

**156101**

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**HAREKETLİ NESNE İZLEME VE KONUM DENETİMİ**

**Elektrik-Elektronik Müh. Onur Özdal MENGİ**

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde**

**“Elektronik Yüksek Mühendisi”**

**Ünvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 24.05.2004**

**Tezin Savunma Tarihi : 23.06.2004**

**Tez Danışmanı : Doç. Dr. İsmail Hakkı ALTAŞ**

**Jüri Üyesi : Prof. Dr. Sefa AKPINAR**

**Jüri Üyesi : Yrd. Doç. Dr. Cemal KÖSE**

156100

**Enstitü Müdürü: Prof. Dr. Yusuf AYVAZ**

**Trabzon 2004**

## ÖNSÖZ

Endüstriyel üretimlerde ürün kalitesi önemlidir. Hatasız ve doğru üretim maliyeti düşürür. Hatasız üretim için işlemlerin doğru ve hassas olması gerekir. Bu nedenle üretim bantlarının ve bu bantlarda çalışan makinelerin kontrolleri önem taşır. Bunun yanında iletişim, savunma, robot ve sağlık gibi sektörlerde kullanılan cihazlar son derece hassastır. Bu aletlerin işlerini doğru ve az hata ile yapmaları beklenir. Bu nedenle motorların pozisyon kontrolleri önem taşır. Yapılan işleri daha hassaslaştırır ve güvenilirliğini artırır. Yaşam standardımızı yükseltir.

Bu çalışma K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsüne “Hareketli Nesne İzleme ve Konum Kontrolü” adı altında Yüksek Lisans Tezi olarak sunulmuştur.

Yüksek Lisans tez danışmanlığını üstlenerek, çalışmalarında önerileri ile beni yönlendirerek desteğini esirgemeyen sayın hocam Doç. Dr. İsmail Hakkı ALTAŞ’a teşekkürü bir görev bilirim.

Tezdeki düzeltmeler ve hareketli aksamalar konusunda bana yardımcı olan değerli çalışma arkadaşım Makina Yüksek Mühendisi Uğur ERSOY’a, şekil ve yazılarda tecrübelerinden sıkça faydalandığımız Öğr. Gör. Alparslan TÜFEKÇİ’ye, programcılık bilgilerinden faydalandığım değerli arkadaşım Öğr. Gör. Halil KÖYMEN’e, görsel programlama konusunda bana çok büyük yardımları olan Elektronik Mühendisi Oğuzhan ÇAKIR’a sonsuz teşekkürler sunuyorum. Bu çalışma sizlerin yardımı ile ortaya çıktı.

En büyük teşekkür aileme. Benden hiç bir zaman maddi, manevi desteklerini esirgemediler. Ümidimi kaybettiğim zamanlarda dahi bana güvendiler. Destek oldular. Moral verdiler. Bu büyük destek, anlayış ve güven için hepinize sonsuz teşekkürler...

Onur Özdal MENGİ

Trabzon 2004

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET.....	VI
SUMMARY.....	VII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VIII
TABLolar DİZİNİ.....	XI
SEMBOLLER DİZİNİ.....	XII
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Tezin Amacı ve Kapsamı.....	2
1.3. Literatür Araştırması.....	3
1.4. Adım Motorları.....	6
1.4.1. Giriş.....	6
1.4.2. Adım Motorunun Temel Yapısı.....	6
1.4.3. Adım Motorunun Çalışma Prensibi.....	7
1.4.4. Terimler.....	8
1.4.5. Atalet Momentinin Etkisi.....	10
1.4.6. Mekanik Yükün Hıza ve Konuma Etkisi.....	11
1.4.7. Moment-Akım İlişkisi.....	12
1.4.8. Başla-Dur Adımlama Oranı.....	13
1.4.9. Düzgün Hız.....	14
1.4.10. Rampalama.....	15
1.4.11. Adım Motorlarının Çeşitleri.....	15
1.4.11.1. Sürekli Miknatıslı (Permanent Magnet - PMDC) Adım Motoru.....	16
1.4.11.2. Değişken Relüktanslı (Variable Reluktance-VR) Adım Motoru.....	21
1.4.11.3. Melez Yapılı (Hibrit) Adım Motoru.....	24
1.4.12. Adım Motorlarının Avantaj ve Dezavantajları.....	25
1.4.13. Adım Motoru Sargıları.....	27
1.4.13.1. İki Kutuplu Sargı.....	27

1.4.13.2.	Tek Kutuplu Sargı.....	31
1.4.14.	Adım Motoru Sürücü Devreleri.....	32
1.5.	Paralel Port .....	36
1.5.1.	Giriş.....	36
1.5.2.	Port Türleri .....	39
1.5.2.1.	Orijinal (SPP) .....	39
1.5.2.2.	PS/2-Tip (Basit İki Yönlü) .....	40
1.5.2.3.	EPP.....	40
1.5.2.4.	ECP .....	41
1.5.3.	Portlara Erişim.....	41
1.5.3.1.	Centronics Kökler .....	42
1.5.3.2.	Veri Yazmacı.....	42
1.5.3.3.	Durum Yazmacı.....	43
1.5.3.4.	Kontrol Yazmacı.....	44
1.5.5.	Paralel Portun Programlanması .....	46
1.5.5.1.	C.....	46
1.5.5.2.	Assembly .....	46
1.5.5.3.	Basic.....	46
1.5.5.4.	Pascal .....	47
1.5.5.5.	Delphi 2.0 .....	47
1.6.	Pozisyon Kontrolü .....	48
1.6.1.	Potansiyometrik Algılayıcılar (Detektörler).....	48
1.6.2.	Kapasitif Algılayıcılar .....	50
1.6.2.1.	Gauging (Ölçeleme) Kapasitif Algılayıcılar .....	50
1.6.2.2.	Orantılı Yer Değişim Algılayıcısı.....	51
1.6.3.	Endüktif Algılayıcılar .....	53
1.6.3.1.	LVDT ve RVDT .....	53
1.6.3.2.	Girdap Akım Algılayıcıları .....	55
1.6.3.3.	Fırçasız Absolut (Mutlak) Açık Algılayıcısı.....	56
1.6.3.4.	Enine Endüktif Algılayıcı.....	57
1.6.4.	Manyetik Algılayıcılar .....	59
1.6.4.1.	Reed Anahtarları.....	59
1.6.4.2.	Hall Etkili Algılayıcılar.....	59

1.6.5.	Manyeto-Striktif Algılayıcı .....	61
1.6.6.	Optik Algılayıcılar .....	63
1.6.6.1.	Polarize Işıık ile Yakınlık Algılayıcısı.....	63
1.6.6.2.	Mil Kodlayıcılar.....	65
1.6.6.3.	Doğrusal Optik Algılayıcılar .....	67
1.6.7.	Ultrasonik Algılayıcılar.....	70
1.7.	Denetim Sistemleri ve Türleri .....	72
1.8.	Denetim Sistemlerinin Yapısı ve Kullanım Alanları.....	74
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR .....	77
2.1.	Pozisyon Kontrol Sisteminin Tasarımı .....	77
2.2.	Paralel Port .....	77
2.3.	MF40-S18-NG Optik Algılayıcı.....	77
2.4.	Paralel Port Koruma Devresi.....	80
2.5.	Adım Motoru .....	82
2.6.	Kontrol Ünitesi .....	83
2.7.	Güç Kaynakları.....	85
2.8.	TC++ Programı.....	86
2.9.	Pozisyon Kontrol Sisteminin Gerçeklenmesi.....	86
3.	BULGULAR .....	88
4.	TARTIŞMA.....	91
5.	SONUÇLAR.....	92
6.	ÖNERİLER .....	93
7.	KAYNAKLAR.....	94
8.	EKLER.....	96
	ÖZGEÇMİŞ.....	105

## ÖZET

Konum denetimi, endüstriyel otomasyon sistemlerinin yanı sıra haberleşme sistemleri, robotlar, hava taşıtları, top sistemleri gibi çoğu alanda kullanılan önemli uygulamalardan biridir. Hareketli nesnelere izleme problemi referans hedefin sabit olmadığı, zamanla değiştiği pozisyon kontrol sistemlerinin diğer bir yönüdür. Konum kontrolü ve konum denetimi yapan sistemlerin hassasiyeti önemlidir. Konum kontrol ve nesne takip sistemlerinin hassasiyeti, ürün kalitesini artırmak ve hatasız sonuç elde etmek için önemlidir. Konum kontrollerinin önemi, nokta hedeflerin vurulmasında, lazer kullanılan tıbbi işlemlerde, uydu antenlerinde, güdümlü füzelerde, uçaksavarlarda, nokta hedef delme işlemlerinde ve diğer pek çok hassas sistemlerde en iyi şekilde anlaşılır.

Bu çalışmada hareketli nesne için konum kontrol sistemi tasarlanıp uygulanmıştır. Ayrıca adım motorları ve optik algılayıcıları içeren radar benzeri bir sistem kurulmuştur. Adım motorları, konum kontrol sistemi uygulamalarında kullanışlı olmalarından dolayı, nesne takip sistemini kontrol etmek için seçilmiştirler. Adım motorları, algılayıcıların algılama alanında algılayıcılardan gelen işaretlerle, hareketsiz duran veya rasgele hareket eden nesnenin konumunu algılayarak işlem yapmaktadır. Nesnenin yeri bir defa belirlendiğinde izleme sistemi nesneye kilitlenir ve onun ileri yada geri hareketlerini takip eder. Bir arayüz, bilgisayarın paralel portu vasıtasıyla nesne takip sistemini görüntülemek için geliştirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Hareketli Nesne İzleme, Konum Denetimi, Adım Motoru, Optik Algılayıcı

## SUMMARY

### **A Position Control System for Tracking Moving Targets**

Position control is one of the important applications in industrial automation systems as well as in many other areas such as communication systems, robotics, aircrafts, artillery, and so on. Tracking problem of moving objects is another dimension of the position control systems where the reference target is not constant but varies with time. The sensitivity of systems which are doing the position control and observation, are important. The sensitivity of the position control and tracking systems are important in order to improve the product quality for better and error free outcomes. The importance of the position controllers is best understood in the applications such as point hit targets, laser beam based medical operations, satellite dishes, guided missiles, aircraft artillery, targeted point drilling, and many other sensitive systems.

A position control system for a moving object is designed and implemented in this study. A radar-like system is built consisting of stepping motors and optical sensors. Due to their usage in position control system applications, stepping motors have been chosen to be used to controlling the tracking system. The stepping motors operate with the signals coming from the sensors that are used to detect the position of the reference object, which may be moving along an arbitrary path or stand still somewhere in the target area of the sensors. Once the place of the object is determined, the tracking system locks to the object and moves along following the path where the object goes either forward or backward. An interface is established with a computer through its parallel port for monitoring the tracking system.

**Key Words:** Tracking Moving Targets, Position Control, Stepping Motor, Optical Sensor

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1. Adım motorunun iç yapısı.....	7
Şekil 2. Adım motorunun prensip şeması .....	8
Şekil 3. Adım motor moment - hız karakteristiği.....	9
Şekil 4. Adım açısı 60° olan basit yapılu bir adım motorunun şeması .....	10
Şekil 5. Motor yüksüz iken rotor hızı ve konumunun zaman ile değişimi .....	11
Şekil 6. Motor yüklü iken rotor konumun zamanla değişimi .....	11
Şekil 7. Adım motorunun akım-moment eğrisi .....	12
Şekil 8. Adım motorunun değişik modlarda çalışma eğrileri .....	13
Şekil 9. Açısal konumun ve ani hızın zamanla değişimi.....	14
Şekil 10. Permanent magnet adım motorun prensibi.....	16
Şekil 11. 30° adımlarla dönen kalıcı mıknatıslı bir adım motoru .....	17
Şekil 12. Sürekli mıknatıslı iki fazlı adım motoru.....	18
Şekil 13. Sürekli mıknatıslı adım motorunun anahtarlarla kontrolü.....	18
Şekil 14. Anahtar durumlarına göre sürekli mıknatıslı motorun rotor hareketleri .....	19
Şekil 15. Disk tipi sürekli mıknatıslı adım motoru.....	20
Şekil 16. Dört fazlı sürekli mıknatıslı adım motoru.....	21
Şekil 17. Değişken relüktanslı adım motorunun iç yapısı.....	21
Şekil 18. Değişken relüktanslı adım motoru.....	22
Şekil 19. Çok parçalı değişken relüktanslı adım motoru.....	24
Şekil 20. Melez yapılu adım motorunun.....	25
Şekil 21. İki kutuplu sargının motordaki yerleşimi.....	27
Şekil 22. İki kutuplu sargının bağlantı şeması.....	27
Şekil 23. Adım motorunun stator sargılarının anahtar bağlantıları.....	28
Şekil 24. Dalgalı sürücü için akım darbeleri ile rotorun dönüşü.....	28
Şekil 25. Normal sürücü için akım darbeleri ile rotorun dönüşü.....	29
Şekil 26. Yarım dalga sürücü için akım darbeleri ile rotorun dönüşü.....	30
Şekil 27. Tek kutuplu sargının motordaki yerleşimi.....	31
Şekil 28. Tek kutuplu sargının bağlantı şeması.....	31



Şekil 29.	Tek kutuplu sargılar ve kontrolü.....	32
Şekil 30.	Bir sargının kontrolü ve akım dalga şekilleri.....	34
Şekil 31.	Adım motoru zaman ayarlama devresi ve akımın dalga şekli.....	35
Şekil 32.	Paralel Port.....	36
Şekil 33.	PC'deki 25 pin D-SUB dışı konnektör.....	40
Şekil 34.	Paralel port yazmaçları.....	41
Şekil 35.	Pozisyon algılayıcısı olarak bir potansiyometre.....	49
Şekil 36.	Gauging kapasitif algılayıcının yapısı.....	51
Şekil 37.	Kapasitif pozisyon algılayıcının eşdeğer devresi.....	52
Şekil 38.	Hareketli dielektrik şaftlı silindirik kapasitif algılayıcı.....	52
Şekil 39.	Diferansiyel açısız kapasitif algılayıcı.....	52
Şekil 40.	Endüktif algılayıcının devre şekli.....	53
Şekil 41.	Girdap akım algılayıcıları.....	55
Şekil 42.	Fırçasız mutlak açı algılayıcısı.....	57
Şekil 43.	Enine endüktif yaklaşım algılayıcısı.....	58
Şekil 44.	Yardımcı bir disk ile enine algılayıcı.....	58
Şekil 45.	Reed anahtarı.....	59
Şekil 46.	Doğrusal ve eşik tipi hall etkili algılayıcıların devre diyagramı.....	60
Şekil 47.	Doğrusal ve eşik hall etkili algılayıcıların eğrileri.....	61
Şekil 48.	Manyeto-striktif algılayıcının yapısı.....	62
Şekil 49.	Bir polarizasyon filtresinden geçen polarize ışık.....	64
Şekil 50.	Polarizasyon filtresi ile yakınlık algılayıcısı.....	65
Şekil 51.	Artımsal ve mutlak optik kodlayıcı diskler.....	66
Şekil 52.	Üçgen prensibini kullanarak uzaklığı ölçen PSD algılayıcısı.....	67
Şekil 53.	Bir boyutlu PSD'nin yapısı.....	68
Şekil 54.	Ultrasonik uzaklık ölçümü.....	70
Şekil 55.	Piezoelektrik ultrasonik dönüştürücü.....	71
Şekil 56.	Açık Çevrim Denetim Sistemi.....	72
Şekil 57.	Kapalı Çevrim Denetim Sisteminin Yapısı.....	73
Şekil 58.	Farklı renklere göre optik algılayıcıların algılama mesafesi.....	78
Şekil 59.	Optik algılayıcıların çalışma blok diyagramı.....	79
Şekil 60.	MF40-S18-NG optik algılayıcı.....	80
Şekil 61.	74LS244 octal 3 durumlu tampon.....	81

Şekil 62.	74HC244 entegresi.....	82
Şekil 63.	ULN2004 entegresi.....	83
Şekil 64.	Kontrol devresi.....	84
Şekil 65.	+5V DC gerilim kaynağı.....	85
Şekil 66.	0 ile 30V arası ayarlı gerilim kaynağı.....	85
Şekil 67.	Sistemin basit yapısı.....	87
Şekil 68.	Tarama işlemi sırasında açılı ile zamanın değişimi.....	89
Şekil 69.	Farklı iki referans seviyesi için hedefin yakalanma eğrisi.....	90



## TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. İki fazlı orta uçlu sargılara sahip adım motorunun anahtarlama tablosu.....	19
Tablo 2. Dalga sürücü için anahtarlama sırası.....	28
Tablo 3. Normal sürücü için anahtarlama sırası .....	29
Tablo 4. Yarım dalga sürücü için anahtarlama sırası .....	30
Tablo 5. Dalga sürücü için anahtarlama sırası .....	32
Tablo 6. Paralel port sinyalleri .....	37
Tablo 7. Paralel portlar ve adresleri .....	38
Tablo 8. BIOS veri alanındaki LPT Adresleri .....	38
Tablo 9. PC arabirimiyle orijinal Centronics arabirimi arasındaki farklar.....	42
Tablo 10. Veri Portu .....	43
Tablo 11. Durum Portu .....	44
Tablo 12. Kontrol Portu.....	45
Tablo 13. MF40-S18-NG optik algılayıcının teknik özellikleri .....	79
Tablo 14. 74LS244 octal 3 durumlu tampon entegresinin giriş ve çıkış durumları.....	81
Tablo 15. 74HC244 entegresinin bacak bağlantılarının açıklamaları .....	82

## SEMBOLLER DİZİNİ

A	:	Levhaların alanı
C	:	Kapasite
$C_f$	:	F plakasının kapasitesi
$C_v$	:	V plakasının kapasitesi
d	:	Yer değişimi ve levhalar arası uzaklık
D	:	Tam skala yer değişimi ve 2 elektrot arası uzaklık
E	:	Pot uçlarındaki uyarma gerilimi
$\epsilon$	:	Ortaman dielektrik sabiti
$\epsilon_r$	:	Pozisyon hatası
f	:	Frekans
G	:	Cismin iletkenlięi
$I_A$	:	A noktasından akan akım
$I_B$	:	B noktasından akan akım
$I_{ref}$	:	Referans akımı
$I_o$	:	Foto elektrik akımı
$i_a$	:	A fazı akımı
$i_b$	:	B fazı akımı
$i_c$	:	C fazı akımı
k	:	Modülün geometrik sabiti
L	:	Endüktans
$L_a$	:	A sargısının endüktansı
$L_B$	:	Mercekler arası mesafe
$L_o$	:	Minimum endüktans
$L_O$	:	Mercek ile hedef arası mesafe
$L_m$	:	Maksimum endüktans
$L_1$	:	1 numaralı sargı
$L_2$	:	2 numaralı sargı
P	:	Akımlar oranı
$R_x$	:	x mesafesi direnci

$R_d$	:	2 elektrot arası uzaklığın direnci
$T_a$	:	A fazı hava aralığı momenti
$T_b$	:	B fazı hava aralığı momenti
$T_c$	:	C fazı hava aralığı momenti
$T_{ab}$	:	A ile B fazları arası hava aralığı momenti
$T_p$	:	Darbenin etkin periyodu
$T_o$	:	Zaman sabiti endüktansı
$\theta$	:	Gerçek açı
$\theta_c$	:	Hedef ile radar arası açı
$\theta_r$	:	Referans açısı
$\theta_{RD}$	:	Referans ile radar arası açı
$x$	:	Mesafe
$V$	:	Gerilim
$V_o$	:	Çıkış gerilimi
$V_{Çıkış}$	:	Çıkış gerilimi
$V_{ref}$	:	Referans gerilimi
$V_1$	:	1 numaralı gerilim
$V_2$	:	2 numaralı gerilim
$z_1$	:	Kontrol hatası
BCD	:	İkili kodu desimal
DSP	:	Sayısal işaret işleme
DMA	:	Doğrudan belleğe erişim
ECP	:	Yetenekleri artırılmış port
EPP	:	Yükseltilmiş paralel port
FLC	:	Bulanık mantık kontrolör
LVDT	:	Doğrusal değişken fark transformatörü
PID	:	Oran-integral-türev
PSD	:	Pozisyona duyarlı algılayıcı
RVDT	:	Döner değişken fark transformatörü
SMC	:	Kayan mod kontrol
SPP	:	Standart paralel port

## 1. GENEL BİLGİLER

### 1.1. Giriş

Teknolojinin son elli yılda hızla gelişmesiyle hayatımız daha da kolaylaştı. Özellikle ikinci dünya savaşı ile hızlanan teknolojik gelişmeler insanoğlunun önünde yeni ufukların açılmasına neden oldu. Aya gidilmesi, iletişimin gelişmesi, bilgisayarın icadı, tıp alanındaki hızlı gelişmeler hep insanların yararına oldu. Bu icatlar beraberlerinde pek çok sistem getirdiler. Bütün bu sistemlerin mekanik ve elektronik aksamaları bulunmaktadır. Mekanik aksamın hızlı ve hassas kontrolü çok daha fazla önem kazanmıştır. Mekanik aksamın hareketini sağlayan motorlar ve bunların en iyi şekilde kontrol edilmesi bu nedenle önemlidir. Bu amaçla farklı kontrol teknikleri geliştirilmiş, motor tekniğinde büyük ilerlemeler kaydedilmiştir.

Kontrol sistemleri üniteleri kontrol etmektedir. Üniteler çeşitli elektronik düzenekler olabileceği gibi sonuçta asıl kontrol edilen hareket yeteneğine sahip motor gibi düzenekler de olabilir. Örneğin; bir kimya fabrikasının otomasyonu ile kontrol odasından verilen direktiflerle vanalar açılmakta gerekli karışımlar yapılarak istenen kimyasal ürünler elde edilmektedir. Burada vanaların açılıp kapatılması hareketli düzeneklerle sağlanmaktadır. Bu vanaların ne kadar açılacağı veya ne kadar kapanacağına elektronik sistemler karar vermektedir.

Bu sistemler insanlar tarafından kontrol edilebileceği gibi otomasyon sistemleriyle de kontrol edilebilir. Bu sistemlerin kullanılması tam otomasyonu sağlamaktadır. Sistem belirlenen kuralları kullanarak fabrikayı çalıştırmaktadır. Sistemi ayrıca kontrol eden insanlara ihtiyaç duymamaktadır. Bu nedenle değişik otomasyon sistemleri ortaya çıkmıştır. Bu sistemler yardımıyla insanlar yerlerinden kalkmadan yapılan işlemleri anlık olarak takip etmekte ve gerektiğinde müdahale edebilmektedirler.

## 1.2. Tezin Amacı ve Kapsamı

Endüstriyel üretimlerde ürün kalitesi önemlidir. Hatasız ve doğru üretim maliyeti düşürür. Hatasız üretim için işlemlerin doğru ve hassas olması gerekir. Bu nedenle üretim bantlarının ve bu bantlarda çalışan makinaların kontrolleri önem taşır. Bunun yanında iletişim, savunma, robot ve sağlık gibi sektörlerde kullanılan cihazlar son derece hassastır. Bu aletlerden işlerini doğru ve az hata ile yapmaları beklenir.

Yürüyen bir bantta farklı yerlerden gelen parçaların birleştirilerek ürünün ortaya çıktığı bir sistemde parçaların doğru ve iyi bir şekilde yerlerine oturtulması gerekir. Örneğin araba imal edilen bir fabrikada araba yürüyen bir bant üzerinde gerekli parçalar birleştirilerek yapılır. Genelde bu birleştirme işini robotlar gerçekleştirir. Bu sistemde bir parça takıldıktan sonra bant diğer parçanın takılacağı kısma doğru ilerler. Bu esnada yürüyen bantta meydana gelebilecek bir arızada, bant durması gerekenden farklı bir yerde durabilir. Dolayısıyla yerleştirilecek sıradaki parçanın yeri kayabilir. Yada yürüyen bantta arıza olmasa bile parçayı yerleştirecek robotun pozisyonundaki bir hata parçanın yine hatalı yerleştirilmesine neden olabilir. Bunun sonucunda insan hayatını tehlikeye atan ölümcül kazalar olabilir.

Sistemlerin hassas denetimlerinde pozisyon kontrolü önemlidir. Konumun en iyi şekilde algılanması yapılan işlemin doğruluğunu artırmakta ve kalitesini yükseltmektedir. Dolayısıyla motorların pozisyonları en iyi şekilde ayarlanmalıdır. Hatalı bir motor pozisyonu üretim sürecinde ürünlerin kalitesinin düşük olmasına yada ürünün üretim bandından defolu olarak çıkmasına neden olmaktadır.

Örneğin lazer ile göz tedavisinde lazer ışığının olması gereken yerden  $0.001^\circ$  sapması hastanın kör olmasına yada yapılan tedavinin iyi sonuç vermemesine neden olabilir.

Yapılan bu çalışmada hareketli sistemlerde pozisyonun tam olarak belirlenmesi ve gerektiğinde sistemlerde meydana gelebilecek aksaklıklarda da aksaklığın telafi edilmesi için bir sistem geliştirilmiştir. Sistem oldukça ucuzdur ve kolayca farklı sistemlere de uygulanabilir. Bilgisayar destekli olduğu gibi kolayca mikroişlemci tabanlı bir uygulama haline de getirilebilir.

Bu bilgilerin ışığında bu çalışmada raylı bir sistemde hareket eden hedefin konumunun tam olarak belirlenmesi ve hedef belirlendikten sonra sistemin en kısa zamanda hedefe kilitlenmesini sağlayacak bir konum denetimi tasarlanarak gerçekleştirildi. Çalışmada

bilgisayar destekli bir denetim sistemi tasarlanıp, kullanımı kolaylaştırıcı yazılım ara yüzü ile sistem denetimine gerekli iletişim köprüsü kuruldu.

### 1.3. Literatür Araştırması

M. BODSON ve J. CHIASSON [1] tarafından 1989 yılında yapılan bu çalışmada sürekli mıknatıslı adım motorunun, doğrusal olmayan (nonlinear) kontrol metotları kullanılarak pozisyon kontrolü yapılmıştır. Çalışmada modern doğrusal olmayan kontrol teorisinin, adım motorlarının hızlı ve doğru pozisyon kontrolüne ilişkin bir uygulama yapılmıştır. Sürekli mıknatıslı adım motorunun matematiksel modeli çıkarılmıştır. Mevcut geri besleme doğrusallaştırma yaklaşımlarını temel alan kontrol algoritması güncel tekniklerle karşılaştırılmış ve sunulmuştur. Bilinmeyen motor parametrelerinin çözüldüğü metotlar, gerçek zamanda ve normal şartlarda uygulanmıştır. Kullanılan motor nominal faz akımı 6A ve max giriş gücü 265W olan 2 fazlı adım motorudur. Kontrol algoritması saat frekansı 20.48 MHz ve işlem kapasitesi 10.25 milyon komut/saniye olan Motorola DSP56001 dijital işaret işlemcisinde uygulanmıştır. Bu çalışmanın sonucunda adım motorlarının hız ve doğruluklarının pozisyon kontrolü uygulamalarında geliştirilmesi, modern tanımlama ve kontrol algoritmaları önerilmiştir. Geri besleme doğrusallaştırma tekniği doğrusal olmayan sürekli durum çevriminin bir birleşimi olup geri besleme ile birleştirilmiştir. Bunun sonucunda son sistem doğrusal çıkmıştır.

H.RODRIGUES [2] ve diğerleri tarafından 1993 yılında yapılan bu çalışmada doğru akım motorunun pozisyonu, bulanık mantık kontrolörü kullanılarak kontrol edilmiştir. Bu çalışmada bir doğru akım motorunun miline dişli sistemi ve bu dişli sisteminin çıkışına da bir yük bağlanmıştır. Dişli kutusuna ilk hareketi veren doğru akım motorunun hareketi kırpıcı devre ile sağlanmaktadır. Bulanık mantık kontrolörünün hassas ayarı kayan mod kontrolörü temeline dayanmaktadır. Sistemde gerçek açı  $\theta$  ve referans açısı  $\theta_r$ , pozisyon hatası  $\varepsilon_r$  kullanılarak armatür referans akımı  $I_{ref}$ 'i üreten kontrolöre giriş sağlanmıştır. Bu çalışmada PID (Proportion-Integral-Derivative = Oran-İntegral-Türev), SMC (Sliding Mode Control = Kayan Mod Kontrol), ve FLC (Fuzzy Logic Control = Bulanık mantık kontrol) kontrolörleri için simülasyon yapılmıştır. Düzgün moment elde edebilmek için PID'nin hassas ayarı yapılmıştır. Simülasyonun sonucunda SMC ve FLC kontrolörlerinin PID'ye göre mekanik moment değişimlerine daha hassas olduğu tespit edilmiştir. SMC ve FLC kontrolörlerinin PID ile karşılaştırılmasında SMC ve FLC kontrolörlerinin PID'ye



göre büyük moment değerlerinde aşma yapmadan daha hızlı cevap verdiği ve sistemin değişken momente maruz kalması durumunda daha iyi performans gösterdiği görülmüştür. Buna karşın FLC'nin SMC'ye göre daha hızlı cevap verdiği de bulunan sonuçlar arasındadır. Fakat bu fark pek önemli değildir.

