

Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Amasya Meslek Yüksekokulu (2002-2006)

Amasya Üniversitesi, Meslek Yüksekokulu (2006-...)

İletişim Bilgileri:

Adres : Amasya Üniversitesi Meslek Yüksekokulu 05189 Amasya

Tel : 05337257140

e-mail: erhanbergil@yahoo.com