Mike J. JANSON ve G. SUBRAMANYAM [3] tarafından 1997 yılında yapılan bu çalışmada bilgisayar paralel portu kullanılarak beş adet adım motoru kontrol edilmiştir. Çalışmada ilk önce 3 durumlu 74367 hex tampon devresi kullanılarak port korunmuştur. Tampon çıkışında 4 hattı 16 hatta çeviren A74154 dekoder devresi kullanılmıştır. Her motor için dört adet ex-or, 2 adette Jk tipi flip flop kullanılarak motor sıralaması yapılmıştır. Dekoder devresi çıkış gücü seviyesi JK tipi flip flopların çıkışlarını 24V'luk 4 fazlı adım motorunun girişine çevirir. Yazılım olarak QBasic progamlama dili seçilmiştir. Pozisyon tablosu ve robot kolunun önüne yerleştirilen bas çek anahtarı pozisyon bilgisini tanımlamak için kullanılır. Veri girişi için paralel portun durum yazmacının pinlerini kullanan bir öncelik kodlayıcı IC74147 anahtarların kapanma durumlarını tespit etmek için kullanılmıştır. Çalışma sonucunda devrenin kusursuz çalıştığı görülmüştür. Kontrol programından girilen her komut ve pozisyonların durumlarının bilgisayar ekranı ve devre ile birebir eşleştiği görülmüştür.

İ.H.ALTAŞ [4] tarafından 1997 yılında yapılan bu çalışmada hareket eden hedef takip sistemi için bulanık mantık ve bulanık kontrolör kullanılarak bir kontrol algoritmasının simülasyonu yapılmıştır. Geliştirilen sistem, bir araba, tank, top veya hareket eden basit bir nesneyi sabit veya değişken bir hızla tek ekseninde takip etmektedir. Geliştirilen sistem bir radar, radar alıcısı, kuvvetlendirici ve sürekli mıknatıslı adım motorundan oluşmaktadır. Motor ve radar bir dişli sistemi üzerinde birlikte bulunmaktadır. Radar hedefe kitleme işleminde iki açıyı  $\theta_{Rd}$  ve  $\theta_C$ 'yi kullanmaktadır. Bu iki açı kullanılarak sistem radar ve araba aksının yönlerini sırasıyla tanımlamaktadır. Bu çalışmada geçici rejim hatasının bulanık mantık kontrolörü kullanılarak azaltılabildiği sonucuna varılmıştır.

İ.H.ALTAŞ [5] tarafından 1997 yılında yapılan bu çalışmada bulanık mantık tabanlı bir kapı pozisyon kontrol sistemi tasarlanmıştır. Bu çalışmada bulanık tabanlı bir kontrolör kullanılarak, bir kapının tam kapalı ve tam açık durumu arasındaki pozisyonunun açısı, mümkün olabilecek tüm açılar göz önüne alınarak ayarlanmıştır. Laboratuardaki test sistemi sürekli mıknatıslı adım motoru, bir dişli sistemi, bir güç kaynağı ve bulanık mantık kontrolöründen oluşmakta olup matematiksel olarak modellenmiş ve simülasyonu yapılmıştır. Kapının istenilen herhangi bir açıda açık veya kapalı tutulması motorun ileri

veya geri yönde çalıştırılması ile sağlanmıştır. Çalışmadaki sonuçların doğruluğunun ispatlanması, bir klasik oran-integral kontrolörü ile karşılaştırma yapılarak sağlanmıştır. Bu çalışmada bulanık mantık tabanlı bir kontrolör tasarlanmış ve kapının, kapalı durumdan tam açık durum ile tam açık durumdan tam kapalı duruma geçişi için kullanılmıştır. Simülasyon sonucunda kapının hedef pozisyonuna, motorun gerilimi değiştirilerek hızla yaklaştığı, hedefe çok yaklaştığında yavaşladığı ve motor gerilimi sıfırlanarak çok yumuşak bir şekilde durdurulduğu görülmüştür.

Edgar N. SANCHEZ [6] ve diğerleri tarafından 2000 yılında yapılan bu simülasyon çalışmasında adım motor sinir ağlarının dinamik blok türü kullanılarak adım motor yörüngesi takip edilmiştir. Bu çalışmada sürekli mıknatıslı adım motoru kullanılmıştır. Adım motorunun kontrolü blok kontrol metodu ile yapılmıştır. Bu metot da pozisyon yörüngesinin açısı  $\theta_r$  ve kontrol hatası  $z_1$  ile gösterilmiştir. Yapılan simülasyon sonucunda geliştirilen modelin değişik parametreler ve bozucu dış etkenler karşısında çok iyi performans gösterdiği gözlenmiştir.

S. JINGZHUO [7] ve diğerleri tarafından 2001 yılında yapılan bu çalışmada DSP TMS320F240 tabanlı melez yapılı adım motorlu servo sistem ile birleşik konum algılayıcısı tasarlanmıştır. Çalışmada kullanılan algılayıcının imalatı kolay olup doğruluğu yüksektir. Algılayıcı basit sinyal üreten devrelerde iyi bir doğruluğa ve DSP (Digital Signal Processing – Sayısal İşaret İşleme) tabanlı bir yazılıma sahiptir. Algılayıcı, iki fazlı melez yapılı adım motoru pozisyonlu servo sistemde kullanılmıştır. Kullanılan motor 2 fazlı 8 kutuplu bir melez yapılı adım motoru olup rotorunda 50 diş bulunmaktadır. Motorun rotoru ile algılayıcının rotoru arasında çok küçük bir manyetik alan sağlayan alüminyum bir yüzük bulunmaktadır. Algılayıcı işlemci ünitesi endüktansdaki değişimi genlik modülasyon tekniği kullanarak algılayabilecek şekilde tasarlanmıştır. Devrede her test sargısına bir LC rezonans devresi yapmak için bir kondansatör bağlanmıştır ve iki sargı (A ve C ile B ve D) seri bağlanmıştır. Yapılan çalışmada genlik modülasyonunun düşük frekansı ve algılayıcıdaki hatalar elimine edilmiştir. Çalışmanın sonucunda algılayıcı motorun uzunluk ve ağırlığını artırmakta fakat pozisyon algılayıcıları kullanıldığında sistemin daha ucuz ve basit olduğu anlaşılmıştır. Bu tip pozisyon işaret algılama metodu algılayıcının olmadığı metotlara göre çok karmaşık bir yapıya sahiptir. Fakat sinyal işlem süreci daha basit, doğruluğu daha yüksek ve rotor pozisyonu motorun durumundan etkilenmeden herhangi bir zamanda algılanabilmektedir.

## 1.4. Adım Motorları

### 1.4.1. Giriş

Adım (step) motorları hareket ve konumun (pozisyonun) hassas olarak kontrol edilmesi gerekli olan yerlerde kullanılan özel motorlardır.

Adım motorları belirli adımlarla dönerler. Adım motoru, elektromekanik bir dönüştürücüdür. Elektrik darbelerini mekanik kuvvetlere çevirir. Elektrik darbeleri uygun sırayla uygulandığında motor mili uygulanan darbeleri ayık artımlı adımlar haline dönüştürür. Bu adımlar motorun sargılarından uygun olan birine darbe gerilimi uygulanarak kontrol edilirler. Motorun tasarımına (yapısına) bağlı olarak, adım motoru 90°, 45°, 18° veya daha küçük açı aralıklarında dönebilir. Darbe oranı değiştirilerek motorun bir adımlık hareketi çok yavaşlatılabileceği gibi 4000 d/d'ya da yükseltilebilir.

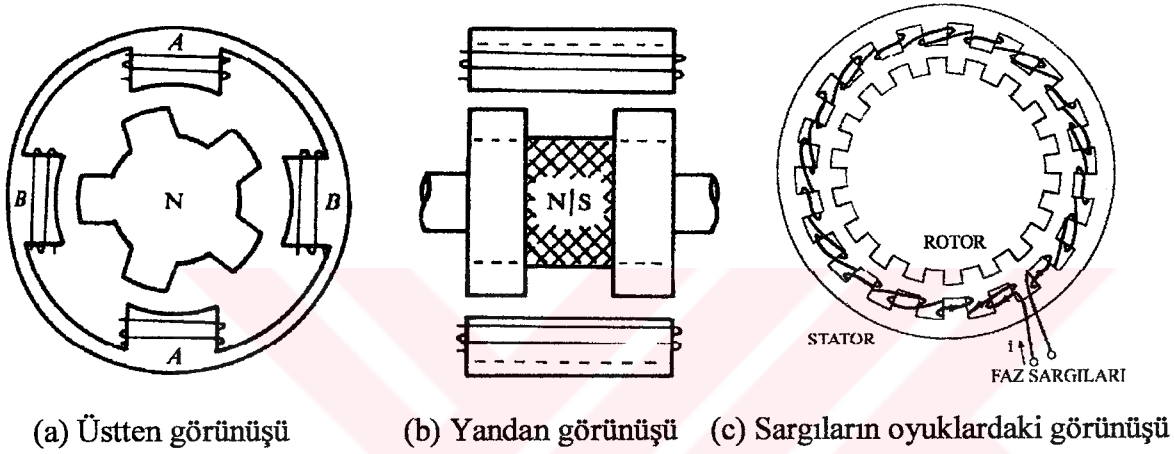
Adım motorları saat yönünde veya ters yönde dönebilirler. Bu işlem, faz sargılarına uygulanan darbe gerilimlerinin sırasına bağlıdır.

Adım motorunun davranışı motoru süren güç kaynağına bağlıdır. Güç kaynağından elde edilecek darbeler mikro işlemci veya bilgisayar tarafından kontrol edilirler. Darbeler bilgisayar tarafından sayılır ve saklanırlar. Saat yönündeki darbeler (+) iken ters yöndeki darbeler (-) olarak işlem görürler. Sonuç olarak, her zaman için adım sayıları bilinmektedir. Adım aralıkları tam olarak bilindiğinden devir sayısı da hassas olarak bilinmektedir. Bu özelliğinden dolayı, adım motoru çok hassas konum kontrolü gereken cihazlarda (çizici, teypler, valfler ve yazıcılar gibi) tercih edilmektedirler [10]. Bunun yanında robot ve bilgisayar teknolojisinde, tıbbi cihazlarda, iletişim teknolojisinde ve makina tezgahlarında sıkça karşımıza çıkmaktadır.

### 1.4.2. Adım Motorunun Temel Yapısı

Her elektrik motorunda olduğu gibi adım motoru da dönen kısım rotor ve duran kısım stator'dan oluşur. Adım motoru, statorunda saç nüve üzerine sarılmış bulunan bobinlerden oluşur. Rotoru ise ferromagnetik malzeme yada doğal mıknatıstan oluşur. Şekil 1'de adım motorunun iç yapısı görülmektedir. Adım motoru statorunun birçok kutbu (genellikle 8) vardır. Bunların polaritesi elektronik anahtarlar yardımıyla değiştirilir. Anahtarlama sonucunda statorun ortalama güney ve kuzey kutupları döndürülmektedir. Rotorun

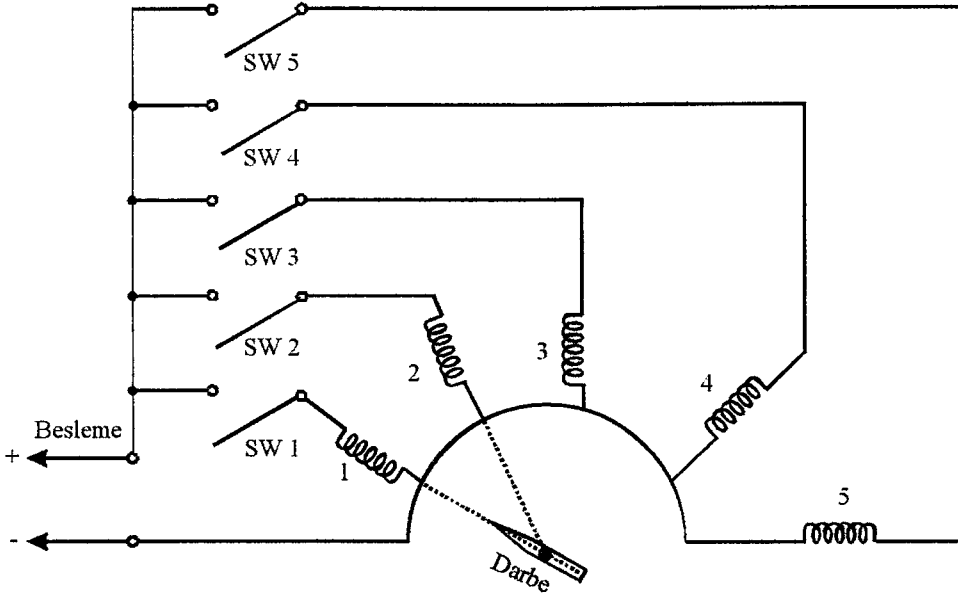
güney kutbu, statorun kuzey kutbu sıralıdır. Rotorun mıknatıslığı, bir sürekli mıknatıs veya dış uyarma metotlarıyla oluşturulabilir. Bu arada sürekli mıknatıs oluşacaktır. Adımları vasıtasıyla ortalama stator alanı döner ve rotor da bunu benzer adımlar arasında takip eder. Daha iyi bir seçicilik elde etmek için rotor ve stator üzerine küçük dişler yapılmaktadır. Bu dişler birbirleriyle temas etmemelidir. Adım motorlarının stator ve rotor kutup sayıları eşit olmadığı için rotoru belli açılarla dönmektedir. Adım açısı kutup sayıları değiştirilerek ayarlanır.



Şekil 1. Adım motorunun iç yapısı

### 1.4.3. Adım Motorunun Çalışma Prensibi

Adım motorun girişine darbe uygulandığı zaman belli bir miktar döner ve durur. Bu dönme miktarı motorun yapısına göre belli bir açı ile sınırlandırılmıştır. Adım motorda, rotorun dönmesi girişe uygulanan darbe adedine bağlı olarak değişir. Girişe tek bir darbe uygulandığında rotor tek bir adım hareket eder ve durur. Daha fazla darbe uygulanınca darbe adedi kadar adım hareket eder. Adım motoru bir daire içinde elektromanyetik alanların dönüşü ile ifade edilir. Şekil 2'de 1 numaralı anahtar kapandığı zaman sabit mıknatıs kendiliğinden 1. elektromanyetik alan ile aynı hizaya gelir. Bundan sonra 1 numaralı anahtar açılıp 2 numaralı anahtar kapatılırsa sabit mıknatıs 2. elektromanyetik alanın karşısına gelecektir. Bu olaylar sırasıyla tekrarlanırsa sabit mıknatıs yani rotor bir daire içinde düzgün şekilde döner.



Şekil 2. Adım motorunun prensip şeması

#### 1.4.4. Terimler

**Step Açısı (SA) :** Bu, derece cinsinden açısal bir dönme olup, sargı polaritesinin her bir değişiminde mil döner. Bu tek bir giriş darbesi ile sağlanır. Derece/adım veya sadece derece olarak ifade edilir.

**Dönme Başına Step (SPR):** Bu 360°'lik bir tam dönme için gerekli olan toplam adım sayısını gösterir.

$$SPR = 360^\circ / SA \quad (1)$$

**Saniye Başına Step (SPS) :** Motorun gittiği 1 saniyedeki açısal adım sayısı, AC ve DC motorların dakika başına dönme hızı ile karşılaştırılabilir.

$$SPS = \frac{SPR (r/min)}{60} \quad (2)$$

veya

$$\omega = 2\pi (SPS/SPR) \quad (3)$$

$w'$ 'nin birimi rad/sn'dir.

**Step Doğruluğu :** Bu, pozisyon doğruluğu hassasiyeti olup genellikle tek adım açısının yüzdesi olarak ifade edilir.

**Artık Moment :** Bu moment güç uygulanmadığı, durma durumunda bulunur. Sadece sürekli mıknatıslı (permanet-magnet) rotor türündeki motorlarda görülür.

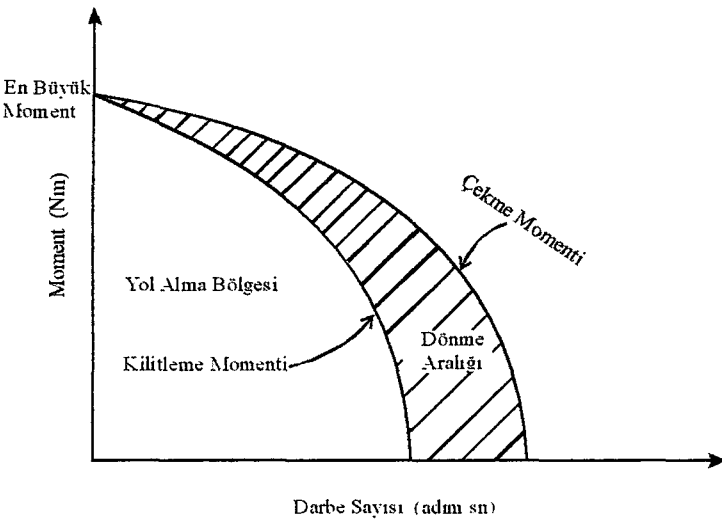
**Step Cevabı :** Bu, tek bir adım yardımıyla motoru hareket ettirmek için geçen zamanda, motor momentinin atalet oranının ve sürücü devre karakteristiğinin bir fonksiyonudur.

**Tork (moment) - Atalet Oranı (TIR) :** Bir adım motor için yararlılığın tanımıdır. Yüksek TIR, daha iyi adım cevabı şöyle olmalıdır:

$$TIR = \frac{\text{Tutma momenti}}{\text{Rotor ataleti}} (1 / \text{sn}^2) \quad (4)$$

**Tutma Momenti :** Oransal güç uygulandığında ve sıfır hızda (durma durumu) motor mili, tutma momenti etkisindedir. Motor mili elle döndürülmeye çalışılırsa manyetik alan dönmeye karşı koyacaktır. Ancak mile dışarıdan çok küçük bir moment uygulandığında, tutma pozisyonu terk edilecektir.

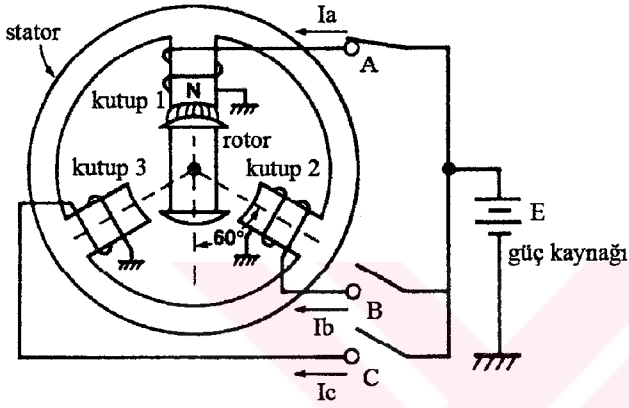
**Dinamik Moment :** Düşük hızda çalıştırılsa bile, bir adım motorun geliştirebileceği dinamik moment, her zaman için tutma momentinden daha düşüktür. Örneğin 50 adım/sn, hızda sürtünme kuvvetini ve toplam yük ataletini kırarak dinamik moment, yaklaşık olarak tutma momentinin %80'i kadardır. Hız arttıkça moment, Şekil 3'deki gibi azalır.



Şekil 3. Adım motor moment - hız karakteristiği

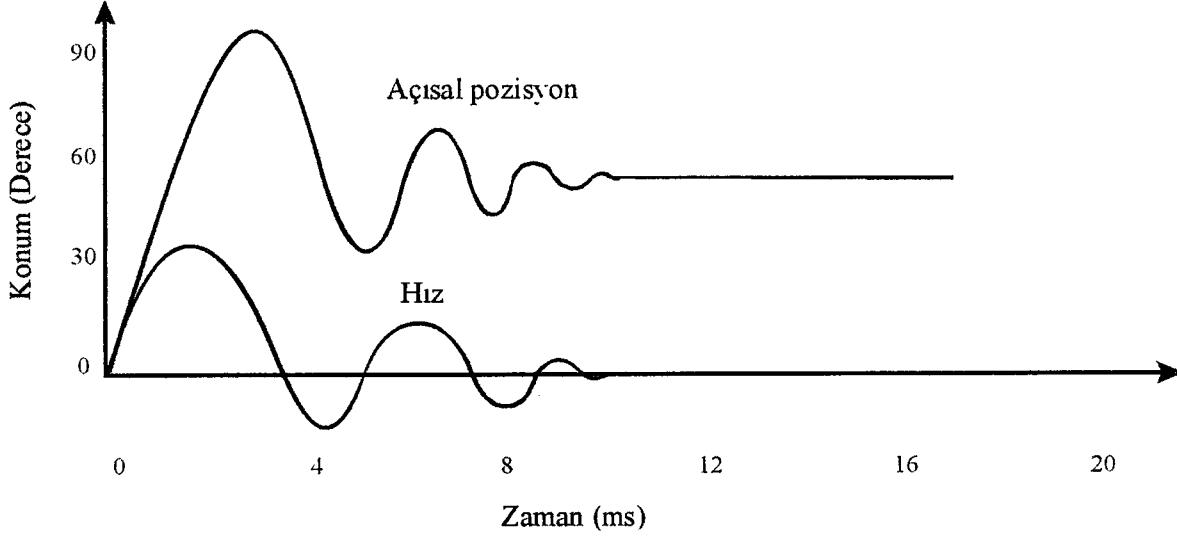
Bu azalmanın sebebi, stator sargılarının endüktif olmasıdır. Bu sargılara uygun DC kaynağı bağlandığı zaman, akım nominal değerine doğru geçici olarak artar. Sargılar çok hızlı anahtarlanırsa, nominal akıma hiçbir zaman ulaşamaz ve bu sebeple motor, düşük hız momentinden daha düşük bir moment geliştirir. Anahtarlama hızının artırılması, ortalama akımı ve momenti daha da azaltacaktır [8].

#### 1.4.5. Atalet Momentinin Etkisi



Şekil 4. Adım açısı  $60^\circ$  olan basit yapıdaki bir adım motorunun şeması

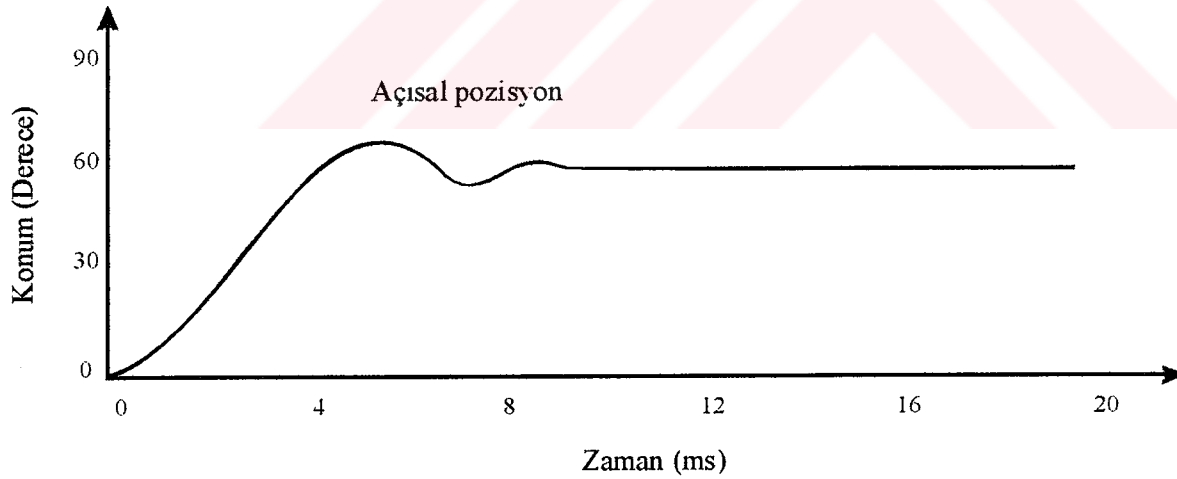
Motorun yüksüz, aynı zamanda rotor kalkma momentinin düşük ve yatak sürtünmesinin çok küçük olduğu düşünülürse; Rotor, başlangıçta kutup 1'in altında ve bu durumda rotorun açısal konumu  $0^\circ$  olsun. Anahtar A açılır ve B kapatılırsa, rotor kutup 2'ye doğru saat yönünün tersi yönde harekete geçer. Rotorun hızlı bir şekilde ve kısa bir sürede kutup 2'nin eksenine gelmesi ve orada durması istenen bir durumdur. Fakat, rotor dikkate değer bir hızla dönmekte olup, kutup 2'nin eksenini dönme yönünde ileri doğru geçer. Böyle olunca, kutup 2'nin manyetik alanı rotoru geriye doğru çekmekte ve rotoru frenlemeye çalışmaktadır. Saat yönü tersinde dönen rotor, kutup 2'nin etkisiyle önce duracak daha sonra ise kutup 2'nin manyetik alanı rotoru saat yönünde döndürür. Rotor devrinin yön değiştirmesi sonucu rotor, kutup 2'nin eksenini etrafında bir titreme (dalgalanma) yapar. Bu dalgalanma, yatak sürtünmesinden dolayı kademeli olarak söner. Şekil 5'de rotor konumu zamanın bir fonksiyonu olarak gösterilmektedir.



Şekil 5. Motor yüksüz iken rotor hızı ve konumunun zaman ile değişimi

#### 1.4.6. Mekanik Yükün Hıza ve Konuma Etkisi

Rotor miline bir yükün bağlanması durumundaki etkisi Şekil 6'da gösterilmiştir.



Şekil 6. Motor yüklü iken rotor konumun zamanla değişimi

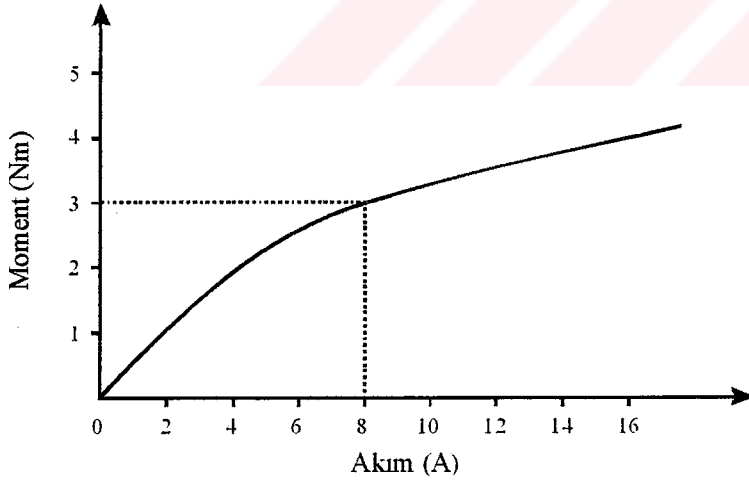
Rotorun 60°'lik konuma ulaşması, Şekil 5'e göre daha uzun bir zaman almaktadır (2 ms yerine 4 ms). Dalgalanma genliği, daha küçük olup sönüm daha kısa zamanda olmaktadır.



Özet olarak hem mekanik moment hem de atalet momenti adım süresini artırmaktadır. Hızlı adım tepkisi elde etmek için rotor ve yük atalet momenti mümkün olduğu kadar küçük olmalıdır. Dalgalanma ise fren özelliği gösteren sistemlerle kısaltılabilir. Bir konumdan diğerine hareket etmek için geçen süre sargı içindeki akım artırılarak azaltılabilir. Fakat  $I^2R$  yüzünden oluşacak sıcaklık sınırlamaları maksimum sargı akımı değerine etki etmektedir.

#### 1.4.7. Moment-Akım İlişkisi

Adım motorunun ürettiği moment stator akımına bağlıdır. Şekil 7, bir adım motoru için akım-moment eğrisini göstermektedir. Motor akımı 8A olduğu zaman, motor 3 Nm değerinde bir moment üretir. Bu moment, motorun bir konumdan diğerine hareketinde ürettiği moment olup kırılma momenti olarak adlandırılabilir. Motor bir konumda dururken, en son uyarılan (enerji verilen) sargıdan geçen akıma "tutma akımı" denilir ve bu akım devam etmelidir. Tutma akımı devam ettiği sürece rotor en son konumunda kilitlenmiş olarak duracaktır.

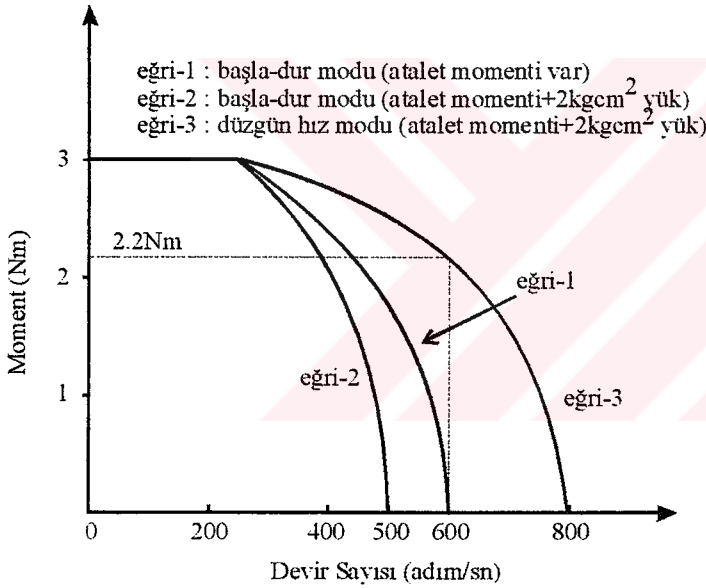


Şekil 7. Adım motorunun akım-moment eğrisi

### 1.4.8. Başla-Dur Adımlama Oranı

Adım motoru başla-dur prensibinde çalışırken, adım oranı için izin verilen bir üst sınır vardır. Eğer sargı akımları darbe oranı çok hızlı ise, rotor darbe değişimlerini tam olarak (hassas olarak) izleyemeyecek ve bundan dolayı rotorun adım kontrolü kaybedilecektir. Bu ise adım motorunun kullanılma amacına ters bir durumdur. Darbe ile adım uyumluluğunu (senkronizasyonu) korumak için rotor bir konumda kararlı duruma geçtikten sonra diğer adım darbesi uygulanmalıdır.

Yük değeri arttıkça ve atalet momenti büyüdükçe, saniyede elde edilecek adım sayısı azalacaktır. Başla-dur adım yöntemi bazen hatasız başlama modu olarak da tanımlanır ve bu yöntemin karakteristiği Şekil 8’de eğri-1 ile gösterilmektedir.

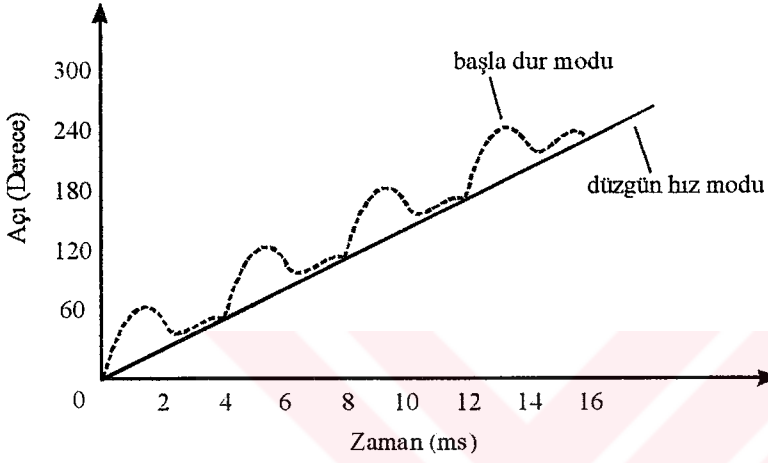


Şekil 8. Adım motorunun değişik modlarda çalışma eğrileri

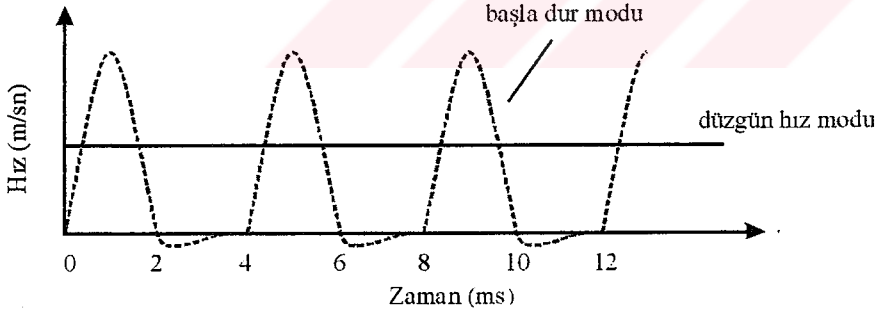
Örneğin, yük momenti 1,4 Nm iken mümkün olan maksimum adım oranı (adım kontrolünü kaybetmeksizin) 500 adım/s ise aynı yük daha yüksek bir atalet momentumuna sahip iken izin verilen adım oranı 400 adım/s’ye düşecektir. Şekil 8’de eğri-2 bu durumu göstermektedir.

### 1.4.9. Düzgün Hız

Bir adım motorunun her adımda durmaksızın sürekli düzgün bir hızda dönmesi sağlanabilir. Motorun düzgün (kesintisiz) bir hızla dönmesine düzgün hız modu denmektedir. Motor düzgün bir hızla döndüğü zaman atalet momentinin etkisi olmamaktadır.



(a) Açısal konumun



(b) Ani hızın zamanla değişimi

Şekil 9. Açısal konumun ve ani hızın zamanla değişimi

Sonuç olarak, motorun verilen adım oranında ve düzgün hız modunda çalıştığı durum için moment-adım/saniye ilişkisi Şekil 8'deki eğri-3'de gösterilmektedir. Örneğin, motor 500 adım/s'de dönerken 2.2 Nm'lik moment üretilebilir. Fakat, moment 2.2 Nm'yi aşacak olursa, motorun adım komutlarını yerine getirebilmesi mümkün olmaz. Yani,

motor adım kontrolünden çıkar. Şekil 9, başla-dur ve düzgün hız modları arasındaki farkı göstermektedir. Her iki durumda da motorun 250 adım/s ortalama hızda döndüğünü kabul edelim. Motor her saniyede aynı sayıda adım hareketini yapar. Örneğin motor, her 4 ms'de 1 adım hareketi yapar.

Düzgün hız modunda açı, zamanla orantılı ve düzgün bir şekilde artmaktadır. Hızın zamanla değişimi ise sabittir. Diğer taraftan, başla-dur modunda ise açı (konum) adımlar şeklinde artmaktadır. Bu modda, hız devamlı olarak maksimum-sıfır arasında değişmekte olup ortalaması, düzgün hız modundaki hıza eşittir.

#### 1.4.10. Rampalama

Bir yükü süren adım motoru, dururken aniden bir adım sonraki yüksek bir konum değerine (5000 adım/s gibi) geçemez. Tersisi durumda da, eğer motor 5000 adım/s'de dönüyorsa, bu motor bir adım sonra durma konumuna getirilemez. Bunun anlamı, motorun hızı değiştirilmek istendiğinde bu işlemin kademeli olarak yapılmasının gerekli olmasıdır. Bu işlem yapılırken motorun ani konum hareketinin akım darbelerine uyma şartı yerine getirilmelidir. Motorun devir sayısının artırılmasının veya azaltılmasının kademeli olarak yapılması işlemine rampalama (ramping) denilmektedir.

Devir sayısının yükselmesi süresince, rampalama işleminde saniyedeki akım darbeleri sayısı giderek artırılmaktadır. Rampalama süresi genellikle saniyenin küçük aralıklarında tamamlanmaktadır.

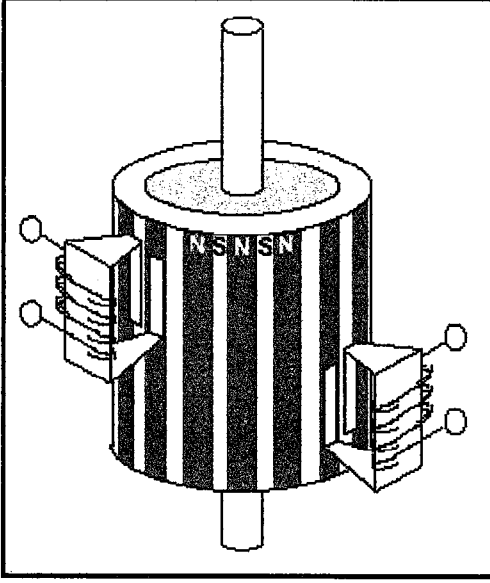
Motora uygulanan rampa, güç kaynağı tarafından üretilmektedir. Güç kaynağı motorun yüklü ve yüksüz durumlarda hassas konum kontrolü için programlanabilir.

#### 1.4.11. Adım Motorlarının Çeşitleri

Adım motorlarının çeşitleri şunlardır:

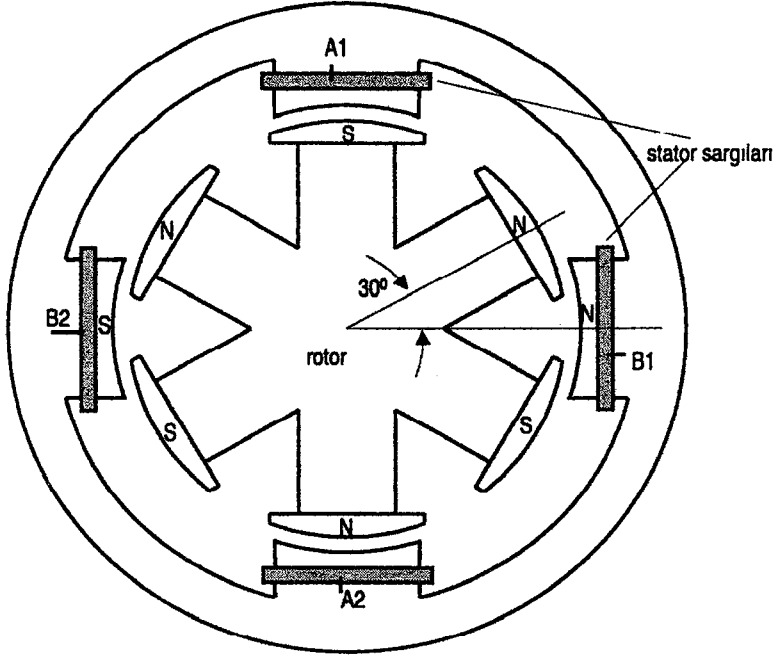
1. Sürekli mıknatıslı (permanent magnet - PMDC) adım motoru
2. Değişken relüktanslı (variable reluctance-VR) adım motoru
3. Melez yapılı (Hybrit) adım motoru

#### 1.4.11.1. Sürekli Mıknatıslı (Permanent Magnet - PMDC) Adım Motoru



Şekil 10. Permanent magnet adım motorun prensibi

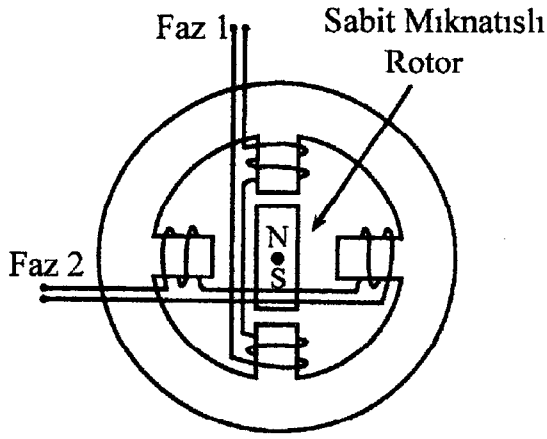
Bu tip motorların rotorları N ve S olmak üzere kalıcı mıknatıslı kutuplara sahiptirler. Şekil 10'da sürekli mıknatıslı adım motorunun temel prensibi görülmektedir. Şekilde çubuk şeklinde mıknatıslar ve sargılar görülmektedir. Şekil 11, kalıcı mıknatıslı bir adım motorunun iç yapısını göstermektedir. Statorunda 4, rotorda ise kalıcı mıknatıstan yapılmış 6 kutup vardır. Şekil 12'de iki fazlı sürekli mıknatıslı adım motorunun iç yapısı görülmektedir.



Şekil 11. 30° adımlarla dönen kalıcı mıknatıslı bir adım motoru

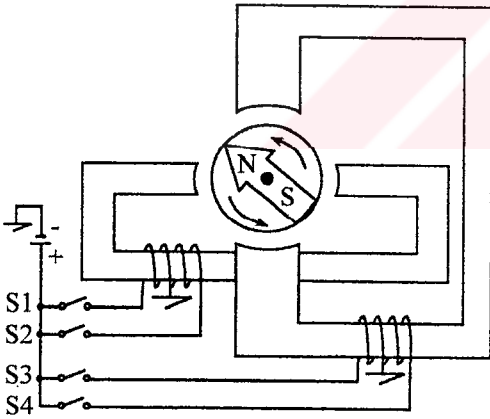
Rotor, kalıcı mıknatıstan yapıldığı için sürücü devresi tarafından en son uyarılmış olan stator kutbu çifti altındaki ekseninde sabit olarak kalır. Gerçekte motor, bir tutma momenti üretir. Bu moment stator sargılarından hiç akım geçmese bile rotorun yerinde kalmasını sağlar. Sargılar A1 ve A2, B1 ve B2 kendi aralarında seri olarak bağlıdır. Şekil 11’de gösterilen konumdan başlandığında, B1-B2 sargıları uyarılırsa, rotor 30°’lik bir açıyla ileri doğru hareket edecektir. Hareketin yönü, sargılardan geçen akımın yönüne bağlıdır. B sargıları (B1-B2) içindeki akım, Şekil 11’de gösterildiği gibi N ve S kutuplarını oluşturursa, rotor saat yönünün tersine bir yönde dönecektir. Önemli derecede bir güç üretmek zorunda olan adım motorlarında genellikle kalıcı mıknatıslı rotor kullanılır [10].

Şekil 12’de sürekli mıknatıslı iki fazlı adım motoru görülmektedir. Faz 1 ve Faz 2’den oluşan sargılar iki tanedir. Her bir faz 2 ayrı sargıdan oluşur. Bu sargılar seri bağlıdır.



Şekil 12. Sürekli mıknatıslı iki fazlı adım motoru

Şekil 13'te sürekli mıknatıslı adım motorunun basit kontrolü gösterilmiştir. Adım motorunun çalışması için S1, S2, S3 ve S4 anahtarları üzerinden Faz 1 ve Faz 2 sargılarına sırası ile uygun fazda gerilim uygulanmalıdır. Devrede kullanılan motorun  $90^\circ$ lik adımlarla dönmesini istersek Tablo 1'de verilen dört değişik çalışma durumunu arka arkaya uygulamak gerekir.

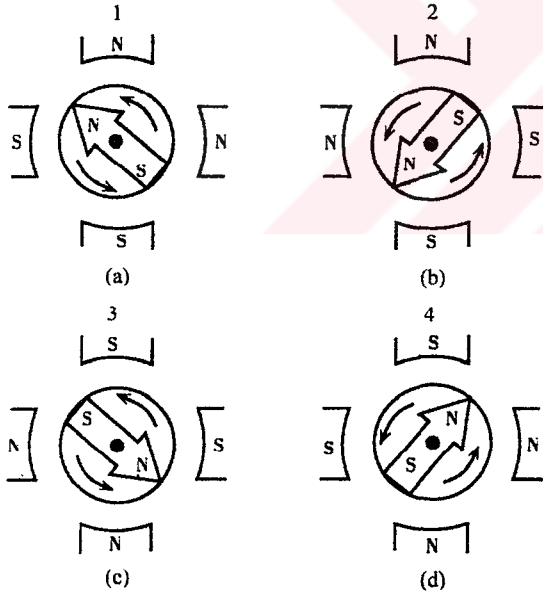


Şekil 13. Sürekli mıknatıslı adım motorunun anahtarlarla kontrolü

Tablo 1. İki fazlı orta uçlu sargılara sahip adım motorunun anahtarlama tablosu

Çalışma Durumu	S1	S2	S3	S4
1	0	0	1	1
2	1	0	0	1
3	1	1	0	0
4	0	1	1	0

Şekil 13'teki anahtarların dört değişik çalışma durumunu veren Tablo 1'de rotorun hareketleri adım adım gösterilmiştir. Bu şekiller üzerinden S1,S2,S3 ve S4 anahtarlarının kapalı (1) ve açık (0) oluşuna göre rotorun iki kutup arasında  $90^\circ$ lik adımlarla ve saat ibresinin tersi yönde dönüşü Şekil 14'de gösterilmiştir.



Şekil 14. Anahtar durumlarına göre sürekli mıknatıslı motorun rotor hareketleri

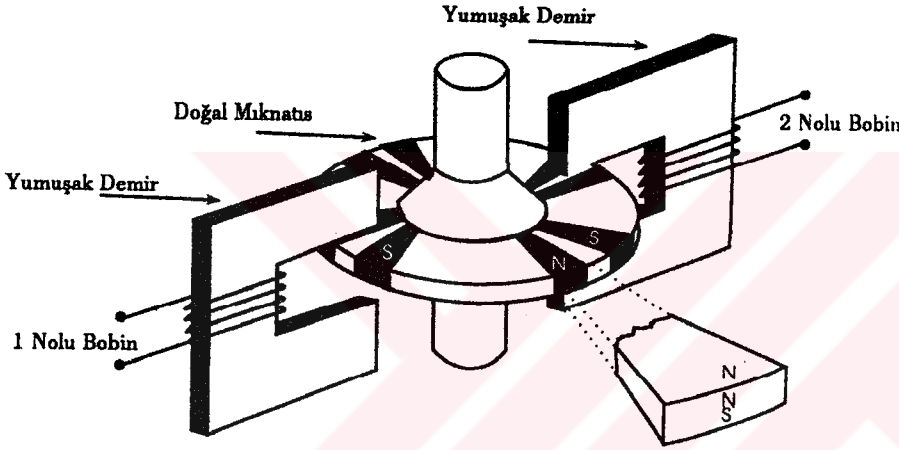
İlk adım için S2 ve S4 anahtarları kapatılır. Faz 1 ve Faz 2 sargılarına uygulanan gerilim sonucu rotor Şekil 14'de 1 numaralı çalışmasını tamamlar ve durur. S4 anahtarı kapalı iken S2 açılıp S1 kapatılırsa rotor bu kez 2 numaralı çalışmasını tamamlar. Yani  $90^\circ$  döner ve durur. 3 numaralı çalışma için S1 anahtarı kapalıyken S4 açılıp S3 kapatılır. Aynı şekilde 4 numaralı



çalışma için S3 kapalıyken S1 açılıp S2 kapatılmalıdır. Bu şekilde motor dönüşünü sürdürür. Sargılar ilk konumuna döner. İşlem tekrarlanırsa motor sürekli olarak aynı yönde döner.

Anahtarlar bu sırayla değiştirilmeye devam edildiğinde rotor da dönmeye devam edecektir. Adım motorunun çalışma durumları değiştirilmeye devam edildiği sürece buna bağlı olarak rotorda dönmeye devam edecektir. Adım motorunun çalışma durumlarının değişmesinde sadece bir anahtar değişmektedir. Bu durum rotorun eşit adımlarda ve aynı yönde dönmelerini sağlar.

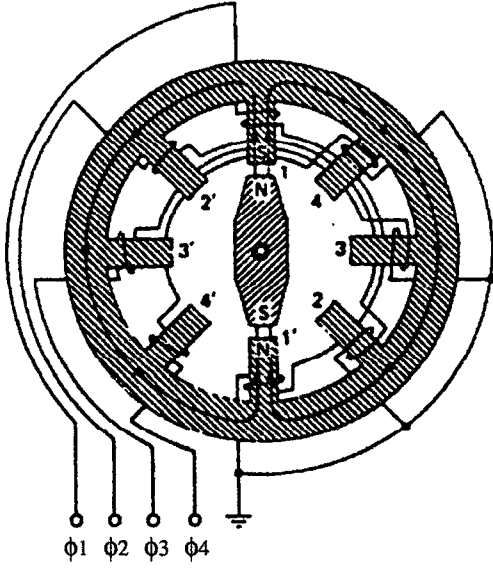
Şekil 15'te disk tipi sürekli mıknatıslı adım motoru görülmektedir. Motorun rotoru ince ve mıknatıslığı seyrek olacak şekilde yapılmıştır.



Şekil 15. Disk tipi sürekli mıknatıslı adım motoru

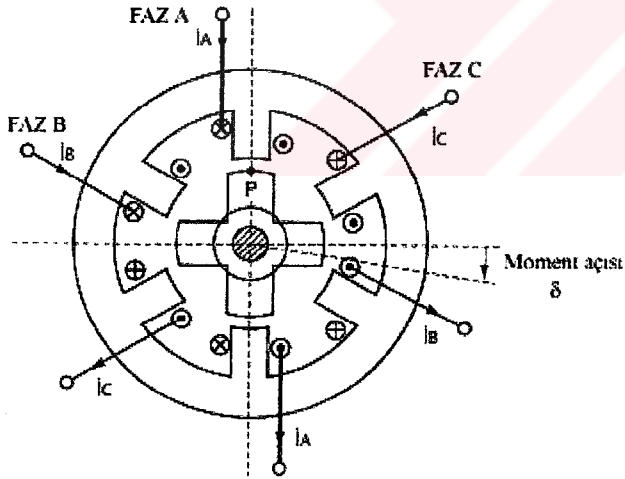
Disk şeklindeki rotorun ince oluşundan dolayı bu disk üzerinde 100'den fazla sabit manyetik kutuplar yerleştirilebilir. Bu manyetik kutuplar sadece diskin kenarlarına yerleştirilse bile yeterli olur. Disk tipi adım motorları diğerlerinden %60 daha hafif ve boyut olarak yarı ağırlığa sahiptir. Ayrıca disk, antimanyetik bir mesnete monte edilerek rotor olarak çalışması sağlanmıştır.

Şekil 16'da dört fazlı sürekli mıknatıslı adım motoru görülmektedir. Dört fazı ve her faza ait iki kutbu bulunmaktadır. Motorun adım açısı  $45^\circ$ 'dir. Bu motorun  $180^\circ$ 'lik bir hareket yapması için faz sargıları 1-4-3-2 sırasıyla enerjilendirilmelidir [8].



Şekil 16. Dört fazlı sürekli mıknatıslı adım motoru

#### 1.4.11.2. Değişken Relüktanslı (Variable Reluctance-VR) Adım Motoru



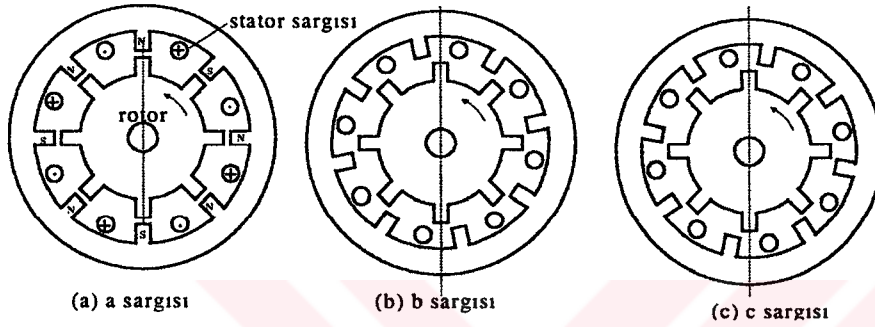
Şekil 17. Değişken relüktanslı adım motorunun iç yapısı

Değişken relüktanslı adım motorunun iç yapısı Şekil 17'de gösterilmiştir. Şekil 18'de gösterilen değişken relüktanslı adım motoru ise rotoru 8-kutuptan, statoru ise her biri 8-kutuplu üç kısımdan (a,b,c) oluşan bir motordur. b-kısmı ve c-kısmı, a-kısmı ile aynı özellikte olup kutuplar saat yönünün tersine  $15^\circ$ lik bir açıyla yerleştirilmiştir (Şekil 18

(b-c)). c-kısımının kutupları ise a-kismina göre  $30^\circ$ , b-kismina göre ise  $15^\circ$  daha geri bir açıyla yerleştirilmiştir (Şekil 18(c)).

Rotor açılal konumunun saat yönünde ölçüldüğü kabul edilirse,  $i_a$  akımı tarafından meydana getirilen hava-aralığı momenti şöyle tanımlanabilir.

$$T_a = \frac{1}{2} i_a^2 \frac{dL_a}{d\theta} \quad (5)$$



Şekil 18. Değişken relüktanslı adım motoru

Stator ve rotor kutuplarının eksenleri üst üste geldiklerinde,  $L_a$  endüktansı maksimum olmaktadır. Rotor kutupları, stator kutuplarının ortasında iken  $L_a$  endüktansı, minimum olmaktadır.

$L_a$ 'nın sinüsoidal olarak değiştiği kabul edilirse;

$$L_a = L_0 + L_m \cos 8\theta \quad (6)$$

olarak yazılabilir. Buradan,  $i_a$ 'nın ürettiği moment;

$$T_a = -4i_a^2 L_m \sin 8\theta \quad (7)$$

olur. Bu denklemde  $\theta = 0$  olduğunda,  $T_a = 0$  olur. b- kısımının endüktansı ve moment;

$$L_b = L_0 + L_m \cos 8(\theta - 15^\circ) \quad (8)$$

$$T_b = -4i_b^2 L_m \sin 8(\theta - 15^\circ) \quad (9)$$

olarak yazılır. c-kısımının endüktansı ve momentini;

$$L_c = L_0 + L_m \cos 8(\theta - 30^\circ) \quad (10)$$

$$T_c = -4i_c^2 L_m \sin 8(\theta - 30^\circ) \quad (11)$$

olur.

Eğer a-sargısı enerjilenir ve motor miline saat yönünün tersi yönünde bir yük (moment) uygulanırsa,  $L_a$  endüktansı azalır ve motor negatif (saat yönünde) bir moment üretir.

$i_a$  akımı sıfır yapılırsa ve  $i_b$  akımı uygulanırsa, motor bir moment üretecek ve motor mili saat yönünün tersine doğru  $15^\circ$ 'lik bir hareket yapacaktır.

$i_b = 0$ ,  $i_a = 0$  yapılırsa ve  $i_c$  akımı uygulanırsa, saat yönünün tersine doğru  $15^\circ$ 'lik bir dönme daha meydana gelir. Son olarak,  $i_c = 0$  yapılırsa ve  $i_a$  akımı yeniden uygulanırsa, rotorun  $45$  derecelik bir dönüşü tamamlamış olur. a-b-c sırasında daha fazla sayıda akım darbeleri uygulanırsa saat yönü tersinde daha fazla adım (devir) hareketi elde edilir.

İki sargı aynı anda (eş zamanlı) uyarılırsa, daha kuvvetli bir sistem (motor) oluşur. Örneğin, ab-bc-ca darbe sırası, pozitif bir dönüş yönü üretir. Akımların eşitliği durumunda ( $i_a = i_b = i_c = i$ );

$$T_{ab} = T_a + T_b = -4i^2 L_m [\sin 8\theta + \sin 8(\theta - 15^\circ)] \quad (12)$$

$$\sin \alpha + \sin \beta = 2 \sin \frac{\alpha + \beta}{2} \cos \frac{\alpha - \beta}{2} \quad (13)$$

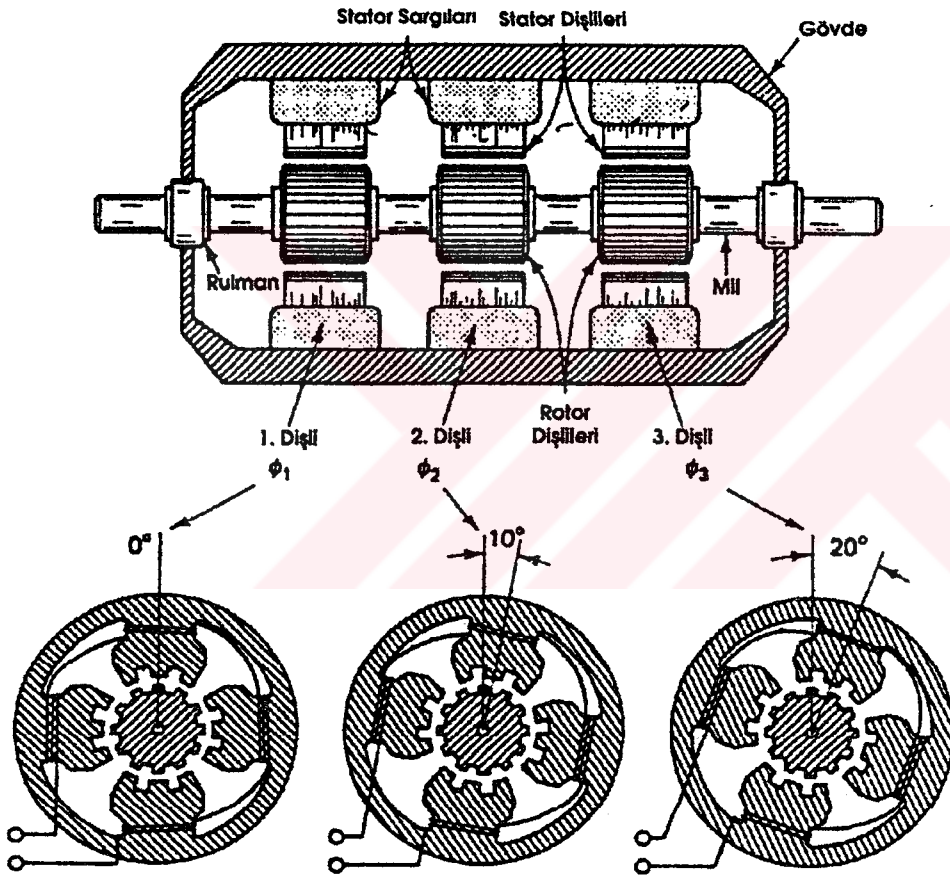
$$T_{ab} = -8i^2 L_m \sin 8(\theta - 7,5^\circ) \cos(60^\circ) \quad (14)$$

$$T_{ab} = -4\sqrt{3} i^2 L_m \sin 8(\theta - 7,5^\circ) \quad (15)$$

olur.

Denklem (15)'den görüldüğü gibi,  $\theta = 7,5^\circ$  olduğu zaman  $T_{ab} = 0$  olmaktadır. Sadece bir sargı uyarıldığında, momentin tepe değeri  $\sqrt{3}$  kat olmaktadır. Rotorun adım açıları tipik olarak  $15^\circ$ ,  $7,5^\circ$ ,  $5^\circ$ ,  $2,5^\circ$ ,  $2^\circ$ 'dir [10].

Değişik relüktanslı adım motorları tek parçalı ve çok parçalı olarak imal edilmektedirler. Stator ve rotorları tek dişli olarak yapılan adım motoruna tek parçalı, stator ve rotorları çok dişli olarak yapılan adım motorlarına ise çok parçalı değişken relüktanslı adım motoru denir. Çok parçalı değişken relüktanslı adım motoru Şekil 19'da gösterilmiştir [8].

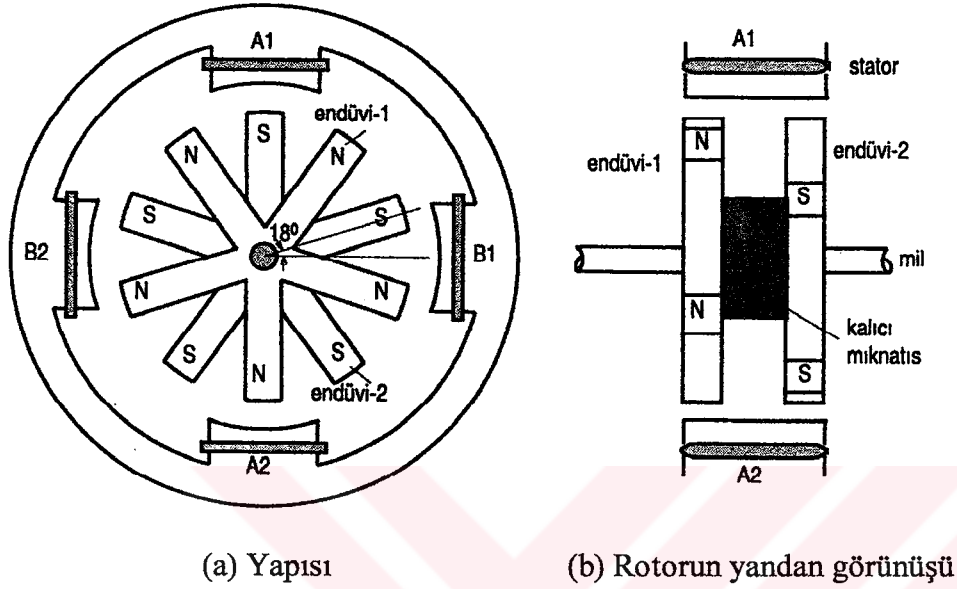


Şekil 19. Çok parçalı değişken relüktanslı adım motoru

#### 1.4.11.3. Melez Yapılı (Hibrit) Adım Motoru

Bu tip motorlar, aynı mil üzerine monte edilmiş birbirinin aynısı olan iki yumuşak demir endüviye sahiptirler. Şekil 20(a)'daki motorda, endüvilerin her birisi 5-kutba sahip olup 4-kutuplu stator tarafından sürülmektedirler. Bu düzenleme motoru değişken

relüktanslı bir motora benzetmektedir. Fakat kalıcı mıknatıs Şekil 20(b)'deki gibi iki endüvi arasına yerleştirilmiştir. Kalıcı mıknatıslar kendilerine dik ekseninde bir manyetik alan üretirler. Bunun sonucu endüvi-1 üzerindeki bütün kutuplar N olurken endüvi-2 üstündeki bütün kutuplar ise S olmaktadır.



Şekil 20. Melez yapıdaki adım motoru

Statorun A1-A2 sargıları da B1-B2 sargıları gibi seri bağlıdır. Kalıcı mıknatıstan dolayı motor küçük bir tutma momenti üretir ve böylece rotorun Şekil 20 (a)'daki konumunda durması sağlanır. B sargıları uyarılırsa, rotor  $18^\circ$  dönerek statorun B kutupları altındaki konuma gelecektir. Hareketin (dönmenin) yönü B sargılarından geçen akımın yönüne bağlıdır. Stator olukları içine rotorda olduğu gibi kalıcı mıknatıslar yerleştirilmiştir. Bir adım motorunda stator ve rotor üzerindeki kutup sayılarının asla eşit olmadığına dikkat edilmelidir. Bu özellik diğer tip motorlardan tamamen farklıdır. Gerçekte, kutup sayıları arasındaki fark motorun adım hareketi yapmasını sağlar [10].

#### 1.4.12. Adım Motorlarının Avantaj ve Dezavantajları

Avantajları:

- Eğer fazlarda enerji varsa motorun en yüksek momenti durma durumunda oluşur.

- Adım motorların açık çevrim davranışlarının  $\pm 1$  adım doğruluk pozisyonuna sahip olmaları (rotorun açısal hızı yeterince küçük olduğundan hareket sırasında basamak kaybı olmaz.) Yani kesin açısal mesafe tanımlanırsa motorun dönmesi uygun sayıda adımla kontrol edilebilir ve böylece mekanik sistemde milin hareketi yeterli ölçüde olur.
- Motorun dönme açısı uygulanan darbelerle doğru orantılıdır.
- Adım motorların rotor hareketi sabitken otomatik kilitleme özelliği vardır. Bu durumda rotor sadece terminal gerilimi zamanla değiştiği sürece hareket etmektedir.
- Adım motorların dijital kontrol sistemlerine uygun olması nedeniyle dijital kontrol, mikroişlemci, mikrokontrolör ve bilgisayarlı uygulamaları mümkün olmaktadır.
- Adım motorların ısınma problemleri çok az olmaktadır.
- Hata yalnızca adım hatasıdır. Bu değer genellikle adım başına %5'den azdır (%3-5). Motorun yaptığı hata bir adım ve daha sonra gelen adımlarda artarak çoğalmaz.
- Motor yapısının basit ve kuvvetli olması, genellikle motorda iki duruş pozisyonunun olması, motor bakımının kolay ve kullanım süresinin uzun olmasını sağlar. Yani çok iyi derecede başlama, durma ve ters yönde dönme özelliklerine sahiptir.
- Fırçaları bulunmadığı için bakım maliyetleri düşüktür. Uzun ömürlüdür. Performansları zamanla çok fazla değişmez.
- Adım motorunun hızı, geniş bir aralıkta değiştirilebilir. Motorun hızı uygulanan darbelerin frekansı ile orantılıdır.
- Adım motorlarının bir güç kaynağı ve motor cevabını değerlendiren sürücü bir devre ile kolayca açık ve kapalı çevrim kontrolleri yapılabilir. Sürücü devreleri ucuz ve basittir.

#### Dezavantajları:

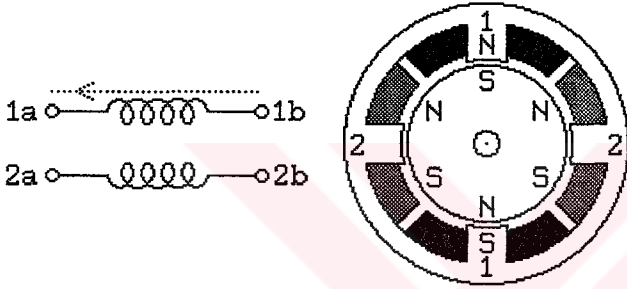
- Çok yüksek hızlarda çalışamazlar.
- Zaman zaman oluşan rezonans iyi derecede kontrol edilememektedir. Bu nedenle bu durumlar için alınan ek tedbirler sistem maliyetini yükseltmektedir [8].

### 1.4.13. Adım Motoru Sargıları

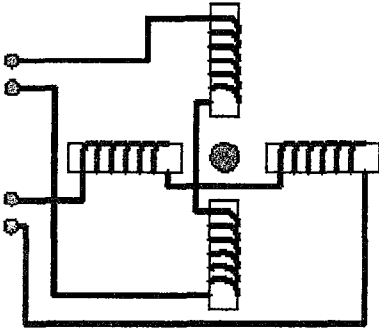
Adım motorlarında tek kutuplu (unipolar) ve iki kutuplu (bipolar) stator sargıları kullanılır. Bu nedenle motorların uç bağlantıları ve sürücü devreleri farklıdır.

#### 1.4.13.1. İki Kutuplu Sargı

İki kutuplu sargının motordaki yerleşimi Şekil 21'de gösterilmiştir. Şekil 11'de bu şekil daha ayrıntılı olarak gösterilmektedir. Şekil 11'de 4 kutuplu bir statorda iki kutuplu sargı tipi gösterilmektedir.



Şekil 21. İki kutuplu sargının motordaki yerleşimi



Şekil 22. İki kutuplu sargının bağlantı şeması

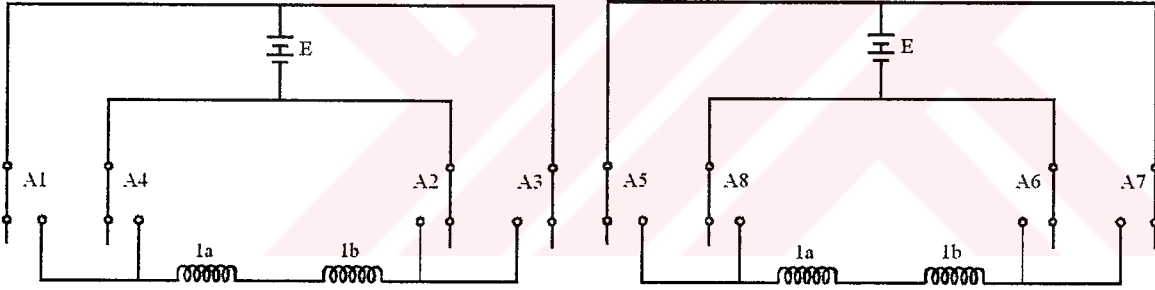
Şekil 22'den görüldüğü gibi iki kutuplu sargıda dört uç bulunmaktadır. Burada dalga sürücüde bobinlerin sadece bir grubu, yani 1a-1b yada 2a-2b, belirli bir zaman aralığında uyarılırlar. Tablo 2'de dalgali sürücü için anahtarlama sırası verilmiştir. Şekil 22'de her iki



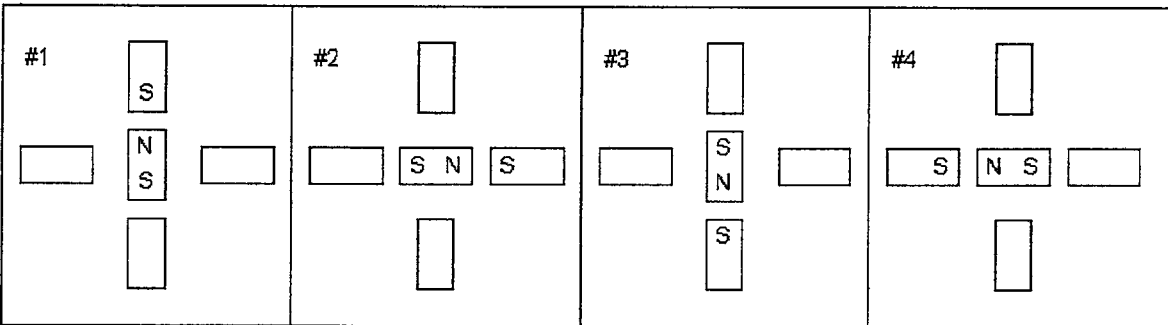
sargı için anahtarlama bağlantısı gösterilmiştir. Şekil 23'de ise dalga sürücü için akım darbeleri ile rotorun dönüşü gösterilmiştir. Motor her bir adımda  $90^\circ$  döner.

Tablo 2. Dalga sürücü için anahtarlama sırası

Adım		1	2	3	4	1
A1	A2	kapalı	açık	açık	açık	kapalı
A3	A4	açık	açık	kapalı	açık	açık
A5	A6	açık	kapalı	açık	açık	açık
A7	A8	açık	açık	açık	kapalı	açık



Şekil 23. Adım motorunun stator sargılarının anahtar bağlantıları

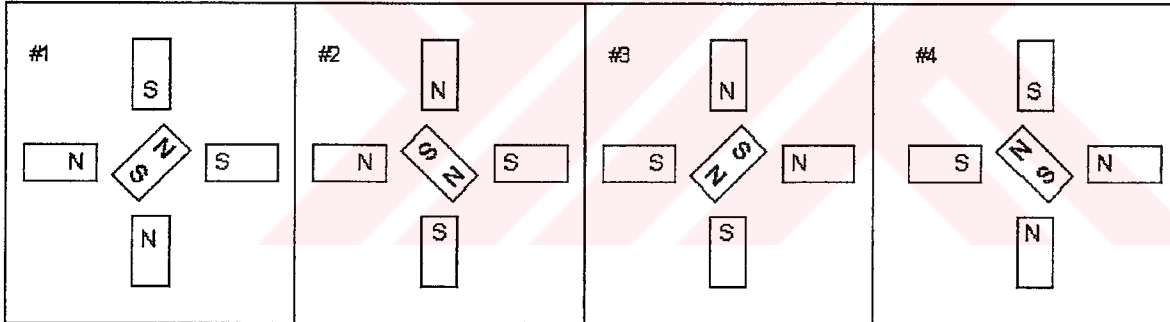


Şekil 24. Dalgalı sürücü için akım darbeleri ile rotorun dönüşü

Tablo 3’de normal sürücü için anahtarlama sırası gösterilmektedir. Normal sürücü, dalga sürücüden biraz daha fazla moment üretir. Her bir adımda  $90^\circ$  dönmektedir.

Tablo 3. Normal sürücü için anahtarlama sırası

Adım		1	2	3	4	1
A1	A2	kapalı	açık	açık	kapalı	kapalı
A3	A4	açık	kapalı	kapalı	açık	açık
A5	A6	kapalı	kapalı	açık	açık	kapalı
A7	A8	açık	açık	kapalı	kapalı	açık

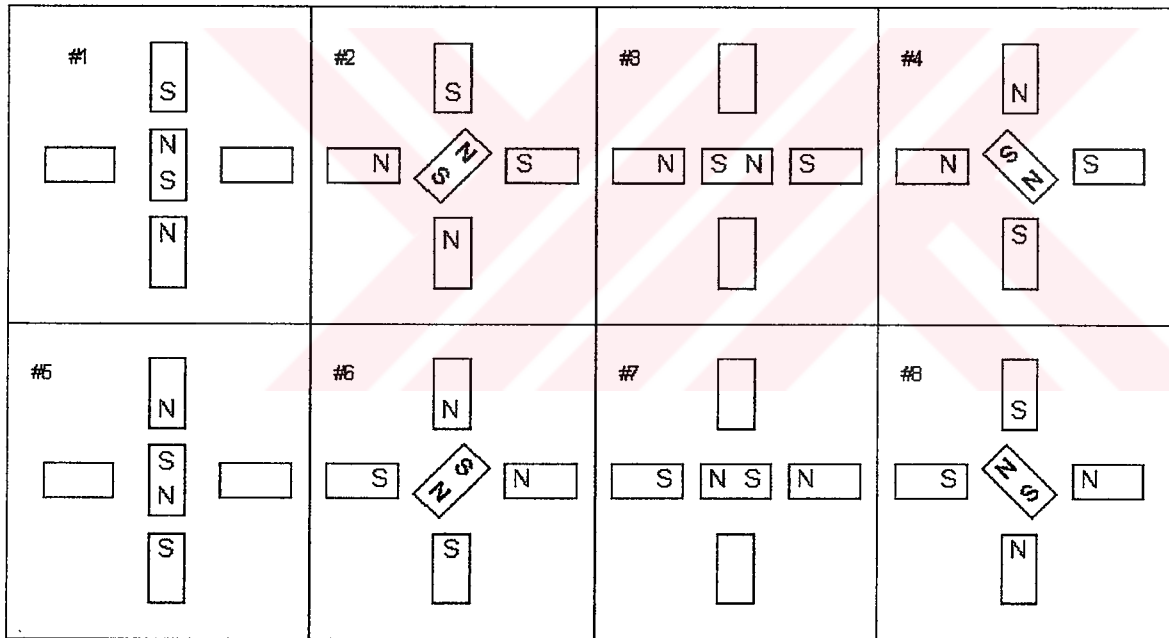


Şekil 25. Normal sürücü için akım darbeleri ile rotorun dönüşü

Tablo 4’de ise yarım dalga sürücünün anahtarlama tablosu gösterilmektedir. Yarım dalga sürücü dalga sürücü ile normal sürücünün birleşmesinden oluşur. Her bir adımda  $45^\circ$  dönmektedir.

Tablo 4. Yarım dalga sürücü için anahtarlama sırası

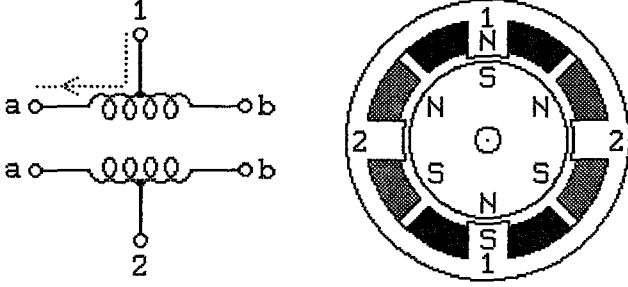
Adım		1	2	3	4	5	6	7	8	1
A1	A2	kapalı	kapalı	açık	açık	açık	açık	açık	kapalı	kapalı
A3	A4	açık	açık	açık	kapalı	kapalı	kapalı	açık	açık	açık
A5	A6	açık	kapalı	kapalı	kapalı	açık	açık	açık	açık	açık
A7	A8	açık	açık	açık	açık	açık	kapalı	kapalı	kapalı	açık



Şekil 26. Yarım dalga sürücü için akım darbeleri ile rotorun dönüşü

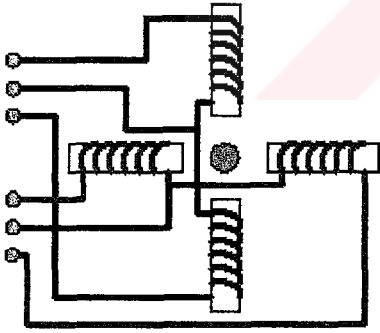
### 1.4.13.2. Tek Kutuplu Sargı

Tek kutuplu sargının motordaki yerleşimi Şekil 27’de gösterilmiştir. Bu tip motorların sargılarının orta noktaları ortaktır. Her kutup üzerinde iki parçalı sargı bulunur.



Şekil 27. Tek kutuplu sargının motordaki yerleşimi

Tek kutuplu sargının açık gösterimi Şekil 28’de gösterilmektedir. Tek kutuplu sargıların üstünlüğü, anahtarlama eleman sayısının 8’den 4’e düşürmesidir. Ayrıca geçici durum tepkisi biraz daha hızlıdır.

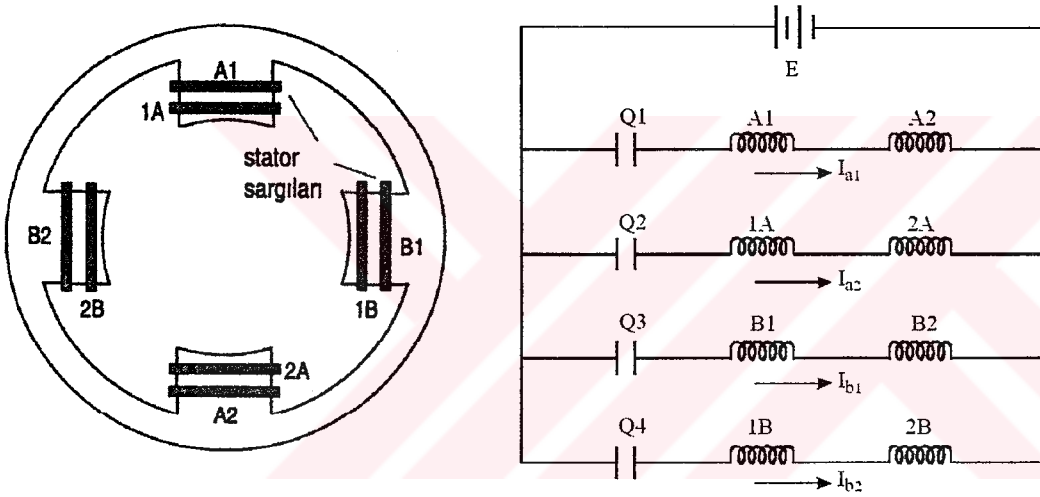


Şekil 28. Tek kutuplu sargının bağlantı şeması

Tablo 2’de fazların anahtarlama sıraları verilmiştir. Manyetik akının dönüş yönü Şekil 22’deki gibidir.

Tablo 5. Dalga sürücü için anahtarlama sırası

Adım	1	2	3	4	1
Q1	kapalı	açık	açık	açık	kapalı
Q2	açık	açık	kapalı	açık	açık
Q3	açık	kapalı	açık	açık	açık
Q4	açık	açık	açık	kapalı	açık



(a) Sargıların düzenlenmesi

(b) Sargıların güç kaynağına bağlantısı

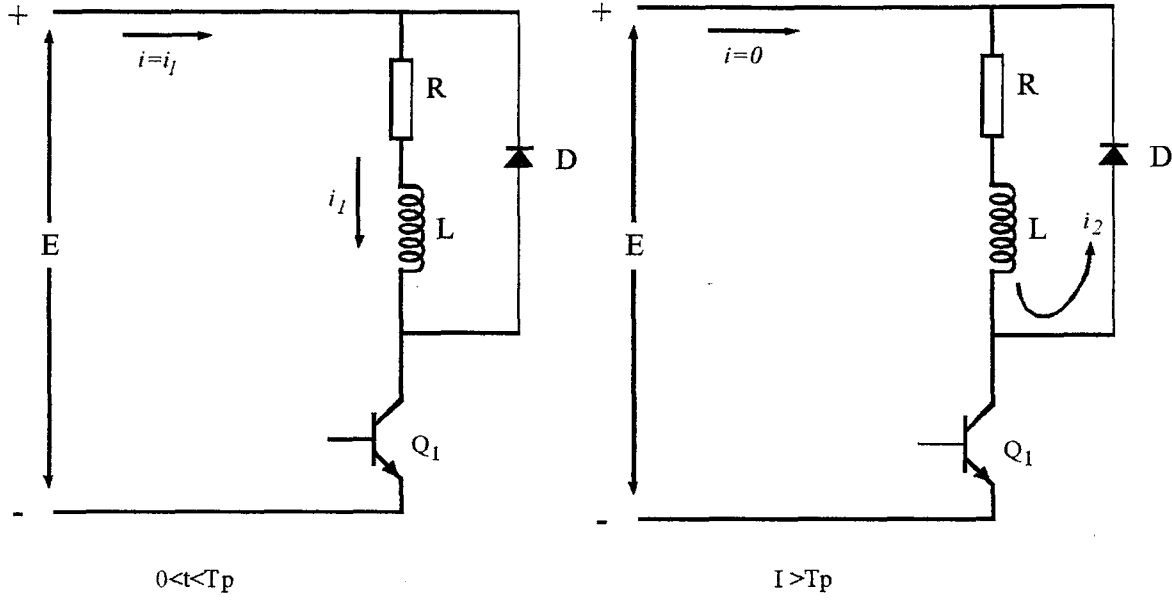
Şekil 29. Tek kutuplu sargılar ve kontrolü

#### 1.4.14. Adım Motoru Sürücü Devreleri

Şekil 30 (a)'da tek sargı için adım motoru sürücü devresi görülmektedir. Fazın enerjisi kesildiğinde akımın akış yönü Şekil 30 (b)'de gösterilmiştir. Bu devre temel söndürme devresidir. Fazdaki bobin nedeniyle oluşan manyetik enerji, bir diyot üzerinden direnç üzerinde harcanmaktadır. Şekil 30 (c)'de adım motoru için ideal akım dalga şekli gösterilmiştir. Şekil 30 (d)'de ise gerçek akım dalga şekli gösterilmiştir. Endüktansın dolma ve boşalma etkisinden dolayı akım üssel bir şekilde artıp, azalmaktadır. Gerçek akım dalga şekli, ideal darbe gerilimi ile karşılaştırıldığında iki önemli sonuç ortaya çıkar:

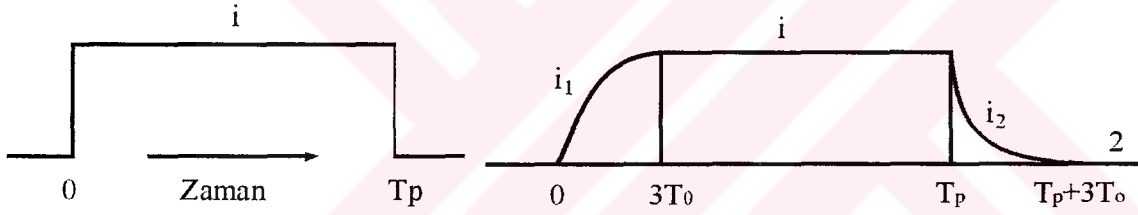
1. Transistör tetiklendiği zaman, akım son alacağı değere (yük akımı) aniden yüksellemediği için adım motorunun üreteceği başlangıç momenti normalden daha küçük olacaktır.
2. Transistör kesime girdiği zaman devreden Şekil 30 (b)'de görüldüğü gibi  $i_2$  akımı akar. Bunun sonucunda darbenin etkin periyodu  $T_p$ 'den  $T_p+3T_0$  değerine uzayacaktır. Bu enerjinin bir sargıdan diğerine geçişte ideal durum göz önüne alındığında cevap süresi bu kadar kısa değildir. Böylece mümkün olan en kısa darbe uzunluğu, akımın darbe değerine yükselme zamanı ( $3T_0$ ) ile akımın darbe değerinin sıfıra düşme zamanı ( $3T_0$ )'ın toplamı  $6T_0$  (saniye) olacaktır. Şekil 30 (e)'de bu durum görülmektedir.





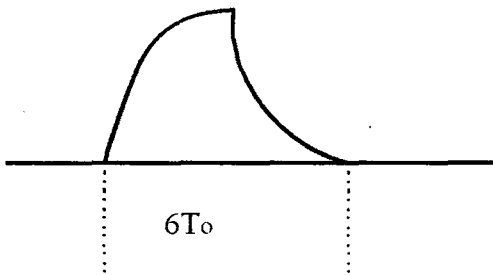
(a) Bir sargının kaynağa bağlantısı

(b) Transistör kesimde iken akımın yönü



(c) İdeal akım dalga şekli

(d) Gerçek akım dalga şekli

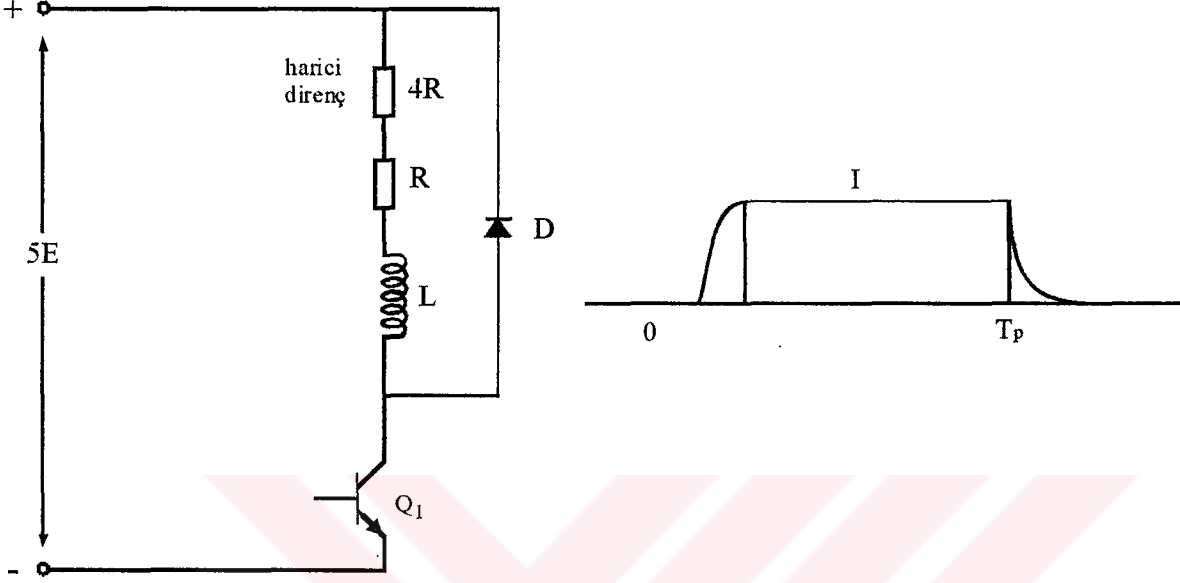


(e) Mümkün olan en kısa akım dalga şekli

Şekil 30. Bir sargının kontrolü ve akım dalga şekilleri

Adım oranı artırmanın başka bir yolu da zaman sabiti ( $T_0$ ) değerini azaltmaktır. Motor sargısına harici bir direnç eklenerek ve aynı zamanda DA gerilim değerini aynı

oranda artırarak bu işlem gerçekleştirilebilir. Böyle bir düzenleme Şekil 31'de gösterilmektedir. Harici direnç değeri sargı direncinin 4 katıdır. DA gerilim değeri E'den 5E'ye yükseltilmektedir.



Şekil 31. Adım motoru zaman ayarlama devresi ve akımın dalga şekli

Böylece zaman sabiti  $T_0=L/R$ 'den;

$$T_0 = L/(R + 4R) = L/5R \quad (16)$$

değerine indirilmektedir. Bundan dolayı, adım oranı 5 kat artırılabilirken, motor akımı aynı kalmış olur. Bu yöntemin iki temel sakıncası vardır:

1. Güç kaynağı 5E değerine sahip olacak ve daha fazla güç (5EI) aktarılacaktır.
2. Harici dirençte büyük kayıplar ( $4RI^2$ ) meydana gelecek ve verim düşecektir.

Küçük güçlü (bir kaç watt) adım motorlarında bu durum çok önemli olmazken 100W gibi güçlü motorlarda ise bu yöntem yerine başka bir çözüm yolu tercih edilmelidir.



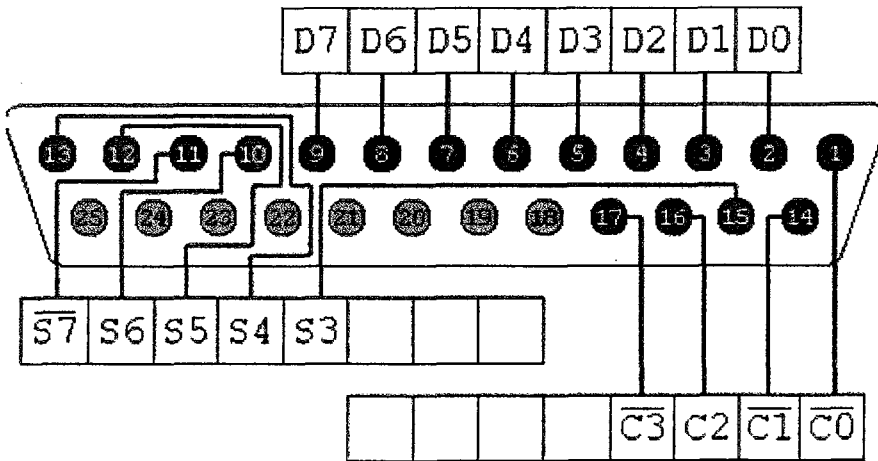
Benzer şekilde farklı uygulamalarda akımın yetmediği durumlarda darlington sürücü devresi gibi devrelerde kullanılabilir. Bunun dışında özel olarak tasarlanmış adım motoru sürücü devreleri de bulunmaktadır [10].

## 1.5. Paralel Port

### 1.5.1. Giriş

Kökene itibariyle basit bir yazıcı arabirimi olan PC (Personal Computer = Kişisel Bilgisayar) paralel portu zamanla, bilgisayara bağlamak istenilen her hangi bir şeyin takılabileceği bir giriş (plug-in) haline gelmiştir. Paralel portun yaygın olmasının nedeni hem çok yönlü olması hem de; giriş, çıkış ve çift yönlü bağlantılarda kullanabilmesidir. Her PC'de en az bir tane bulunur.

Porta bağlanan cihazların en yaygın olanları yazıcılardır. Bununla birlikte harici teypler, disk sürücüler ve tarayıcılarda popüler cihazlar arasındadır. Dizüstü bilgisayarlarında paralel port bazlı şebeke arabirimi yada joystick kullanması mümkündür. Öte yandan, veri toplamaya, testlere ve kontrol sistemlerine yönelik düzinelerce paralel port cihazı söz konusudur. Yine paralel port, bilgisayarla harici cihaz arasında iletişim gerektiren çok sayıda küçük çaplı ve tek amaçlı projeler için tercih edilebilecek arabirimlerden birisidir [9].



Şekil 32. Paralel Port

Orijinal PC paralel portunda sekiz çıkış, beş giriş ve iki yönlü dört hat mevcuttur. Aslında bu hatlar çeşitli tiplerdeki çevre birimleriyle iletişim açısından yeterlidir. Fakat yeni PC'lerin bir çoğunda, bu sekiz çıkış hattı tarayıcılarla, sürücülerle ve PC'ye veri gönderen diğer cihazlarla iletişimi hızlandırmak için giriş hattı olarak da kullanılabilir.

Çoğu port sinyalinin (PaperEnd, AutoLineFeed) orijinal isminden de anlaşılacağı gibi paralel port, başlangıçta yazıcı portu olarak tasarlanmıştır. Günümüzde porta bağlanan çok sayıda cihaz bulunmaktadır. Bu nedenle, içinde yazıcılarla birlikte tarayıcı, modem ve diğerlerinin de bulunduğu PC'ye takılan cihazlar kategorisini ifade etmek üzere *çevre birimi* sözcüğü kullanılmaktadır.

Tablo 6. Paralel port sinyalleri

Pin No (D tip 25)	PinNo (Centronics)	SPP İşareti	Yön (Giriş / Çıkış)	Yazmaç	Donanımda Terslenmiş
1	1	nStrobe	Giriş / Çıkış	Kontrol	Evet
2	2	Data0	Çıkış	Veri	
3	3	Data1	Çıkış	Veri	
4	4	Data2	Çıkış	Veri	
5	5	Data3	Çıkış	Veri	
6	6	Data4	Çıkış	Veri	
7	7	Data5	Çıkış	Veri	
8	8	Data6	Çıkış	Veri	
9	9	Data7	Çıkış	Veri	
10	10	nAck	Giriş	Durum	
11	11	Busy	Giriş	Durum	Evet
12	12	Paper-Out PaperEnd	Giriş	Durum	
13	13	Select	Giriş	Durum	
14	14	nAuto- Linefeed	Giriş / Çıkış	Kontrol	Evet
15	32	nError/nFault	Giriş	Durum	
16	31	nInitialize	Giriş / Çıkış	Kontrol	
17	36	nSelect- Printer nSelect-In	Giriş / Çıkış	Kontrol	Evet
18-25	19-30	Ground	Toprak		

Bir PC'de bulunan her bir paralel port, 3 tane port adrese sahiptir. Bu adreslere karşı gelen portlar: Veri (data), durum (status) ve kontrol (kontrol) portlarıdır. Veri portunun

adresi taban, yani ilk adres olup diğerleri bu adrese göre sıralanır. Örneğin, eğer bir bilgisayarda paralel portun ve dolayısıyla veri portunun adresi 378h ise, ilgili durum portu 379h'da ve kontrol portu 37Ah'dır. Tablo 7, PC paralel port adres atamalarını göstermektedir. Tabloda R/W sembolü portun okunup yazılabileceğini göstermektedir. Durum portu sadece okunabilmektedir.

Tablo 7. Paralel portlar ve adresleri

Printer	Veri Portu (O/Y)	Durum Portu (O)	Kontrol Portu (O/Y)
LPT1	0x03BC	0x03BD	0x03BE
LPT2	0x0378	0x0379	0x037A
LPT3	0x0278	0x0279	0x027A

Bilgisayar ilk açıldığında, işletim sistemi, bilgisayar portlarının sayısını belirler ve bu cihazlara LPT1, LPT2 ve LPT3 sembollerini atar. İşletim sistemi (BIOS) ilk önce 3BCh adresine bakar. Eğer burada bir paralel port bulunur ise, LPT1'i bu porta atar. Daha sonra, 378h adresini arar. Eğer bu adreste bir paralel cihaz bulunur ise, bir sonraki kullanılabilir cihaz sembolünü atar. Eğer daha önce 3BCh adresinde port bulunmamış ise portun ismi LPT1, bulunmuş ise LPT2 olur. En son port aramadaki adres 278h aynı şekilde belirlenir. Bu yüzden LPT2, beklenen adresi 278h yerine 378h adresinde de bulunabilir.

Herhangi bir LPT portuna BIOS tarafından atanmış adresi öğrenmek için BIOS tarafından belirlenen Tablo 8'de görülen adres tablosu kullanılabilir. Her bir yazıcı için hafızada belli bir alan kullanılır [12].

Tablo 8. BIOS veri alanındaki LPT Adresleri

Başlangıç Adresi	Fonksiyonu
0000:0408	LPT1'in taban adresi
0000:040A	LPT2'nin taban adresi
0000:040C	LPT3'ün taban adresi

### 1.5.2. Port Türleri

PC tasarımındaki evrime bağlı olarak, paralel portun gelişmiş versiyonları da devreye girmiştir. Yeni port türleri orijinal tasarımla uyumlu olmakla birlikte, başta hız olmak üzere yeni yetenekler kazanmışlardır.

Bilgisayarların ve çevre birimlerinin hızları arttıkça gördükleri işler karmaşıklaşmış, alışveriş yapmaları için gereken bilginin miktarı büyümüştür. Bu durum hızın önemini ortaya koymaktadır. Nitekim, paralel port ilke tasarımıyla, ASCII karakterleri temsil eden byte'ları nokta vuruşlu yazıcıya göndermek yönünden yeterince süratliyken, yeni yazıcılar, içinde farklı fontların, detaylı ve çoğu kez renkli grafiklerin yer aldığı bir sayfayı basabilmek için çok daha fazla bilgiye ihtiyaç duyarlar. Bir bilgisayarın bilgi iletim hızı ne kadar yüksekse, yazıcının bilgiyi işleyerek baskıyı sonuçlandırması da o kadar çabuk olmaktadır.

Hızlı bir arabirim, çevre birimlerinin harici ve taşınabilir olmasını da mümkün kılmaktadır. Çünkü, aksi takdirde bunların bilgisayarın içinde kurulması gerekir. Paralel porta bağlanan bir teybin yada disk sürücüsünün bir sistemden alınıp diğerine taşınması kolaydır. Yine örneğin bir yedekleme gereği doğduğunda, böyle bir birimi farklı sistemlerde kullanmak mümkündür. Ancak bu durumda, yüzlerce megabyte'lık bir kopyalama işlemini gerçekleştirebilmek için arabirimin yeterince hızlı olması gerekmektedir.

Paralel port türlerini şöyle sıralayabiliriz:

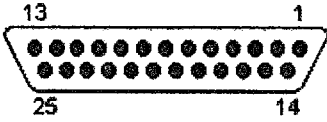
- Orijinal (SPP)
- PS/2-tip (basit iki yönlü)
- EPP
- ECP

#### 1.5.2.1. Orijinal (SPP)

Orijinal IBM PC'deki paralel port ve bu anlamda orijinal tasarımla benzeşen herhangi bir port standart paralel port yada kısaca SPP (Standart Paralel Port – Standart Paralel Port) olarak adlandırılır. Bu porta ilişkin IBM PC belgeleri ve şematik diyagramlar dışında yazılı hiçbir standart yoktur. AT-tip veya ISA uyumlu olarak da adlandırılmaktadır.

Orijinal PC'deki portun esası Centronics yazıcı arabirimine dayanmaktadır. Bununla birlikte PC'ler, diğer sistemlerce de sürdürülen bazı farklılıklar getirmektedirler.

SPP, Centronics arabiriminde kullanılan protokolün benzerini kullanarak, çevre birimine bir defada 8-bit transfer yapabilir. SPP'nin byte çaplı giriş portu yoktur. Ancak PC'den çevre birimine transferde, bir kerede her bir byte'ı 4-bit transfer eden bir Nibble modunu kullanabilmektedir.



Şekil 33. PC'deki 25 pin D-SUB dişi konnektör

#### 1.5.2.2. PS/2-Tip (Basit İki Yönlü)

Paralel portta ilk gelişme, IBM'in PS/2 modelinde sunulan ve çevrebiriminden PC'ye bir defada 8-bit transferi mümkün kılan iki yönlü veri portu olmuştur. Nitekim PS/2 tip terimi, iki yönlü veri portu olan, ancak aşağıda anlatılan EPP ve ECP modlarını desteklemeyen herhangi bir paralel porta gönderme yapmaktadır. PS/2 tip portların çevrebiriminden PC'ye veri transferinde kullandığı 8-bit veri transfer protokolüne *byte mod* denilmektedir.

#### 1.5.2.3. EPP

EPP (Enhanced Parallel Port - Yükseltilmiş Paralel Port) ilk olarak yonga üreticisi Intel, PC imalatçısı Zenith ve paralel port ağı ürünleri imalatçısı Xircom tarafından geliştirilmiştir. Burada PS/2 tip portta olduğu gibi, veri hatları iki yönlüdür. Bir EPP, bir SPP yada PS/2 porttaki dört çevrime kıyasla, el sıkışma da dahil, yaklaşık bir mikro saniyede, ISA genişleme yolunun bir çevriminde bir byte veriyi okuyabilir veya yazabilir. EPP, yönleri çabucak çevirebilir. Bu yönüyle disk, teyp sürücüler ve her iki yönde veri transfer eden diğer cihazlarla kullanıldığında son derece etkilidir. Öte yandan bir EPP, SPP yerine kullanılabilirken, bazen PS/2 tip port yerine de kullanılabilir.

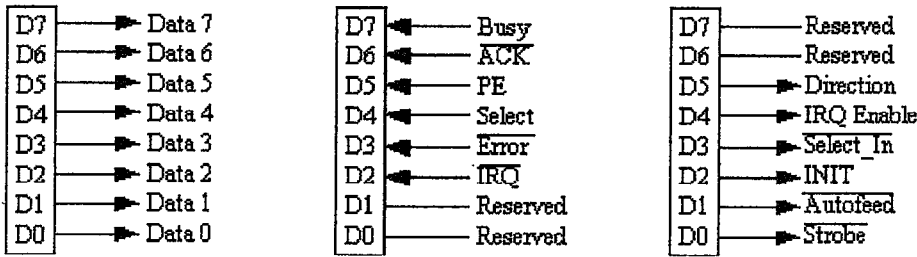
### 1.5.2.4. ECP

ECP (Extended Capabilities Port - Yetenekleri Artırılmış Port) ilk kez Hewlett Packard ve Microsoft tarafından gündeme getirilmiştir. ECP de EPP gibi iki yönlüdür ve ISA bus hızlarında veri transfer edebilir. ECP'lerin tamponları (buffer) olup, DMA (Direct Memory Access - Doğrudan Belleğe Erişim) transferleri ve veri sıkıştırılmayı desteklemektedir. Bunlar, özellikle büyük çaplı bilgi transfer eden yazıcılarda, tarayıcılarda ve diğer çevrebirimlerinde çok işe yaramaktadır. Yine bir ECP, bir SPP yada PS/2 tip port yerine kullanılabilir. Ayrıca ECP'lerin bir çoğu, EPP yerine de kullanılabilir.

### 1.5.3. Portlara Erişim

Paralel portta veri alıp göndermek için portların ve yazmaçların durumunun her an bilinmesi gerekir. Paralel portta 3 çeşit yazmaç vardır. Bu yazmaçlardaki bitlere doğru değerleri vererek portları yapılandırılabilir. Paralel port aşağıdaki yazmaçları içerir:

- Veri yazmacı
- Durum yazmacı
- Kontrol yazmacı



(a) Veri yazmacı

(b) Durum yazmacı

(c) Kontrol yazmacı

Şekil 34. Paralel port yazmaçları [12].

### 1.5.3.1. Centronics Kökler

Orijinal Centronics arabiriminin 36 hattı vardır. Nitekim çoğu yazıcı bu 36 yuvalı konnektörü kullanmaktadır. Ancak PC’de 25 bacaklı bir konnektör bulunur. Bunun sebebi, muhtemelen genişleme kartının arkasındaki bir başka konnektöre yer açmaktır.

25 bacaklı konnektörün 36 yuvayı karşılayamayacağı açıktır. Bazı toprak (ground) bacaklarla birlikte kimi zorunlu olmayan kontrol sinyalleri dışlanmıştır. Aynı zamanda PC, bir takım yuvalara yeni işlevler tahsis etmiştir. Tablo 9, PC arabirimiyle orijinal Centronics’deki sinyaller arasındaki bu farkları sergilemektedir.

Tablo 9. PC arabirimiyle orijinal Centronics arabirimi arasındaki farklar

Pin (Centronics)	Orijinal Fonksiyonu	Yeni (PC) Fonksiyonu
14	Signal ground	nAutoLF
15	Oscillator out	No connection
16	Signal ground	No connection
17	Chassis ground	No connection
18	+5V	No connection
33	Light detect	Ground return for nSelectIn
34	Line count	No connection
35	Ground return for line count	No connection
36	Reserved	nSelectIn

### 1.5.3.2. Veri Yazmacı

Veri portu yada Veri yazmacı (D0-D7) veri çıkışına yazılan byte’ları tutar. İki yönlü veri portlarında, port giriş için yapılandırıldığında, Veri yazmacı konnektörün veri bacaklarında okuduğu byte’ı tutar.

Tablo 10. Veri Portu

Adres	İsim	Okuma/Yazma	Bit Numarası	Özellik
Taban+0	Veri Portu	Okuma/Yazma	Bit 7	Data 7 (Pin 9)
			Bit 6	Data 6 (Pin 8)
			Bit 5	Data 5 (Pin 7)
			Bit 4	Data 4 (Pin 6)
			Bit 3	Data 3 (Pin 5)
			Bit 2	Data 2 (Pin 4)
			Bit 1	Data 1 (Pin 3)
			Bit 0	Data 0 (Pin 2)

### 1.5.3.3. Durum Yazmacı

Durum portu yada Durum yazmacı S3- $\overline{S7}$  arasındaki beş girişin lojik durumlarını tutar. S0-S2 aralığındaki bitler konnektörde görünmez. Durum yazmacı salt okunurdur. Ancak S0 farklıdır. Bu bit, EPP transferleri destekleyen portlarda süre aşımı bayrağı (timeout flag) işlevi görür ve yazılımla temizlenebilir. Çoğu portta, durum girişlerinin çekme (pull-up) dirençleri vardır. Durum bitleri olağan kullanımda şu işlevleri görürler:

**S0 (Süreaşımı (Timeout)):** Bu bit, bir EPP veri transferinin bir süre aşımını işaret etmek üzere yükselir. Aksi taktirde kullanılmaz. Konnektörde görünmez.

**S1 :** Kullanılmaz.

**S2 :** Genelde kullanılmaz. Bitin, paralel portun kesme durumunu (IRQ) gösterdiği az sayıdaki bazı portlarda kullanılmaktadır.

**S3 (nError veya nFault):** Yazıcı, bir hata tespit ettiğinde düşüktür.

**S4 (Select):** Yazıcı devredeyken, yani veri girişleri etkin durumdayken yüksektir.

**S5 (Kağıt sonu PaperEnd, PaperEmpty yada PError):** Yazıcıda kağıt bittiği zaman yüksek olur.

**S6 (nAck veya nAcknowledge):** Yazıcı, bir byte'lık bilgi aldığı anda düşük darbe sinyali gönderir. Kesmeler etkin durumda iken bu bacadaki bir seviye geçişi (genelde yükselen kenar) bir kesmeyi tetikler.



**S7 (Meşgul (Busy)):** Yazıcının yeni veri kabul edememesi durumunda düşük olur. Konnektörde tersinir.

Tablo 11. Durum Portu

Adres	İsim	Okuma/Yazma	Bit Numarası	Özellik
Taban+1	Durum Portu	Okuma	Bit 7	Busy
			Bit 6	Ack
			Bit 5	Paper Out
			Bit 4	Select in
			Bit 3	Error
			Bit 2	IRQ (Not)
			Bit 1	Reserved
			Bit 0	Reserved

#### 1.5.3.4. Kontrol Yazmacı

Kontrol portu yada Kontrol yazmacı,  $\overline{C0} - \overline{C3}$  aralığındaki bitlerin durumlarını tutar. Normalde bu bitler çıkışlarda kullanılır. Bununla birlikte SPP'lerin çoğunda kontrol bitleri açık-kollektör yada açık direndirler. Dolayısıyla giriş olarak da iş görebilirler. Bir kontrol bitindeki dışsal bir lojik sinyali okumak için, uygun çıkışa 1 yazar, sonrada yazmaç biti okunur. Ne varki EPP ve ECP modları destekleyen çoğu portlarda, yön değişim (switching) hızını artırmak amacıyla, kontrol yazmacı çıkışları çekmeli-itmeli tipler olup, giriş olarak kullanılamaz. Bazı çok modlu portların ileri modlarında kontrol bitlerinin çekmeli-itmeli çıkışları vardır. Ayrıca uyum amacıyla, bunlar SPP yerine kullanılırken, açık kollektör/açık diren çıkışlara çevrilebilirler. C4-C7 aralığındaki bitler konnektörde görünmezler. Olağan kullanımda kontrol bitlerinin işlevleri şunlardır:

**C0 (nStrobe):** Bu düşük yollu (low-going) atımın (pulse) yükselen kenarı yazıcıya, D0-D7 aralığını okuması sinyalini yollar. Konnektörde tersinir. Bilgisayarın açılışı sonrasında, normal olarak konnektörde yükselir.

**C1 (Auto LF (Otomatik Satır Besleme)):** Düşük bit, her bir Döndür (carriage return-ASCII 0Dh)'den sonra yazıcıya satır beslemeyi (ASCII 0Ah) otomatik olarak türetmesini söyler. Konnektörde tersinir. Normalde, açılış sonrasında konnektörde yükselir.

**C2 (nInit, n Initialize):** Yazıcıyı reset edip tamponu temizlemek için düştüğü darbelerdir. En küçük darbe genişliği 50 mikro saniyedir. Açılış sonrasında konnektörde yüksek olur.

**C3 (nSelectIn):** Veri girişlerini açması için yazıcıya yüksek gelir. Konnektörde tersinir. Normal olarak açılış sonrasında konnektörde düşük olur.

**C4 (Kesme isteklerini açar):** Kesme isteklerini nAck (S6)'dan bilgisayarın kesme kontrol devrelerine iletmesini sağlamak üzere yüksek gelir. Eğer C4 yüksek ve portun IRQ düzeyi kesme kontrolöründe açıksa, nAck'taki geçişler donanım kesme isteğine yol açacaktır. Konnektörde görünmez.

**C5 (Yön kontrolü):** İki yönlü portlarda, veri portunun yönünü set eder. Çıkış için 0 (veri çıkışları mümkün), giriş için 1 (veri çıkışları mümkün değil)'dir. Bu bitin etkili olması için, bir çok durumda, (PS/2 modunda) portun öncelikle iki yönlü kullanıma yönelik yapılandırılması gerekir. Konnektörde görünmez. SPP'lerde kullanılmaz.

**C6 :** Kullanılmaz.

**C7 :** Kullanılmaz (Normalde C5 tarafından yapılan yönlendirme işini üstlendiği az sayıdaki bazı portlar dışında).

Tablo 12. Kontrol Portu

Adres	İsim	Okuma/Yazma	Bit No	Özellik
Taban+2	Kontrol Portu	Okuma/Yazma	Bit 7	Unused
			Bit 6	Unused
			Bit 5	Enable bi-directional port
			Bit 4	Enable IRQ Via Ack Line
			Bit 3	Select Printer
			Bit 2	Initialize Printer (Reset)
			Bit 1	Auto Linefeed
			Bit 0	Strobe

### 1.5.5. Paralel Portun Programlanması

Pek çok programlama dilinde paralel port kontrol ve kumanda komutları mevcuttur. Bunun yanında assembly ile tüm programlama dillerinde paralel port programları yazılabilir.

#### 1.5.5.1. C

C dilinde bir paralel porta INP ve OUPP yada inportb ve outportb fonksiyonları ile erişmek mümkündür.

Porta bilgi gönderirken;

Outportb(DataAdress,0xGönderilecek değer);

Porttan bilgi alırken;

A=inportb(Data adres);

Komutları kullanılır.

#### 1.5.5.2. Assembly

Burada, porta erişimde mikroişlemcinin IN ve OUT komutları kullanılır.

Porta yazımda:

mov dx,378h ; portun adresini dx'e depola

mov al,AAh ; al'ye yazılana data'ya depola

out dx,al ; dx'deki port adresine al'nin içeriğini yaz.

Porttan okurken:

mov dx,379h ;port adresini dx'e depola

in al,dx ; porttaki bilginin içeriğini al'ye depola.

#### 1.5.5.3. Basic

Basic programlama dilinde porta bilgi yazmak için Out ve porttan bilgi okumak için Inp komutu kullanılır.

Porta yazımda;

OUT (&h378,&hAA) ; AA bilgisini porta yaz.

Porttan okurken;

PRINT HEX\$(INP (&H379)) ; Durum portundaki bilgi okunur.

#### 1.5.5.4. Pascal

Pascal programlama dilinde port fonksiyonu kullanılmaktadır.

Veri portuna yazım:

Port [378h]:=AAh

Durum portundan okuma:

Value:=port[379h]

#### 1.5.5.5. Delphi 2.0

Borland'ın Delphi Object Pascal derleyicisinin 32-bit versiyonunda port fonksiyonu yoktur. Ancak assembler kodlarıyla porta erişilebilir.

Veri portuna yazım:

```
asm
push dx
mov dx, $378
mov al, $AA
out dx, al
pop dx
end;
```

Durum portundan okuma:

```
var
ByteValue:byte;
asm
push dx
mov dx, $379
in al, dx
mov ByteValue, al
```

pop dx  
end [9];

## 1.6. Pozisyon Kontrolü

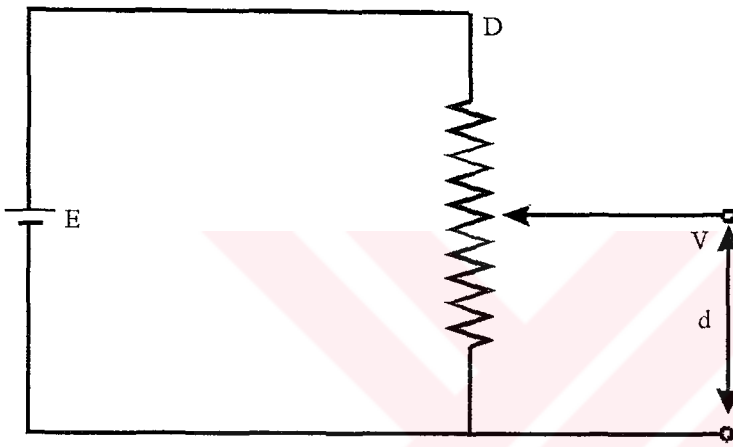
Fiziksel cisimlerin pozisyon ve yer değişimlerinin ölçümü çoğu uygulamalarda çok önemlidir. Örneğin geri besleme kontrol işlemi, performans ölçümü, ulaşımında trafik kontrolü, robot sistemleri, güvenlik sistemleri, vb. Pozisyonun anlamı seçilen bir referansa göre cismin koordinatlarının (doğrusal veya açısal) belirlenmesidir. Yer değişiminin anlamı belirli bir mesafede veya açıda bir pozisyondan diğer pozisyona harekettir. Kritik bir uzaklık-yakınlık algılayıcıları ile ölçülür. Aslında yakınlık anahtarı, pozisyon algılayıcısının bir eşik versiyonudur. Başka bir deyişle pozisyon algılayıcısı referans noktasından nesneye olan uzaklığı çıkış sinyali olarak gösteren doğrusal bir aygıttır. Yakınlık anahtarı ise nesneye olan uzaklık belli bir mesafeye geldiğinde bunu göstermek için çıkış sinyali veren biraz daha basit bir aygıttır. Örneğin robot kontrolünde çok basit fakat yüksek güvenilirlikte sınır anahtarı gibi yakınlık algılayıcıları kullanılır. Sınır anahtarı normalde açık ve/veya kapalı kontaklara sahip bir elektrik anahtarıdır. Fiziksel bir temas sonucu hareketli cisim, anahtarı çalıştırdığında kontrol devresine bir sinyal gönderilir. Sinyalin anlamı ise cismin son noktaya ulaştığını göstermektedir. Bu tip kontak anahtarlarının bazı sakıncaları vardır. Bu sakıncalardan bazıları hareketli nesne üzerindeki yüksek mekanik yük ve histerezisdir.

Bir yer değişim algılayıcısı daha karmaşık algılayıcıların bir parçası olabilir ve hareketin algılanması ise sinyal dönüşümündeki adımlardan birisidir. Buna örnek olarak bir kapasitif basınç algılayıcısı verilebilir. Burada basınç, diyaframın yer değişimine dönüşür ve daha sonra diyaframın yer değişimi de basıncı gösteren bir elektrik sinyaline dönüşür. Bundan dolayı pozisyon algılayıcıları diğer algılayıcıların tasarımında da önemli bir temel olmaktadır.

### 1.6.1. Potansiyometrik Algılayıcılar (Detektörler)

Bir pozisyon veya yer değişim dönüştürücüsü doğrusal veya döner bir potansiyometre ile yapılabilir. Bu algılayıcının çalışma prensibi direnç değişimine dayanır. Direnç değişimi

ise iletkenin doğrusal uzunluğu ile doğru orantılıdır. Böylece iletkenin uzunluğunu kontrol edecek bir aparat ile potta olduğu gibi yer değişiminin ölçümü yapılmış olur. Direnç ölçümü elektrik akımı gerektirdiği için potansiyometrik dönüştürücü modülasyonlu dönüştürücüler sınıfına girer. Şekil 35’de görüldüğü gibi potansiyometrenin hareketli kısmına bağlanan uyarıcı (yer değişimi) direnç değişimine neden olur. Pratik uygulamaların çoğunda direnç ölçümü yerine gerilim ölçümü kullanılır. Doğrusal potun hareketli kısmındaki V gerilimi d yer değişimi ile denklem 17’de görüldüğü gibi orantılıdır:



Şekil 35. Pozisyon algılayıcısı olarak bir potansiyometre

$$V = E \frac{d}{D} \quad (17)$$

Burada D tam skala yer değişimi ve E pot uçlarındaki uyarma gerilimidir. Burada arabirim devresinin yükleme etkisi dikkate alınmamıştır. Yük etkisinin büyük olduğu durumlarda çıkış geriliminin doğrusallığı bozulur. Ayrıca çıkış gerilimi uyarma gerilimi ile orantılı olduğundan sabit tutulmaması ise ayrıca bir hata kaynağıdır. Potun direnci formülde yer almadığından belirli bir sıcaklık aralığındaki kararlılığı doğruluğu etkilemez. Düşük güçlü uygulamalarda, yüksek empedanslı potların kullanılması istenilir ve bunun yanında yükleme etkisi daima dikkate alınır. Potun hareketli kısmı algılayıcı şafttan elektriksiz olarak yalıtılmıştır.

Potansiyometreler bazı uygulamalarda çok kullanışlı olmasına rağmen bazı sakıncaları vardır:

- Düşük hız
- Düşük çevresel kararlılık
- Cisim ile fiziksel bağlantı gerekliliği
- Mekanik yükün neden olduğu sürtünme
- Sıcaklığa bağlı olarak direncin değişmesi

### 1.6.2. Kapasitif Algılayıcılar

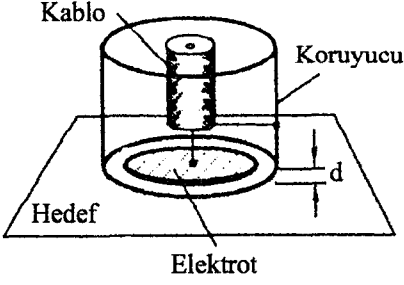
Kapasitif algılayıcılar; gauging kapasitif algılayıcılar ve orantılı yer değişim algılayıcısı olmak üzere 2 gruba ayrılırlar.

#### 1.6.2.1. Gauging (Ölçekleme) Kapasitif Algılayıcılar

Temel kapasite eşitliğine göre;

$$C = \epsilon \frac{A}{d} \quad (18)$$

olmaktadır. Burada;  $\epsilon$  dielektrik sabiti,  $d$  levhalar arası uzaklık ve  $A$  levhanın alanıdır. Bu bağıntı pozisyon, yer değişimi, ölçekleme ve diğer benzer parametrelerin ölçümü için kullanılabilir. Kapasitif, ölçek, yakınlık ve pozisyon algılayıcılarının çalışma prensibi kapasitenin değişimine (kapasitör levhaları arasındaki uzaklık) veya iletken veya dielektrik malzemelerin varlığındaki kapasite değişimine bağlıdır. Kapasitif algılayıcıların gerçekte bütün malzemeleri algılama özelliği, çoğu uygulamalarda bunları cazip hale getirmektedir. Topraklanmış metallerin algılanmasında bu algılayıcıların çalışma prensibi iletkenlerde meydana gelen fuko akımlarına dayanır ve tipik algılama uzaklığı 30 mm'ye kadardır. Diğer taraftan dielektrik malzemelerin algılanması dielektrik sabitine bağlı olarak daha kısa mesafeden yapılabilir. Örneğin cam 8-10 mm'den algılanabilirken polietilen ise sadece 2 mm'den algılanabilir. Bir kapasitif algılayıcının yapısı Şekil 36'da görülmektedir.



Şekil 36. Gauging kapasitif algılayıcının yapısı

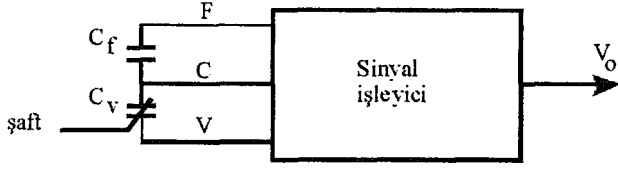
### 1.6.2.2. Orantılı Yer Değişim Algılayıcısı

Bir kapasitif yer değişim algılayıcısı biri sabit ve diğeri ise değişken iki kondansatör ile orantılı bir prensipte çalışır. Kapasite oranı (2,5 kHz'de ölçülen) nem dahil çevre şartlarındaki değişimden etkilenir. Çünkü her iki kondansatör aynı çevresel havaya maruz kalmaktadır ve dielektrik sabitlerinin birbirini takip etmesi gerekir. Bu durum, Şekil 37'de gösterilmiştir. Gerçek algılayıcı Şekil 38'de görüldüğü gibi silindire göre pozisyonları sabitlenmiş C, V ve F elektrotları ile silindirik bir gövdeden oluşur. Bir tüp dielektrik şaft, C ortak elektrotu ve V değişken elektrodu arasındaki kapasiteyi değiştirebilecek şekilde içeri ve dışarı hareket edebilmektedir. Hareketli şaft yer değişimi ölçülecek cisme tutturulmuştur. Çalışma prensibi çok basittir. Değişken  $C_v$  kapasitesinin değeri şaftın yer değişimine bağlıdır ve sabit değerli  $C_f$  kapasitesinin değeri ile karşılaştırılır ve bu iki değerin oranı bir elektrik devresi ile işlenir. Yer değişimi son olarak bir gerilim ile ifade edilerek uygun bir okuma aygıtında görüntülenir. Yer değişimi dönüştürücü devresinin çıkış gerilimi  $V_0$ ;

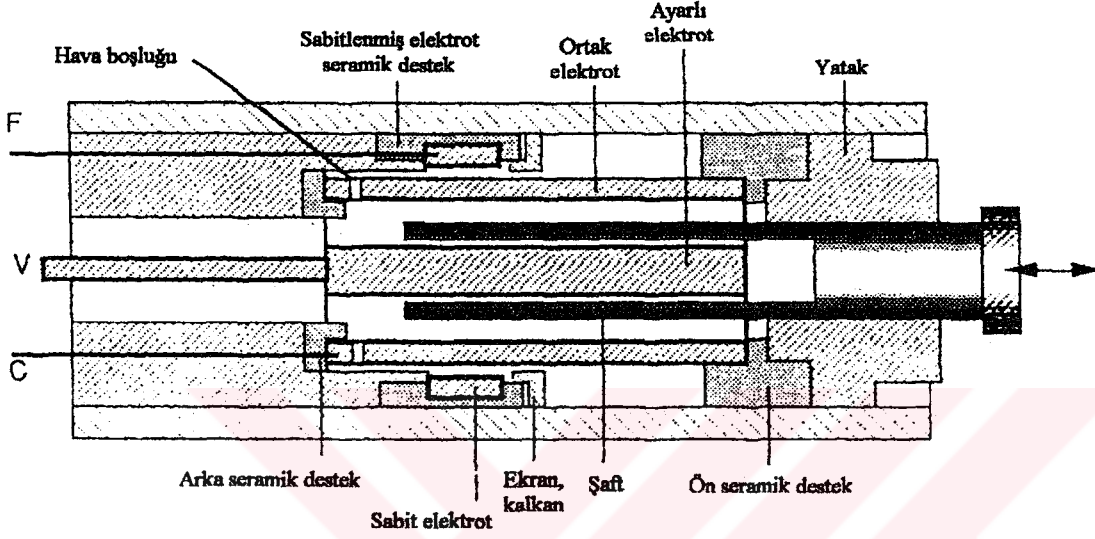
$$V_0 = KV_2 \left( \frac{C_v}{C_f} - 1 \right) \quad (19)$$

ile ifade edilir. Burada  $V_2$  sabit referans gerilimi ve K ise devrenin bilinen kazancıdır.



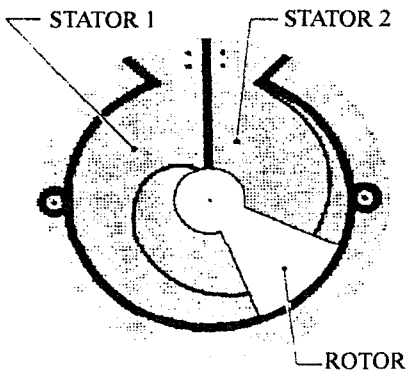


Şekil 37. Kapasitif pozisyon algılayıcının eşdeğer devresi



Şekil 38. Hareketli dielektrik şaftlı silindirik kapasitif algılayıcı

Bir kapasitif algılayıcı açısal pozisyon ölçümleri içinde kullanılabilir. Şekil 39'da bir diferansiyel kapasitör görülmektedir. Her stator levhası rotor levhasına göre bir kapasite oluşturmaktadır. Rotor, statorun levhalarına doğru hareket ettikçe kapasite doğrusal olarak değişir.



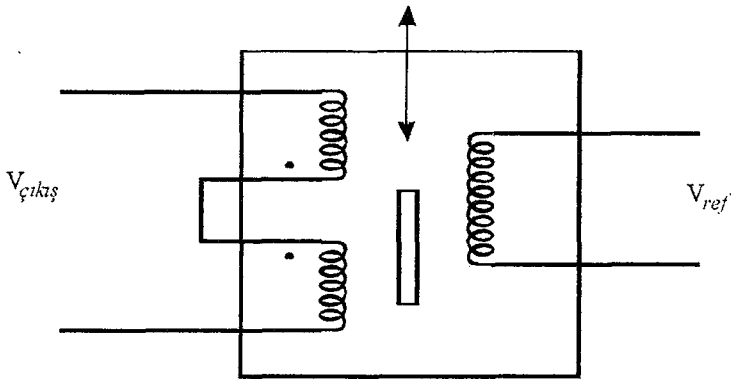
Şekil 39. Diferansiyel açısal kapasitif algılayıcı

### 1.6.3. Endüktif Algılayıcılar

Endüktif algılayıcılar, LVDT ve RVDT, enine endüktif algılayıcı, fırçasız absolut (mutlak) açı algılayıcısı ve girdap (eddy) akım algılayıcıları olmak üzere 4 gruba ayrılırlar.

#### 1.6.3.1. LVDT ve RVDT

Pozisyon ve yer değişimi elektromanyetik metotlar ile algılanabilir. İki sargı arasındaki manyetik akı kuplajı bir cismin hareketi ile değiştirilebilir ve akabinde gerilime dönüştürülür. Akı yolunun relüktansını (manyetik direnç) değiştiren mıknatıslanmayan, ferromanyetik ortam kullanan değişken endüktanslı algılayıcılar aynı zamanda değişken relüktanslı dönüştürücüler olarak da bilinir. Çoklu indüksiyonlu bir dönüştürücünün temel düzenlemesi primer ve sekonder olarak iki sargıdan oluşur. Primerdeki AC uyarma gerilimi ( $V_{ref}$ ) sekonder sargıda kararlı bir AC gerilimini Şekil 40'daki gibi endükler. Endüklenen gerilimin genliği sargılar arasındaki akı kuplajına bağlıdır. Kuplajı değiştirmenin iki tekniği vardır: Birisi akı yolu içerisinde ferromanyetik malzemeden yapılmış cismin hareketidir. Bu akı yolunun relüktansını değiştirir ve akabinde sargılar arasındaki kuplajı değiştirir. Bu teknik LVDT (Linear Variable Differential Transformer = Doğrusal Değişken Fark Transformatörü), RVDT (Rotating Variable Differential Transformer = Döner Değişken Fark Transformatörü) ve ortak endüktanslı yakınlık algılayıcılarının çalışmasının temelidir. Diğer metot ise bir sargıya göre diğer sargının fiziksel hareketidir.



Şekil 40. Endüktif algılayıcının devre şekli

LVDT mekanik olarak hareketlendirilmiş nüvesi ile bir transformatördür. Primer sargısına kararlı genlikte sinüsoidal işaret uygulanır. Sinüsoidal işaret transformatörde harmonikler ile ilgili hataları ortadan kaldırır. Sekonder sargılarında bir AC sinyal endüklenir. Ferromanyetik malzemeden yapılmış bir nüve sargılara fiziksel olarak dokunmadan sargıların içindeki silindirik bölgeye yerleştirilir. İki sekonder birbirine ters fazda bağlanmıştır. Nüve, transformatörün manyetik merkezinde olduğunda sekonder çıkışları birbirini götürür ve çıkış gerilimi yoktur. Nüvenin manyetik merkez pozisyonundan uzaklaştırılmasıyla sekonder sargıları arasındaki endüklenen manyetik akı oranının dengesi bozulur ve bir çıkış gerilimi meydana gelir. Nüve hareket ettikçe akı yolunun direnci değişir. Bu nedenle akı kuplajının derecesi nüvenin ekstenel pozisyonuna bağlıdır. Kararlı durumda, nüvenin yer değişimine göre doğrusal çalışma bölgesinde indüklenen gerilimin genliği orantılıdır. Sonuçta gerilim yer değişiminin bir ölçüsü olarak kullanılabilir. LVDT yer değişiminin büyüklüğü yanında yönünü de verebilmektedir. Yön, primer (referans) gerilimi ile sekonder gerilimi arasındaki faz açısı ile belirlenir. Primere uygulanan uyarma gerilimi kararlı bir osilatör ile üretilir. LVDT ve RVDT'nin avantajları aşağıdaki gibidir:

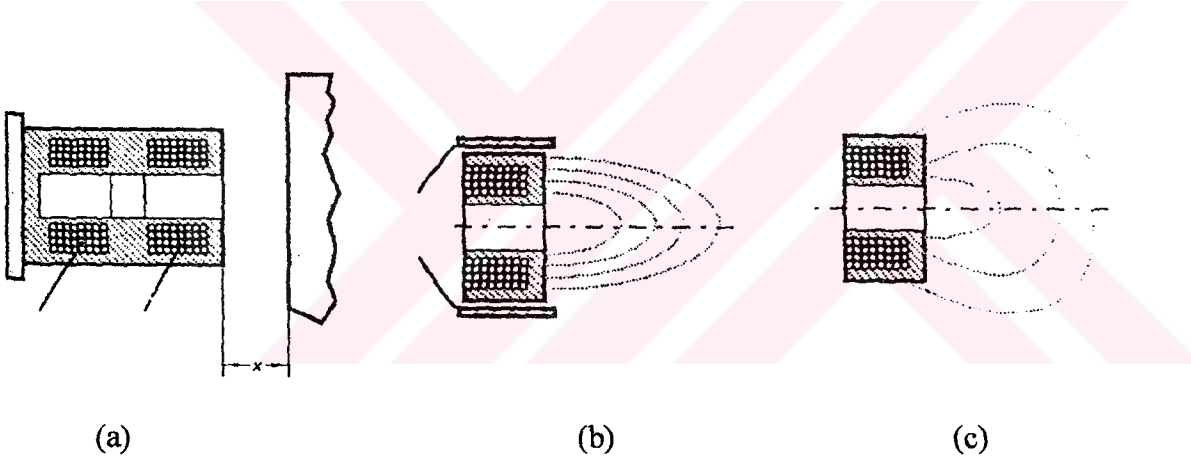
- Algılayıcı çok az sürtünme direnci ile kontaklı bir aygittir.
- Manyetik ve mekanik histerezis ihmal edilebilir.
- Çıkış direnci çok düşüktür.
- Gürültü ve parazitlere karşı duyarlılığı azdır.
- Sonsuz kademedede çözünürlük mümkündür.

LVDT algılayıcısının kullanışlı uygulama yerlerinden birisi de aygıtların kalite kontrolü ve ölçkleme aygıtı olarak kullanılmasıdır. Bu durumda LVDT nüvesine ölçme başlığının önceden ayarlanmış referans pozisyonuna gelebilmesi için bir yay monte edilmiştir.

RVDT, LVDT ile aynı prensipte çalışır. Tek farkı döner ferromanyetik nüve kullanılmasıdır. RVDT'nin öncelikli kullanıma yeri açısal yer değişiminin ölçümüdür. Ölçümün doğrusal aralığı %1 civarında lineersizlik hatası ise  $\pm 40''$  dir.

### 1.6.3.2. Girdap Akım Algılayıcıları

Manyetik olmayan iletken malzemelerin yakınlığının algılanmasında Şekil 41 (a)'da görüldüğü gibi çift sargılı bir algılayıcıda girdap akımları kullanılır. Sargıların birisi referans olarak diğer sargı ise iletken cisimde endüklenen manyetik akımların algılanılmasında kullanılır. Girdap (dairese) akımları algılama sargısının tersi yönünde manyetik alan meydana getirir ve sonuçta referans sargısına göre bir dengesizlik oluşur. Cismin sargıya yakınlığı manyetik empedansta daha büyük bir değişim meydana getirir. Doğal olarak etkili bir çalışma için cismin kalınlığı derinlikten daha büyük olması gerekir. Bundan dolayı girdap algılayıcıları metalik film veya folyo cisimlerin algılanmasında kullanılmamalıdır. Genel olarak sargı empedansı ve cismin uzaklığı ( $x$ ), arasındaki ilişki doğrusal değildir ve sıcaklığa bağlıdır. Girdap akımı algılayıcılarının çalışma frekans aralığı 50 kHz ve 10 MHz arasındadır.



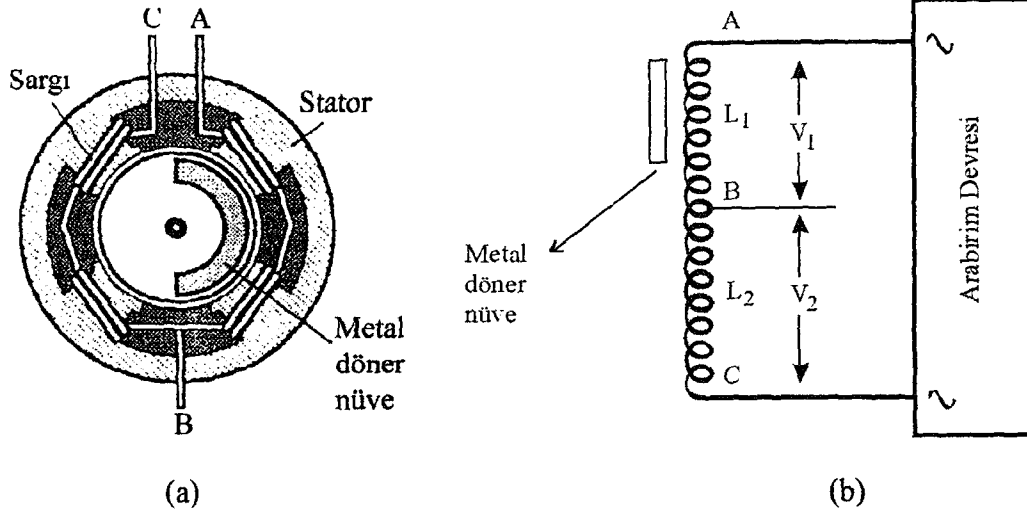
Şekil 41. Girdap akım algılayıcıları

Şekil 41 (a)'da elektromanyetik yaklaşım algılayıcısı görülmektedir. Şekil 41 (b) ve 41 (c)'de girdap algılayıcılarının ekranlı ve ekranlı olmayan iki konfigürasyonu görülmektedir. Ekranlı algılayıcının ferrit nüvesi ve sargısının etrafına bir metal koruyucu kaplanarak manyetik alan algılayıcının uç kısmına odaklanmıştır. Bu şekilde algılama uzaklığı etkilenmeksizin algılayıcının bir metal yapı içerisine konulması sağlanmaktadır. Ekransız algılayıcı ön tarafından olduğu gibi yanlardan da algılama yapabilir. Sonuç olarak ekransız algılayıcının algılama aralığı aynı çapta ekranlı algılayıcıya göre biraz daha büyüktür. Düzgün bir çalışma için ekransız algılayıcıların etrafında metal olmayan cisimlerin olması gerekir.

Pozisyon algılanmasına ek olarak girdap algılayıcıları malzeme kalınlığı, iletken olmayan kaplama kalınlığı, iletkenlik, kaplama kalınlığının ve malzemedeki çatlakların belirlenmesinde de kullanılır. Çatlak ve yüzey kusurlarının tespiti bu algılayıcılar için yaygın uygulama alanlarıdır. Uygulamalara bağlı olarak girdap problemlerinde farklı sargı konfigürasyonları olabilir. Bazıları çok küçük çaplarda (2-3 mm) olabildiği gibi diğerleri çok büyük (25 mm) çaplarda olabilmektedir. Girdap akımı algılayıcılarının en önemli avantajı çalışmaları için manyetik malzemelere gerek duymamalarıdır. Dolayısıyla yüksek sıcaklıklarda oldukça etkili olabilmekte ve iletken sıvıların seviye ve uzaklığının ölçülmesinde kullanılabilir. Bu algılayıcıların diğer bir avantajı da cisme mekanik olarak bağlanmalarının gerekmemesidir. Dolayısıyla yükleme etkileri çok düşüktür.

### 1.6.3.3. Fırçasız Absolut (Mutlak) Açılı Algılayıcısı

Fırçasız açının algılanması oto transformatör aygıtı meydana getirilerek değişken endüktansın etkisinin kullanılmasıyla mümkün olabilir. Bu aygıtın çalışma prensibi bazı yönlerden LVDT ve girdap akım algılayıcılarına benzemektedir. Şayet iki eşdeğer endüktans bir AC kaynağına seri bağlanırsa gerilimi eşit olarak paylaşacaklardır. Birinin endüktansı artırılırken diğeri azaltılırsa her iki sargıdaki gerilim eşitliği bozulacaktır. Şekil 42'de bu çalışma prensibi görülmektedir. Oto transformatör sargısı ferromanyetik statorun kutupları etrafına sarılmıştır. Sargının üç terminali vardır ve B terminali transformatörün orta ucunu göstermektedir. Şekil 42 (a)'da fırçasız endüktif algılayıcı stator sargılarındaki  $V_1$  ve  $V_2$  gerilimlerini karşılaştırarak dönüş açısını algılar. Şekil 42 (b)'de fırçasız absolut açılı algılayıcısının eşdeğer devresi görülmektedir.

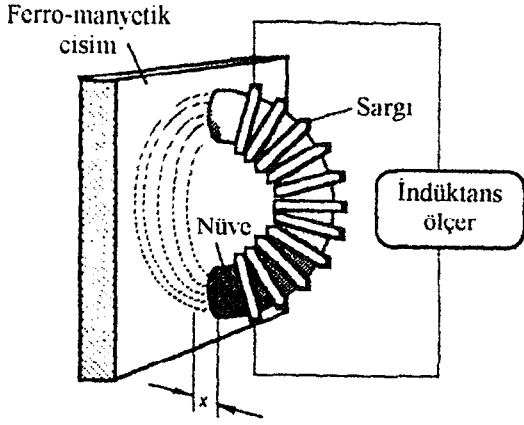


Şekil 42. Fırçasız mutlak açı algılayıcısı

Ferromanyetik statorlar manyetik akıyı halka biçimindeki hava aralığından geçirirler. Bu hava aralığındaki yarı dairesel ekran, bir giriş şaftı ile döndürülür. Bu ekranda indüklenen girdap akımları bir karşı akı üretir ve ekransız statorun endüktansına göre yakınındaki ekranlı kutupların endüktansını azaltır. Bu yüzden B orta ucu ve C terminali arasındaki  $V_2$  gerilimi şekilde görülen ekranın pozisyonu için A ve C besleme terminal uçları arasındaki gerilimin yarısından daha fazla olur. Şaftın dönüşü  $180^\circ$ 'lik aralık boyunca  $V_2$  geriliminde bir azalma ile düşük endüktans bölgesine giderek A-C bölgesini kaydıracaktır. İki gerilim arasındaki fark doğrusal değiştiğinden  $180^\circ$ 'ye kadar olan açılar ölçülebilmektedir. Transformatörden ek uçlar çıkartılarak  $360^\circ$ 'lik dönüş açısı çıkış gerilimine uygun elektronik devre işlemi yardımıyla ölçülebilir.

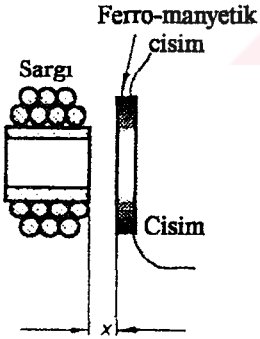
#### 1.6.3.4. Enine Endüktif Algılayıcı

Enine endüktif algılayıcı ferromanyetik malzemelerin çok büyük yer değişimlerinin algılanmasında kullanışlıdır. Algılayıcı, sargısındaki endüktansı değiştiren cisme olan uzaklığı ölçer. Sargı endüktansı, Şekil 43'deki harici bir elektronik devre ile ölçülür. Öz endüksiyon prensibi böyle bir dönüştürücünün çalışma prensibinin temelidir. Yakınlık algılayıcıları ferromanyetik cisimlerin yakınına hareket ettiğinde manyetik alan değişerek sargının endüktansı değişir. Algılayıcının avantajı, kontaklı bir aygıt olması ve cisimle etkileşiminin manyetik alan ile olmasıdır. Sınırlayıcı etken ise çok kısa uzaklıklardaki ferromanyetik cisimler için kullanışlı olmasıdır.



Şekil 43. Enine endüktif yaklaşım algılayıcısı

Enine dönüştürücünün düzenlenmiş bir versiyonu Şekil 44'de görülmektedir. Sadece ferromanyetik cisimlerin ölçülmesi sınırlamasını aşmak için sargının sabit pozisyonunda cisme ferromanyetik bir disk tutturulmuştur. Alternatif olarak sargı cisme tutturulabilir ve nüve sabit olabilir. Bu yakınlık algılayıcısı LVDT'ye göre doğrusallığın zayıf olduğu sadece küçük yer değişimlerinin ölçümleri için kullanışlıdır. Bununla beraber katı malzemeden yapılmış cismin yakınlığının algılanarak varlığının gösterilmesinde çok kullanışlı bir yakınlık algılayıcısıdır.



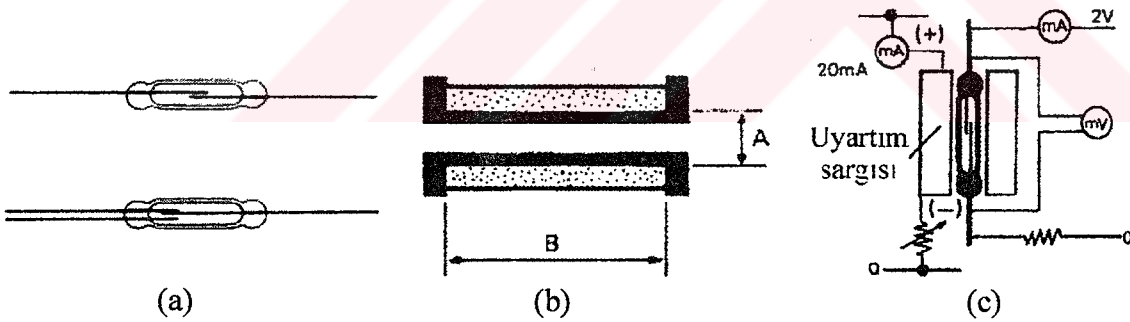
Şekil 44. Yardımcı bir disk ile enine algılayıcı

### 1.6.4. Manyetik Algılayıcılar

Manyetik algılayıcılar, reed anahtarları ve hall etkili algılayıcılar olmak üzere 2 gruba ayrılırlar.

#### 1.6.4.1. Reed Anahtarları

Manyetik yakınlık algılayıcılarının en basit olanlarından biri Şekil 45'de görüldüğü gibi bir reed anahtarı ve bir sabit mıknatıs veya elektromıknatıstan oluşmaktadır. Bir reed anahtarı, kapalı ve sızdırmaz bir çubuk içine yerleştirilmiş bir çift kontak olup manyetik akı ile aynı eksene konulduğunda kontakları kapanır. Tipik kullanma yerleri güvenlik sistemleridir. Kapının açılmasını ve kapanmasını gösterecek şekilde kapının bir köşesine monte edilirler. Reed anahtarları oldukça hızlıdır. Çalışma zamanları 1 ms'den az ve büyük değerde histerezise sahip olduklarından manyetik akıdaki küçük değişimlere karşı bağışlıkları vardır. Sabit mıknatıs anahtara 5 mm civarında yaklaştığında çalışırlar ve mıknatıs 10-15 mm uzaklaştığında kontakları serbest kalır.



Şekil 45. Reed anahtarı

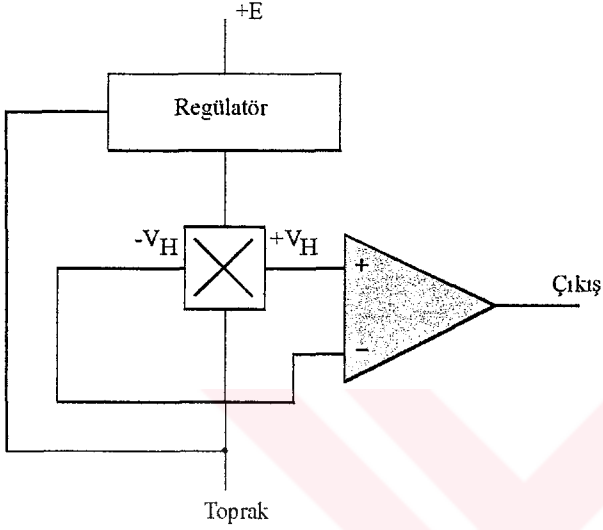
Şekil 45 (a)'da bir ve iki kontaklı reed anahtarı görülmektedir. Şekil 45 (b)'de uyarma sargısı ve (c)'de devre bağlantısı görülmektedir.

#### 1.6.4.2. Hall Etkili Algılayıcılar

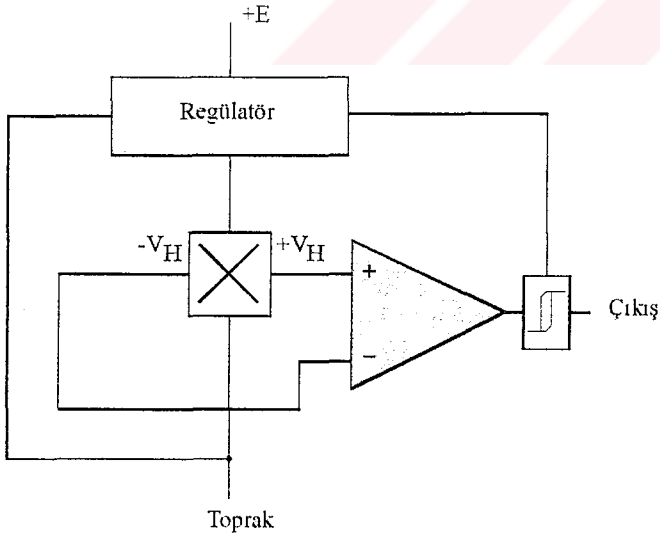
Bir hall levhası tipik olarak küçük, l uzunluğunda, w genişliğinde ve t kalınlığında ince bir metal veya yarı iletkendir. Hall algılayıcılarının iki tipi vardır: Bunlar doğrusal ve eşik



tipileridir. Devre diyagramları Şekil 46'da görülmektedir. Bir doğrusal algılayıcı kontrol devresi ile uygun etkileşim sağlanması için ekseriyetle içerisinde bir yükseltici yerleştirilmiştir. Geniş bir gerilim aralığında çalışırlar ve gürültülü çevrelerde daha kararlıdır. Bu algılayıcıların çıkış gerilimi manyetik alan yoğunluğuna göre çok doğrusal değildir. Bu yüzden hassas ölçümlerde kalibrasyon gerekir.



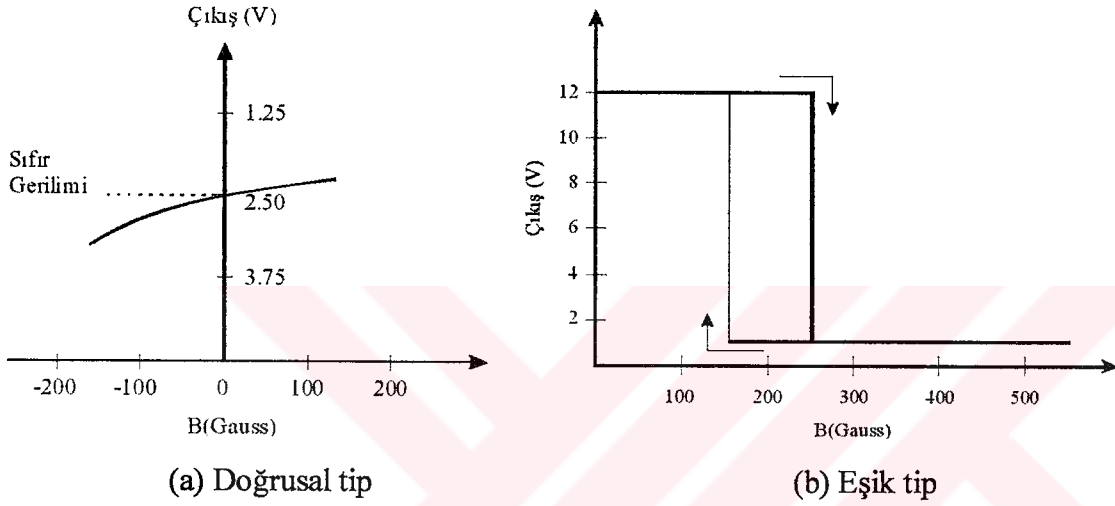
(a) Doğrusal tip



(b) Eşik tip

Şekil 46. Doğrusal ve eşik tipi hall etkili algılayıcıların devre diyagramı

Eşik tipi algılayıcılarda yükselticiden başka histerezisli schmitt tetikleyici vardır. Çıkış gerilimi Şekil 47’de görüldüğü gibi manyetik alan yoğunluğunun bir fonksiyonudur. Sinyal iki seviyelidir ve manyetik alana göre bir histerezis göstermektedir. Uygulanan manyetik alan yoğunluğu belli bir eşik gerilimini aştığında tetikleyici açık ve kapalı pozisyonları arasında bir geçiş sağlar. Histerezis bir ölü bölge oluşturarak sahte salınımları engeller ve eşik gerilimi değiştiği zaman anahtarlama durumu da değişir. Hall algılayıcıları tek parça çipler olarak yapılırlar ve epoksi veya seramik paketlere yerleştirilirler.



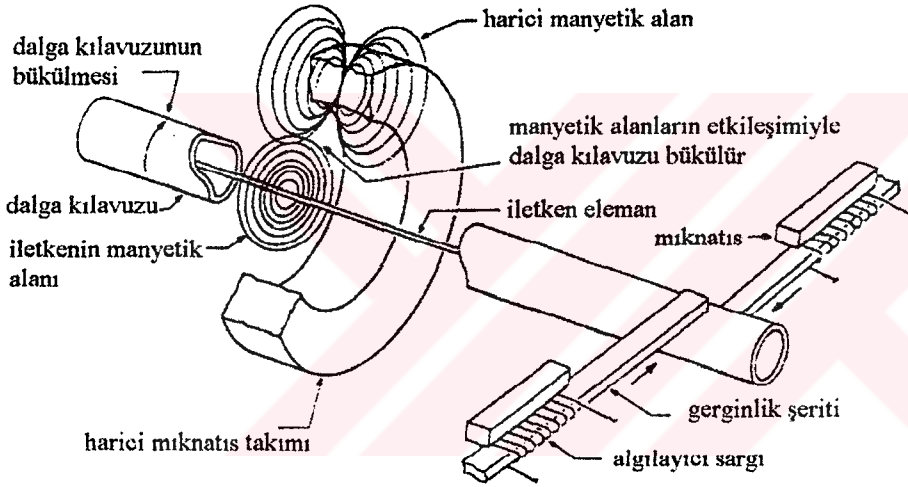
Şekil 47. Doğrusal ve eşik hall etkili algılayıcıların eğrileri

Pozisyon ve yer değişimi ölçmeleri için hall etkili algılayıcıların bir manyetik alan kaynağı ve bir arabirime sahip elektronik devre ile kullanılmaları gerekir. Bu karakteristik uygulama için manyetik alanın önemli iki özelliği, akı yoğunluğu ve polarite yönüdür. Daha iyi bir tepki için manyetik alan hatlarının algılayıcının düz yüzeyine dik (veya normal) ve doğru polaritede olması gerekir. Eşik versiyonlu algılayıcılarda üretime bağlı olarak güney kutbu, anahtarlama yaptırırken kuzey kutbu, bir etki yapmamakta veya bunun tersi olabilmektedir.

### 1.6.5. Manyeto-Striktif Algılayıcı

Uzun mesafelerdeki yer değişimlerini yüksek çözünürlükte ölçebilen bir dönüştürücü manyeto-striktif ve ultrasonik tekniklerin kullanılmasıyla yapılabilir. Dönüştürücünün önemli iki parçası vardır. Bunlar 7 m’ye kadar bir dalga kılavuzu ve sabit halka mıknatıstır.

Şekil 48’de bir manyeto-striktif algılayıcının yapısı görülmektedir. Sabit mıknatıs dalga kılavuzuna dokunmadan dalga kılavuzu boyunca hareket edebilmektedir. Bu mıknatısın bir pozisyonu bir uyarıcı olarak algılayıcı tarafından elektriksel sinyal çıkışına dönüştürülür. Dalga kılavuzunun içindeki iletkenine uygulanan elektrik darbesi iletken boyunca bir manyetik alan meydana getirir. Sabit mıknatısın manyetik alanı ise sadece etrafında mevcuttur. Böylece sabit mıknatısın bulunduğu noktada iki manyetik alan oluşmaktadır. İki alanın toplam bileşke alanı vektöriyel toplamdan bulunabilir. Sabit mıknatısın bulunduğu yerde dalga kılavuzunun etrafındaki bu helizoidal alan, dalga kılavuzunun çok küçük bir gerginliğine veya bükülmesine neden olur. Bu bükülme *Wiedemann Etkisi* olarak adlandırılır.



Şekil 48. Manyeto-striktif algılayıcının yapısı

Bu yüzden dalga kılavuzu içindeki koaksiyel iletkenine uygulanan elektrik darbeleri mekanik bükülme darbeleri meydana getirir ve malzemeye bağlı olarak dalga kılavuzu boyunca ses hızında yayılırlar. Bu darbeler, algılayıcının uyarıcı başına geldiği zaman gelişinin tam zamanı hassas olarak ölçülür. Böyle bir darbenin algılanmasının bir yolu ultrasonik titreşimi elektrik çıkışına dönüştüren bir algılayıcı kullanmaktır. Bu piezoelektrik algılayıcılar ile veya Şekil 48’de görüldüğü gibi manyetik relüktans algılayıcısı ile yapılabilir. Algılayıcı iki küçük mıknatısın yanına yerleştirilmiş küçük iki sargıdan oluşmaktadır. Sargılar dalga kılavuzuna fiziksel olarak bağlanmış olup dalga kılavuzu bükülmeye başladığı zaman yavaş yavaş çekilmeye başlarlar. Bu çekilme sargılarda kısa elektrik darbeleri meydana getirir. Koaksiyel iletkendeki uyarım darbeleri

ile bu darbeler arasındaki zaman gecikmesi halka mıknatısın pozisyonunun tam bir ölçüsüdür. Uygun bir elektrik devresi bu zaman gecikmesini dalga kılavuzunun üzerindeki mıknatısın pozisyonunu gösterecek şekilde sayısal sinyale dönüştürür. Bu algılayıcının avantajı doğrusallığının yüksek olması tekrar edilebilirliğinin iyi olması ve uzun dönem kararlılığıdır. Algılayıcı yüksek basınçlı, yüksek sıcaklıklı ve kuvvetli ışınım maruz ortamlara dayanıklıdır. Bu algılayıcının diğer bir avantajı ise düşük sıcaklık duyarlılığıdır. Bu algılayıcının uygulama yerleri hidrolik silindripler, enjeksiyon kalıp makinaları, madencilik, değirmenler, presler, döküm ocakları, asansör ve büyük boyutlarda hassas çözünürlüğün istenildiği yerlerdir.

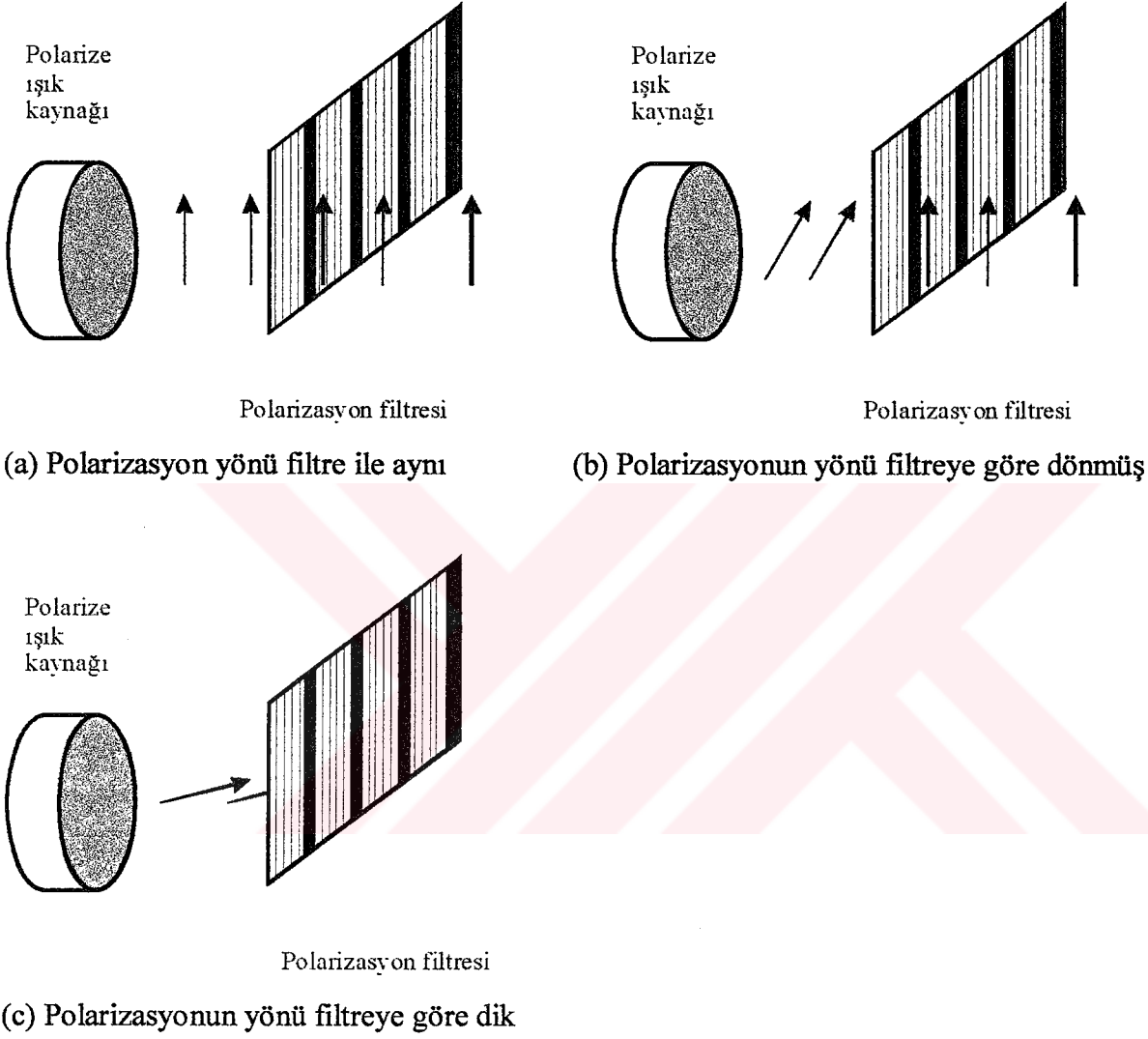
### **1.6.6. Optik Algılayıcılar**

Mekanik kontaklı ve potansiyometrik algılayıcılardan sonra optik algılayıcılar pozisyon ve yer değişimi için en popüler algılayıcılardır. Ana avantajları basit yapıları, yükleme etkilerinin olmaması ve oldukça uzun çalışma aralıklarının olmasıdır. Kaçak manyetik akılara ve elektrostatik parazitlere karşı duyarsız olduklarından çoğu duyarlı uygulamalar için çok kullanışlıdır. Bir optik pozisyon algılayıcısının önemli üç elemanı vardır. Bunlar, bir ışık kaynağı, bir foto-algılayıcı ve mercek, ayna veya fiber optik gibi ışık yönlendirme aygıtlarıdır. Benzer uygulamalar, ışığın bir odaklayıcı mercek ile yönlendirildiği ve yansıtıcı ile geriye döndürüldüğü durumlarda fiber optik kablo kullanılmaksızın yapılabilir. Günümüzde teknoloji çok gelişmiş olduğundan daha karmaşık ve akıllı sistemler yapılmaktadır. Gelişmelerdeki ana amaç seçicilik, gürültü bağımsızlığı ve optik algılayıcıların güvenilirliğidir.

#### **1.6.6.1. Polarize Işık ile Yakınlık Algılayıcısı**

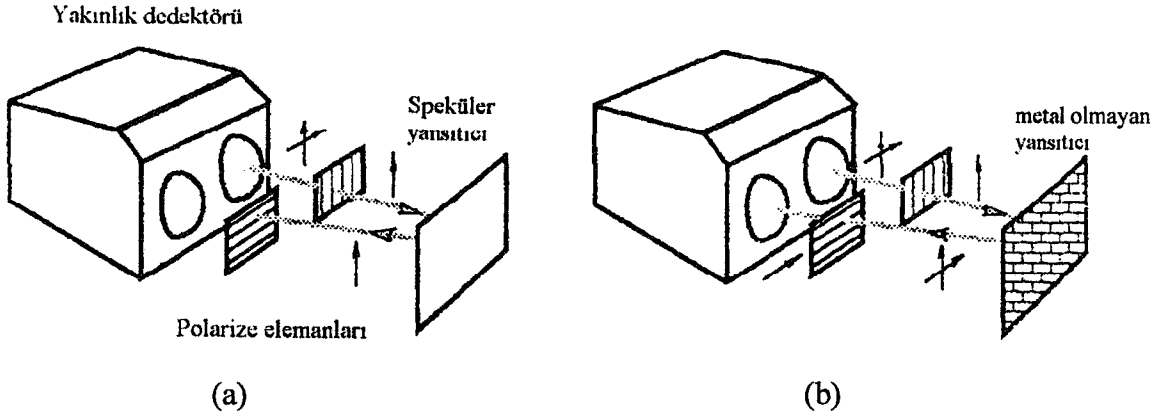
İyi bir optoelektronik algılama yapmanın bir yolu polarize ışık kullanmaktır. Her ışık fotonu birbirine ve yayılma yönüne dik belirli manyetik ve elektrik alan yönlerine sahip olmaktadır. Elektrik alanının yönü ışık polarizasyonunun yönüdür. Işık kaynaklarının çoğu polarize fotonlu ışık üretirler. Işığı polarize etmek için ışık bir polarizasyon filtresinden geçirilir. Filtre malzemeleri ışığı yek yönlü geçirir ve yanlış polarizasyondaki ışığı yansıtır veya emer. Bununla beraber polarizasyonun herhangi bir yönü birisi filtre ile aynı, diğeri

ise filtreden geçmeyen iki ortogonal polarizasyonun geometrik toplamı ile gösterilebilir. Böylece polarizasyon filtresinden önce polarizasyonun döndürülmesiyle filtrenin çıkışındaki ışık şiddeti ayarlı olarak değiştirilebilir.



Şekil 49. Bir polarizasyon filtresinden geçen polarize ışık

Polarize ışık bir cisme çarptığı zaman yansıyan ışık polarizasyonunu sürdürebilir (speküler yansıma) veya polarizasyon açısı değişebilir. Polarizasyon açısının değişmesi metal olmayan cisimler için kullanışlıdır. Böylece yansıtıcı yüzeylere (metal kutular, folyo levhalar, vb.) duyarsız bir algılayıcı için birbirine dik yerleştirilmiş biri ışık kaynağında ve diğeri algılayıcıda olmak üzere iki polarizasyon filtresinin kullanılması gerekir.



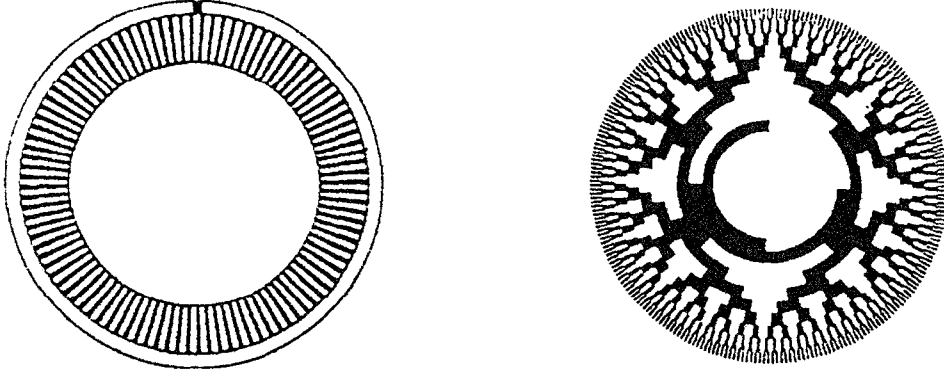
Şekil 50. Polarizasyon filtresi ile yakınlık algılayıcısı

Şekil 50 (a)'da polarize ışık aynı polarizasyon düzlemi içinde metal cisimden geri döner (b)'de ise metal olmayan cisimler ışığı depolarize eder. Bundan dolayı polarizasyon filtresinden geçmesine izin verir. Şekil 50'de birbirine  $90^\circ$  açı ile yerleştirilmiş iki polarizasyon filtresi ile yakınlık algılayıcısı görülmektedir.

Birinci filtre giden ışığı polarize etmek için ışık kaynağındaki merceğin önüne yerleştirilmiştir. İkinci filtre alıcı merceğin önüne yerleştirilerek giden ışığın polarizasyonuna göre  $90^\circ$  dönmüş ışık bileşenlerine geçiş verir. Speküler yansıtıcıdan ışık yansıtıldığı zaman polarizasyonun yönü değişmez ve alıcı filtre foto algılayıcıda ışığın geçmesine izin vermez. Bununla beraber speküler olmayan bir davranışla ışık yansıtıldığı zaman ışığın bileşenleri alıcı filtreden geçebilecek yeterli miktarda polarizasyon içerir ve algılayıcı çalışır. Bundan dolayı polarize elemanlarının kullanılması metal olmayan cisimlerin yanlış algılamalarını azaltır.

#### 1.6.6.2. Mil Kodlayıcılar

Işık modülasyonunun ızgara prensibinin kullanılması döner veya doğrusal kodlayıcılarda (enkoder) çok yaygındır. Hareketli parça disk şeklinde yapılır ve üzerinde ışığı ileten şeffaf ve ışığı iletmeyen koyu kısımlar vardır.



(a) Artımsal optik kodlayıcı disk

(b) Mutlak optik kodlayıcı disk

Şekil 51. Artımsal ve mutlak optik kodlayıcı diskler

Kodlayıcı disk, ışık huzmelerinin bir opto yalıtıcı içinde kesilmesiyle görünür. Işık diskin koyu renkli kısmından geçerken algılayıcının çıkışı sıfır ve şeffaf kısımlardan geçerken algılayıcının çıkışı maksimum veya sayısal olarak 1'dir. Optik kodlayıcılar 820-940 nm spektral 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 vibrasyonuna karşı dayanıklı yapırlar. Bununla beraber çalışma sıcaklık aralığı sınırlıdır. Daha geniş sıcaklık aralığı için diskin metal kazıma ile fabrikasyonu yapılır.

Enkoder diskle de artımsal bir adım açısı miktarında döndüğünde çıkış verir ve mutlak tipte açısal pozisyon, şeffaf ve koyu kısımların bir kombinasyonu şeklinde kodlanır. Kodlama işlemi uygun bir dijital kodlama ile gerçekleştirilir. En çok kullanılanları grey kodu, ikili (Binary) ve BCD (Binary Code Decimal - İkili Kodu Desimal)'dir.

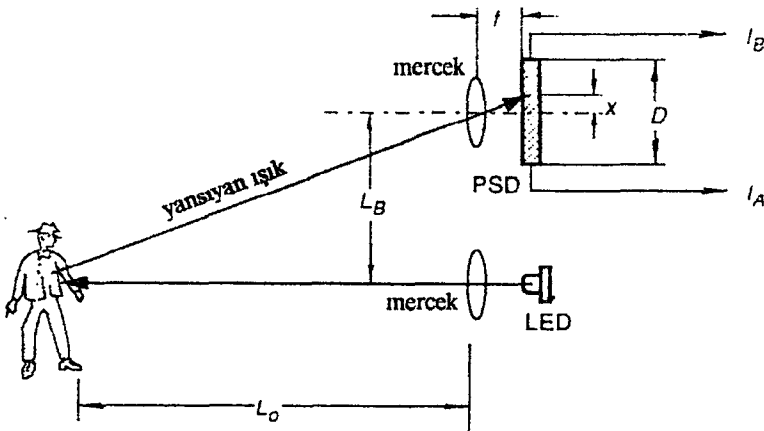
Grey kodunda bir adımdan diğer adıma geçerken bir bit değişir. Rakam değişimi az olduğundan hata oranı en aza düşer. 4 bit kodlu bir disk  $360^\circ/2^4=22,5^\circ$ lik açısal çözünürlüğe sahiptir. Yani  $360^\circ$ lik açı 16'ya bölünmüştür. Daha iyi çözünürlük için bit sayısının artırılması gerekir.

Artımsal kodlama sistemleri mutlak kodlama sistemlerinden çok daha kullanışlıdır. Çünkü fiyatının düşük ve karmaşık olmamasından dolayı özellikle pozisyon yerine sayma işlemi gereken yerlerde artımsal kodlayıcı disk kullanılır. Artımsal kodlayıcı diskler kullanılırken hareketin temel algılanması bir tek optik kanal yani bir alıcı verici algılayıcı çifti ile yapılabilirken hız ve artımsal pozisyon ve yönün algılanmasında iki algılayıcı kullanılır. En çok kullanılan yaklaşım çeyrek algılama olup iki kanalın çıkış sinyallerinin

bağlı pozisyonları karşılaştırılır. Karşılaştırma işleminden yön bilgisi çıkarılabilirken her bir kanal ayrı ayrı sadece sayma veya hız bilgilerini verebilmektedir.

### 1.6.6.3. Doğrusal Optik Algılayıcılar

Kısa ve uzun mesafelerde hassas pozisyon ölçümleri için yakın kızılötesi bölgede çalışan optik sistemler çok etkilidir. Bunlara en iyi örnek, hassas pozisyon algılama ve fotoğraf veya video kameralarının otomatik odaklaması için üretilmiş pozisyona duyarlı detektördür (PSD). Pozisyon ölçme modülü modülasyonlu tip olup bir led ve foto dedektif PSD'den oluşmaktadır. Bir cismin pozisyonu üçgen ölçüm prensibi uygulanarak belirlenir. Şekil 52'de bir mercek ile dar açılı ışık huzmesi üreten bir yakın kızılötesi led görülmektedir. Işık huzmesi 0,7 ms genişliğinde bir darbedir. Işık cisme vurduğunda algılayıcıya geri yansır. Alınan düşük şiddetli ışık PSD'nin duyarlı yüzeyine odaklanır. PSD daha sonra yüzeydeki ışık spotunun merkez pozisyonundan  $x$  uzaklığı ile orantılı bir çıkış sinyali üretir ( $I_A$  ve  $I_B$  akımları). Alınan ışığın şiddeti cismin yansıtıcı özelliklerine çok bağlıdır. Yakın kızılötesi spektral aralığının yansıma yayıcılığı görünür aralığa çok yakın olduğundan PSD üzerindeki ışık şiddetinin değişim aralığı çok farklı olabilir. Bununla beraber ölçmenin doğruluğu alınan ışığın şiddetine çok az bağlıdır.

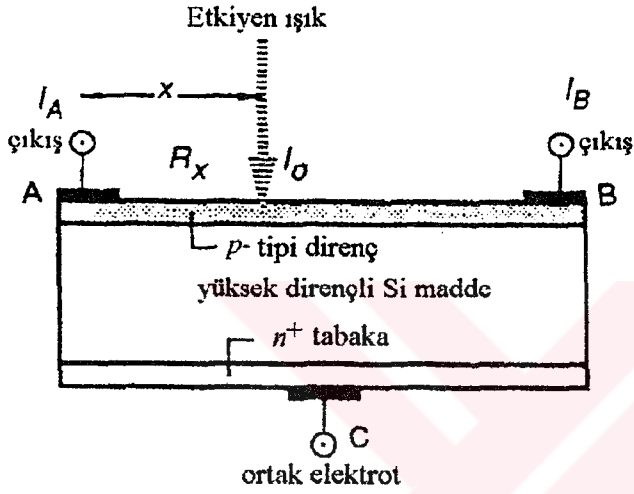


Şekil 52. Üçgen prensibini kullanarak uzaklığı ölçen PSD algılayıcısı

Bir PSD foto etki prensibi ile çalışır. Bir silikon foto diyodun yüzey direncinin kullanılmasına bağlıdır. Çok elemanlı foto diyot dizilerinin aksine PSD kesintisiz bir



algılama alanına sahiptir. Algılayıcı yüzeyi üzerinde hareket eden ışık şiddeti ile tek boyutlu ve iki boyutlu pozisyon sinyalleri sağlayabilir. Algılayıcı bir yüzeyi n tipi ve diğer yüzeyi p tipi malzeme ile kaplanmış yüksek dirençli silikon bir parçadan yapılmıştır. Bir boyutlu algılayıcının p tipi direnç ile elektrik kontağı yapmak için iki elektrotu (A ve B) vardır. Alt tabakanın ortasında ise bir ortak elektrot bulunur. Foto elektrik etki üst p-n jonksiyonunda meydana gelir. Üstteki iki elektrotun arasındaki uzaklık  $D$  ve buna karşılık gelen direnç  $R_D$ 'dir.



Şekil 53. Bir boyutlu PSD'nin yapısı

Işık hüzmesinin A elektrodundan  $x$  uzaklığında yüzeye vurursa; Bu elektrot ile ışığın vurduğu nokta arasındaki direnç  $R_x$  olur. Işık hüzmesinin ürettiği foto elektrik akımı  $I_0$ , ışık şiddeti ile orantılıdır. Bu akım, dirençlerin ilgili oranları ile algılayıcının her iki çıkışında bir akım akmasına neden olur ve bu yüzden ışığın vurduğu nokta ve elektrotlar arasındaki uzaklığa göre;

$$I_A = I_0 \frac{R_D - R_x}{R_D} \text{ ve } I_B = I_0 \frac{R_x}{R_D} \quad (20)$$

olur.

Şayet direnç ile uzaklık değişimi doğrusal ise dirençler yerine yüzeyde buna karşılık gelen uzaklıklar konulabilir.

$$I_A = I_0 \frac{D-x}{D} \text{ ve } I_B = I_0 \frac{x}{D} \quad (21)$$

Işık şiddeti ile foto elektrik akımı arasındaki bağımlılığı kaldırmak için bir orantı kullanılabilir. Akımların oranına P dersek P;

$$P = \frac{I_A}{I_B} = \frac{D}{x} - 1 \quad (22)$$

alınır x'in değeri için yeniden yazıldığında;

$$x = \frac{D}{P+1} \quad (23)$$

olur.

Şekil 52, ölçme sistemindeki farklı uzaklıklar arasındaki geometrik ilişkileri göstermektedir. İki üçgen  $L_0$  için çözüldüğünde;

$$L_0 = f \frac{L_B}{x} \quad (24)$$

olur. Burada f alıcı merceğin odak uzaklığıdır. Burada x yerine eşitliği yazılırsa akım oranı vasıtasıyla uzaklık bulunmuş olur.

$$L_0 = f \frac{L_B}{D} (P+1) = k(P+1) \quad (25)$$

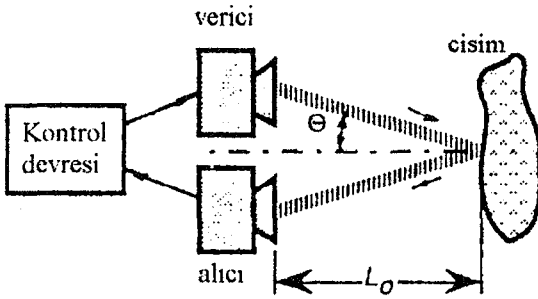
Burada k, modülün geometrik sabitidir. Bundan dolayı modülden cisme olan uzaklık PSD'nin çıkış akım oranını doğrusal olarak etkiler.

### 1.6.7. Ultrasonik Algılayıcılar

Kontaksız uzaklık ölçümleri için bir çeşit pilot sinyali gönderen ve yansıyan sinyali geri alabilen algılayıcılardır. Gönderilen sinyalin enerjisi herhangi bir ışıma sinyali, elektromanyetik, akustik, vb. olabilir. Ultrasonik enerjinin gönderilmesi ve alınması ultrasonik ölçerler ve hız algılayıcılarının temelidir. 20 kHz üzerindeki frekans aralığındaki ultrasonik dalgalar mekanik olup insan kulağının duyma sınırının üzerindedir. Bunun yanında bu frekanslar köpek, kedi, kemirgenler, sinekler gibi küçük hayvanlar tarafından kolaylıkla algılanabilir. Gerçekte ultrasonik algılayıcılar yaras ve yunusların biyolojik uzaklık ölçme aygıtlarıdır.

Dalgalar bir cisme geldiği zaman enerjinin bir kısmı geri yansıtılır. Çoğu pratik durumlarda ultrasonik enerji yayılımcı bir davranışla geri yansır. Yani enerji geldiği yönden bağımsız olarak, 180°'ye yaklaşabilen geniş bir açıda hemen hemen düzenli olarak yansıtılır. Eğer bir cisim hareket ederse yansıyan dalgaların frekansı gönderilen dalgaların frekansından farklı olacaktır. Bu *Doppler etkisi* olarak adlandırılır. Cisme olan uzaklık  $L_0$ , ortamdaki ultrasonik dalgaların hızı ve  $\theta$  açısı ile hesaplanabilir.

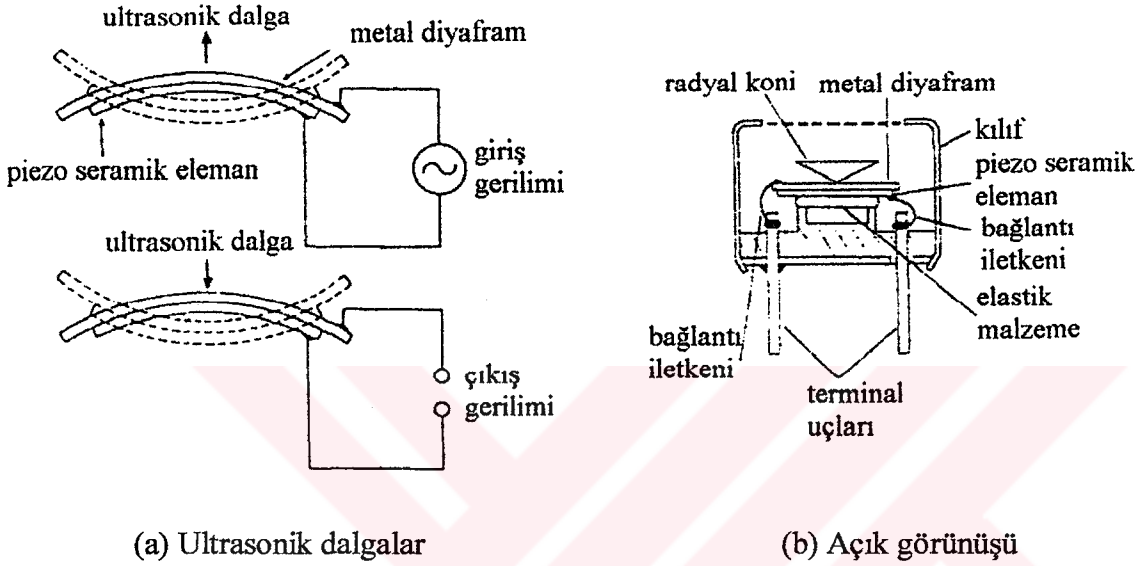
$$L_0 = \frac{vt \cos \theta}{2} \quad (26)$$



Şekil 54. Ultrasonik uzaklık ölçümü

Burada  $t$ , ultrasonik dalgaların cisme ve cisimden alıcıya geri yansıdığı zamandır. Şayet bir verici ve alıcı cisme olan uzaklığa kıyasla birbirine yakın yerleştirilmişse bu durumda  $\cos \theta = 1$  olur. Ultrasonik dalgalar mikrodalgalara göre açık bir avantaja sahiptirler. Ses hızıyla hareket ederler ve bu mikrodalganın yayılma hızı olan ışık hızından çok düşüktür. Böylece  $t$  zamanı uzun olur ve ölçümü daha kolay ve ucuz yapılabilir.

Ultrasonik bir dalga üretmek için bir yüzeyin hareketi gerekir. Bu hareket ile gaz, sıvı veya katı ortamda sıkışma ve genleşme meydana gelir. Ultrasonik yüzey hareketi meydana getiren bir uyarma aygıtının en çok kullanılan tipi motor modunda çalışan piezoelektrik dönüştürücüdür. Adından da anlaşıldığı gibi piezoelektrik aygıt elektrik enerjisini doğrudan mekanik enerjiye dönüştürür.



Şekil 55. Piezoelektrik ultrasonik dönüştürücü

Şekil 55 (a) uygulanan giriş gerilimi ile seramik elemanın esneyerek ultrasonik dalgalar yaymasına neden olduğunu göstermektedir. Piezoelektrik olayı tersine dönüşümlü bir fenomen olduğundan ultrasonik dalga, elemana geldiğinde esneyerek gerilim üretir. Verici piezoelektrik elemanın tipik çalışma frekansı 32 kHz civarındadır. Daha iyi bir verim için sürücü osilatörün frekansının elemanın duyarlılığı ve veriminin en iyi olduğu piezoelektrik seramiğin rezonans frekansına ( $f_r$ ), ayarlanması gerekir. Ölçme devresi darbeleri modda çalıştığı zaman aynı piezoelektrik eleman hem verici hem de alıcı olarak kullanılır. Sistem ultrasonik dalgaların sürekli verilmesini gerektirdiğinde verici ve alıcı için ayrı piezoelektrik elemanların kullanılması gerekir. Şekil 55 (b)'de havada çalışan bir ultrasonik algılayıcının tipik yapısı görülmektedir [13].

### 1.7. Denetim Sistemleri ve Türleri

Denetim sistemleri ve işlemleri, bilinçli veya bilinçsiz olarak günlük yaşantının her alanında kullanılır. Örneğin, insan vücudu ile ilgili fizyolojik denetim işlemleri olarak, vücut sıcaklığının denetimi, kan şekerinin ayarlanması, gözün ışığın şiddetine göre kısılması gibi işlemler sayılabilir. Endüstriyel anlamda bir sıcaklık denetimi sistemi bir kez ayarlandıktan sonra müdahale olmaksızın ortamın sıcaklığını otomatik olarak belli bir değerde tutmak için sürekli olarak çalışabilir.

Türü ne olursa olsun bir denetim sisteminde mutlaka denetleyen veya yöneten, yönlendiren ve denetlenen veya yönetilen, yönlendirilen olmak üzere iki temel unsur vardır. Bu anlamda üç temel denetim sistemi vardır:

1. Doğal denetim sistemleri,
2. Endüstride kullanılan insan yapısı denetim sistemleri
3. Hem doğal ve hem de insan yapısı unsurlar içeren karma denetim sistemleri.

Karma denetim sistemlerinde denetim organı olarak doğal unsur olan insan kullanılır.

Örneğin, bir insanın bir otomobili belli bir rotaya göre sürmesi gibi.

Denetim sistemleri denetim etkisi açısından iki ana sınıfa ayrılır. Bunlar;

1. Açık çevrim denetim sistemleri
2. Kapalı çevrim denetim sistemleri

Açık çevrim denetim sistemlerinde denetim eylemi, sistem çıkışından bağımsızdır.

Açık çevrim sistemlerde çıkışın ölçülmesi ve geri beslenmesi söz konusu değildir. Dolayısıyla sistemin girişi çıkış bilgisinden haberdar olmaz. Açık çevrim denetim sistemi Şekil 56'da gösterilmiştir.

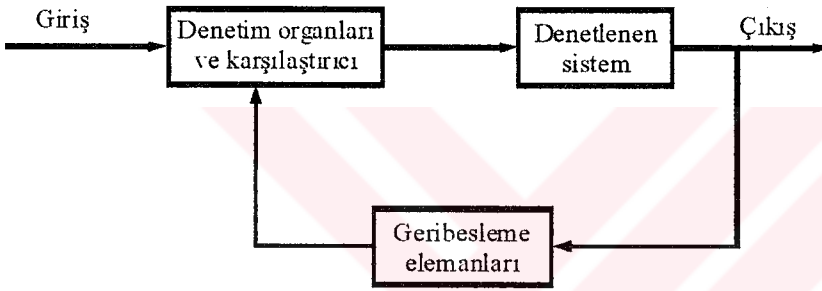


Şekil 56. Açık Çevrim Denetim Sistemi

Uygulamada açık çevrim denetim sistemleri giriş-çıkış bağıntıları önceden belli olan ve iç veya dış bozuculara maruz kalmayan sistemlerde kullanılır. Çıkış ve girişin bir karşılaştırması yapılmadığından sistemin çalışma doğruluğu yapılan kalibrasyonun (ayarlama) derecesine bağlıdır. Açık çevrim denetim sistemleri ya zamanlama yada

sıralama esasına göre çalışırlar. Örneğin, otomatik çamaşır makinalarında olduğu gibi, sistem girişi bir program şeklinde verilir ve sistem program sırasını izler. Trafik ışıklarının denetimi örneğinde ise program zaman esasına göre dir. Işıkların yanıp sönmesi belli bir sırada belli bir zaman süresi kadardır.

Kapalı çevrim denetimde; denetim etkisi sistem çıkışına bağlıdır. Sistemin çıkışı ölçülüp geri beslendikten sonra arzu edilen giriş değeri ile karşılaştırılır. Böylece sistemin girişi çıkıştan haberdardır. Kapalı çevrim denetim sisteminin yapısı Şekil 57'de gösterilmiştir. Açık çevrim sistem ile kapalı çevrim sistemi birbirinden ayıran en önemli unsur geri besleme etkisidir. Geri besleme etkisi ise negatif geri besleme ve pozitif geri besleme olmak üzere iki şekilde olur.



Şekil 57. Kapalı Çevrim Denetim Sisteminin Yapısı

Negatif geri beslemede, çıkıştaki değişimler girişe ters yönde etki eder. Böyle bir sistemde çıkış, arzu edilen değere göre bir artış gösterecek olursa denetim etkisinin azaltılarak çıkışın istenen değere geri dönmesi sağlanır. Aksi bir durumda eğer çıkış arzu edilen değere göre bir azalma (negatif değişme) gösterirse denetim etkisi artırılarak çıkışın istenen değere yükselmesi sağlanır. Negatif geri beslemede daima giriş ile çıkışın bir farkı alınır ve bu fark negatif veya pozitif değerli olabilir. Denetim organına bir hata girişi olarak iletilen bu değer, yukarıda da açıklandığı gibi çıkışın istenen değere getirilmesini ve bu değerde sabit tutulmasını sağlar. Negatif geri besleme endüstriyel sistemlerin en önemli özelliğidir ve daima hatayı en küçük değerde tutmaya veya sıfır yapmaya çalışır.

Pozitif geri beslemede çıkış girişe aynı yönde etki eder. Buna göre çıkışta herhangi bir artış meydana gelecek olursa bu giriş ile toplanarak hata sinyalinde bir artış ve dolayısı ile de denetim sinyalinde bir artış meydana getirir. Bu sistemde çıkışı daha da artıracak yönde bir etki yaratır. Sonuçta artış sistemin fiziksel sınırlamalarına kadar devam eder ve sistem

denetlenebilirliğini kaybeder. Pozitif geri besleme iç döngüler hariç bir kapalı çevrim denetim sisteminde kullanılmaz.

Denetim sistemleri uygulama alanları ve çalışma biçimlerine göre, düzenleyici denetim, izleyici denetim, servomekanizma denetim gibi isimlerde alırlar. Endüstriyel alanda kullanılan bu sistemlerin tümü negatif geri beslemelidir.

Düzenleyici denetim, sabit bir ayar değeri esasına göre çalışan ve sistemin çıkışını, tüm bozucu girişlerin varlığına rağmen sabit değerde tutmaya çalışan denetim sistemi olarak çalışmasıdır. Sıcaklık, seviye, debi, basınç v.b. değişkenlerin denetiminde kullanılan bu çalışma biçimi yaygın olarak süreç denetiminde kullanılır.

İzleyici denetimde, giriş değişken olup sistem çıkışı bu girişi izlemeye çalışır. Burada sistem çıkışının hem başvuru girişi ve hem de bozucu girişten doğan değişimleri izlemesi ve arzu edilen değere getirilmesi esastır. Bu tür denetim daha çok imalat endüstrilerinde, uzay taşıt araçlarında kullanılır. Örneğin takım tezgahlarında kesici bıçağın bir şablonu izleyerek istenen parça biçimini işlemesi bu türden çalışmadır. İzleyici denetim daha çok konum denetim sistemi şeklindedir.

Servomekanizma, mekaniksel çıkışlı güç yükseltilmesinin gerekli olduğu sistemlerde kullanılır. Yerine göre izleyici türde, yerine göre de düzenleyici türde çalışabilir. Örneğin, büyük güç yükseltilmesi gereken konum servomekanizması izleyici türde, buna karşılık bir hız denetim servomekanizması düzenleyici türde denetim çalışması gösterir. Endüstriyel alanda ise örneğin, sıcaklık yanında basınç, debi, seviye gibi diğer değişkenlerin denetimi de gerekebilir. Böyle bir durumda tek girişli tek çıkışlı bir denetim sistemi yeterli olamaz. Modern endüstriyel sistemler daha çok, çok girişli çok çıkışlı sistemlerdir ve hatta bu giriş ve çıkışlar arasında karşılıklı etkileşimler de mevcut olabilir. Bu tür denetim sistemlerinin temel yapısı yine de geri beslemeli biçiminde olmakla beraber sistem içinde birden fazla döngü yer alır. Çeşitli giriş ve çıkışlar arasında en uygun denetim sinyalini sağlamak için daha çok bilgisayarlardan ve mikroişlemcilerden yararlanılır.

### **1.8. Denetim Sistemlerinin Yapısı ve Kullanım Alanları**

Endüstriyel anlamda bir denetim sistemi;

1. Denetlenen sistem veya süreç
2. Denetim elemanları donanımı

olmak üzere iki ana kısımdan ibarettir. Denetim organları donanımı ise;

1. Ölçme sistemi
2. Karşılaştırma elemanı
3. Denetim organı
4. Sürücü veya kumanda

elemanından meydana gelir. Denetlenen sistem ve denetim elemanları donanımı birbirlerine karşılıklı olarak birtakım hatlarla bağlanmıştır. Bunlar; süreç ürünlerinin aktığı enerji ile ilişkili olan süreç hattı, ölçme ve denetim sinyallerinin aktığı hat, bilgi veya sinyal hattı ve denetim elemanları ve sistemi çalıştıran cihazlar için gerekli gücün aktığı güç hattı isimlerini alırlar.

Ölçme sistemi, algılayıcı ve sinyal kuvvetlendirici olmak üzere iki kısımdan ibarettir. Ayrıca denetlenen değişkenin ölçülen değerinin bilinmesi gerekiyorsa birde gösterge elemanı bulunabilir. Algılayıcı sistemin çıkışındaki değişimleri, gözlenebilir ve denetlenebilir bir biçimde sistem girişi ile aynı fiziksel büyüklük cinsine dönüştürür. Genellikle algılayıcı çıkışı zayıf bir sinyal olup kuvvetlendirilmesi gerekir. Kuvvetlendirici devresi genellikle bir dış güç kaynağından enerji çekerek denetim döngüsü için gerekli güçte bir sinyal sağlar. Tüm denetim sistemi döngüsünün hassasiyeti, ölçme sisteminin hassasiyetine bağlıdır. Bu nedenle denetim sisteminin hassasiyeti ölçme sisteminin hassasiyetinden daha yüksek olamaz.

Genellikle karşılaştırma elemanını da içine alan denetim organı; sistem çıkışının denetim amaçlarına uygunluğunun saptanması ve sistemi denetim amaçları doğrultusunda yönetmek için gerekli denetim değişimlerini belirlemek gibi işlevleri yürütür. Denetim organının temel görevi karşılaştırmacıdan kendisine hata veya sapma olarak iletilen giriş bilgisine göre denetim sinyali şeklinde uygun karar üretmektir. Denetim organının fiziksel yapısı günümüzde daha çok elektronik ve pnömatik olmaktadır. Elektronik olarak benzeşik (analog) devrelerden meydana gelebildiği gibi sayısal (dijital) devrelerden de meydana gelebilir. Sayısal devrelerden (mikroişlemci) meydana gelmiş denetim organı aynı zamanda gerekli hesaplamaları yapabilme yeterliliğine de sahiptir.

Son denetim organı veya motor eleman adlarını da alan kumanda elemanı, denetlenen sistemi doğrudan etkileyen sürücü bir elemandır. Son denetim elemanı denetim organından aldığı denetim sinyaline bağlı olarak dış enerji kaynağından aldığı güçle bir hareket üretir. Bu hareket denetlenen değişkenin enerji akışını modüle eder. Kullanılan enerjinin biçimine bağlı olarak motor elemanı, elektriksel, pnömatik veya hidrolik yapıda olabilir.



Kesin çizgilerle olmamakla beraber imalat endüstrilerinde izleyici veya servomekanizma şeklinde çalışan denetim sistemleri ve süreç endüstrilerinde ise düzenleyici şeklinde çalışan denetim sistemleri kullanılmaktadır. Takım tezgahlarında konum denetim sistemleri, kağıt fabrikalarında ve dokuma makinalarında gergi denetim sistemleri, metal çekme makinalarında kalınlık denetimi, robotlar v.b. servomekanizma biçimi çalışan sistemlerdir. Ayrıca servomekanizmaların, füze rampaları ve güdümlü füzelerin konumlandırılması, radar antenlerinin ve teleskopların yönlendirilmesi, otomatik dümen sistemleri hava taşıtlarının otomatik seyri gibi özel kullanım alanları da mevcuttur. Seviye, sıcaklık, basınç, debi gibi değişkenlerin denetlendiği süreç denetim sistemleri, düzenleyici şeklinde çalışırlar. Bunların dışında, elektrolit kaplama kalınlığının denetimi, gaz karışımı denetimi, harmanlama sistemleri, nükleer reaktörde tepkime denetimi sıvılarda kimyasal konsantrasyon denetimi vb. endüstrilerinde kullanılan denetim sistemleridir [16].



## **2. YAPILAN ÇALIŞMALAR**

### **2.1. Pozisyon Kontrol Sisteminin Tasarımı**

Deneysel çalışmada adım motoru ve optik algılayıcılar kullanılarak bir hedef takip sistemi kurulmuştur. Sistemde; optik algılayıcılardan gelen bilgiler bilgisayara aktararak değerlendirilmekte, elde edilen sonuca göre motor gereken yöne dönmektedir. Hedef bir ray üzerinde hareket etmektedir. Algılayıcı sistem hedefi yakaladığı anda durmakta ve hedef nereye giderse algılayıcı sistemde o yöne dönmektedir.

### **2.2. Paralel Port**

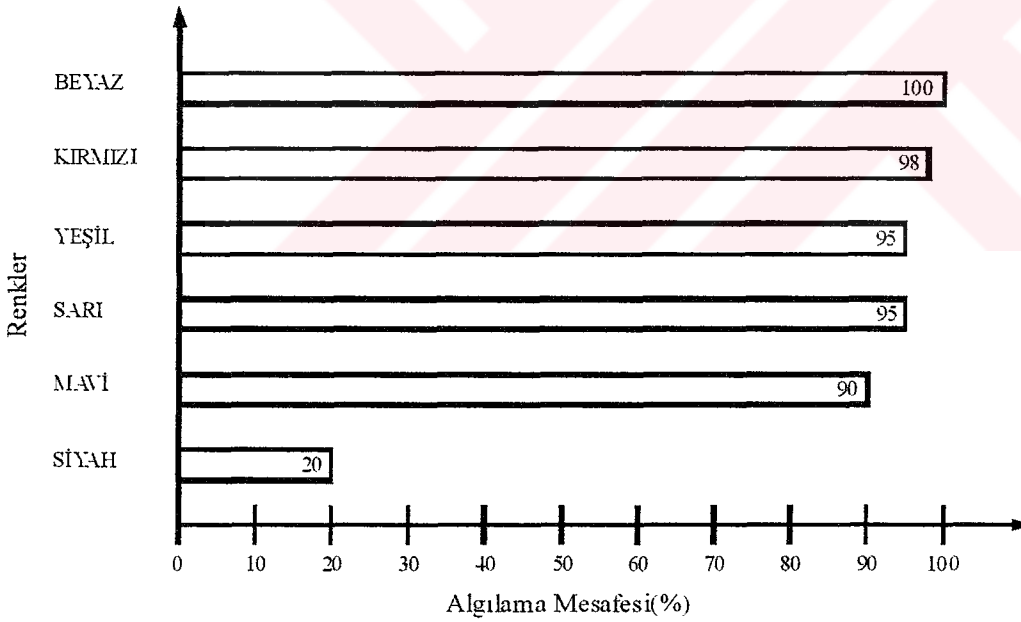
Sistemden gelen sinyallerin değerlendirilmesi için bilgiler, bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Adım motor sürücü devresi de bilgisayardan gönderilen sinyaller ile sürülmektedir. Bilgisayar ile sistem arasındaki bilgi alış verişi paralel port vasıtasıyla yapılmaktadır. Paralel portun kontrol yazmacı yapısı gereği sadece çıkış vermektedir. Bu nedenle kontrol portu adım motorunu sürmek için kullanılmıştır. Algılayıcılardan gelen bilgiler de veri portu kullanılarak bilgisayara aktarılmıştır. Veri portu otomatik olarak çıkış olarak yapılandırılmıştır. Durum yazmacının 5 numaralı yön biti ayarlanarak bu port giriş yapmaya uygun hale getirilmiştir. Veri portundan giriş, data0 ve data1 bacaklarından yapılmaktadır. 1 numaralı algılayıcı data0, 2 numaralı algılayıcıda data1 bacağını kullanarak çıkış sinyallerini bilgisayara aktarmaktadır.

### **2.3. MF40-S18-NG Optik Algılayıcı**

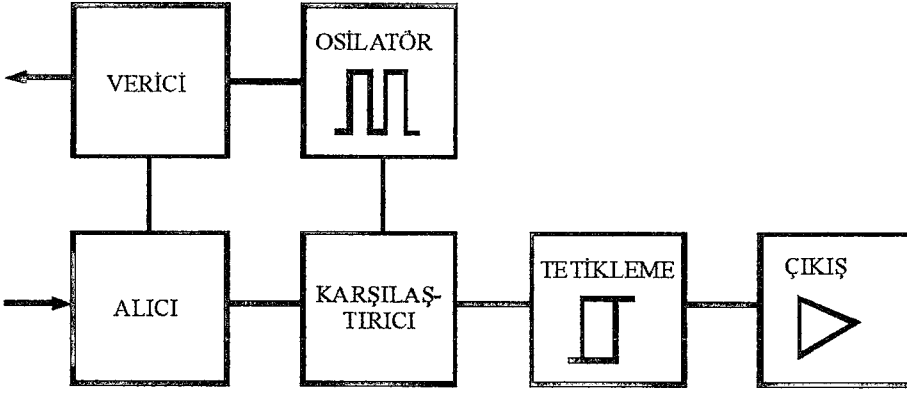
Optik algılayıcılar veya fotoseller, ışık emisyon prensibiyle çalışan elektronik malzemelerdir. Bir verici yada ışık kaynağı ve bunların ışınlarını almak için bir alıcıdan oluşurlar. Vericide bulunan ışık kaynağı belirli bir frekansta ışık yayar. Alıcı ise bu kaynaktan belirlenen frekanstaki ışığın alınmasında kullanılır. Kullanılan ışık kızılötesidir. Algılayıcı vericiden gönderilen ışık frekansı ile alıcıdan gelen ışık frekansının karşılaştırmasını yapar. Eğer aynı frekansta ışık alırsa çıkışını aktif hale getirir.

Cisimden yansımali optik algılayıcılar, vericiden gönderilen ışın bir cisme çarpıp geriye yansıyarak alıcı tarafından alınması vasıtasıyla çalışır. Bu tip algılayıcılarda cismin rengi ve parlaklığı algılama mesafesini etkilemektedir. Opak yüzeylerde algılama uzaklığı cismin renginden etkilenir. Parlak renkler maksimum algılama imkanı verir. Teknik verilerdeki hissetme mesafesi mat beyaz kağıt ile ölçülmüştür.

Sistemde Mefa Sensör firmasının ürettiği MF40-S18-NG cisimden yansımali, DC, 4 telli optik algılayıcı kullanılmıştır. Algılayıcının renk duyarlılığı bulunmaktadır. En yüksek algılama mesafesi, beyaz renkli cisimlerde 30V ve üstü doğru gerilimde 40 cm'dir. Algılayıcıya uygulanan gerilime göre algılama mesafesi de değişmektedir. Algılayıcılar beyaz renkli cisimleri çok iyi algılamak üzere siyah renkli cisimleri iyi bir biçimde algılayamamaktadır. Sistemde kullanılan hedef beyaz renk seçilmiş ve algılayıcıların hedefe olan mesafesi de 30 cm olarak seçilmiştir. Algılayıcı 10V DC gerilimin altında çalışmamakta ve çıkış vermemektedir. Yapılan ölçümlerde 30 cm mesafeyi algılaması için ayarlanan algılayıcı yaklaşık 25V DC çıkış vermektedir.



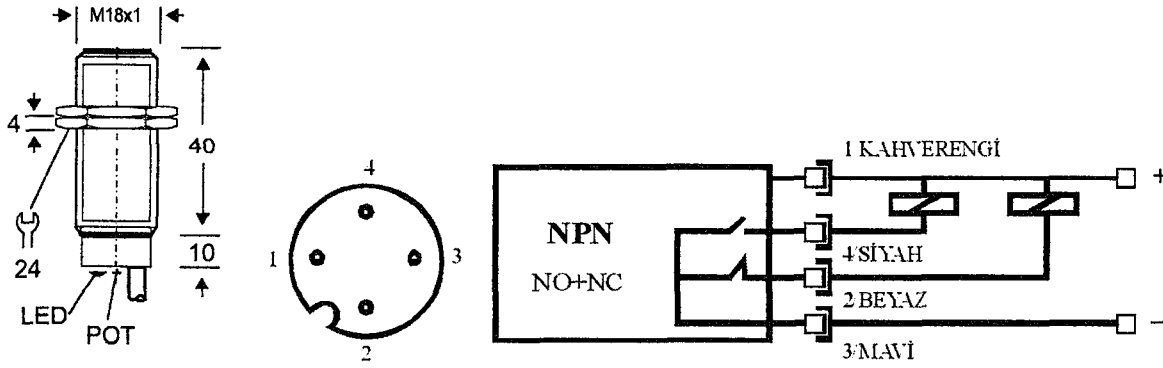
Şekil 58. Farklı renklere göre optik algılayıcıların algılama mesafesi



Şekil 59. Optik algılayıcıların çalışma blok diyagramı

Tablo 13. MF40-S18-NG optik algılayıcının teknik özellikleri

<b>Hissetme Mesafesi (Sn)</b>	<b>0....150 mm, 0....400 mm</b>
Çalışma Mesafesi (V)	10-30V DC
Anahtarlama Akımı ( $I_a$ )	200 mA
Anahtarlama Frekansı (f)	100 Hz
Kalıntı Gerilimi ( $V_k$ )	< 2.5 V DC max.
Akım İstemi	< 15 mA, 24V DC
Histeresiz (Sn%) mm	<10%
Durum Göstergesi (Led)	Kırmızı, yeşil
Korumalar	Ters bağlantı, aşırı yük ve kısa devreye karşı korumalı
Çalışma Sıcaklığı	-25....+60 C <sup>o</sup>
Koruma Sınıfı	IP25
Gövde Malzemesi	Nikel kaplamalı pirinç
Bağlantı	2m PVC kablo



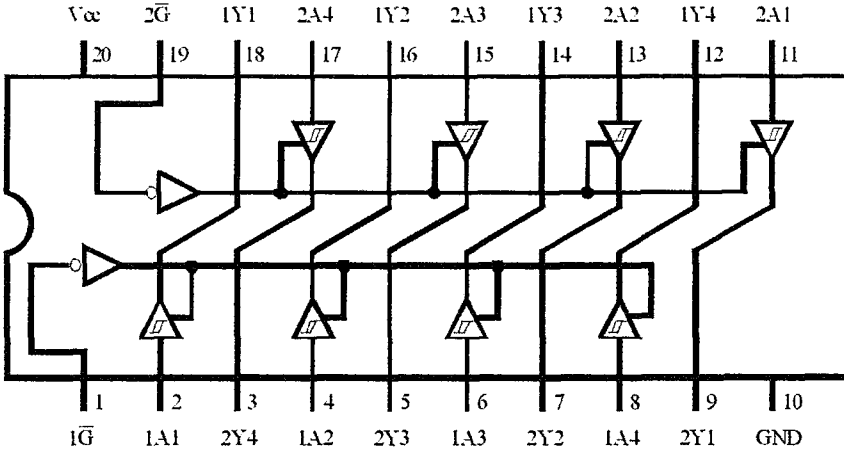
(a) Kablolu algılayıcının görünüşü (b) Bağlantı şeması (c) Algılayıcının uçları

Şekil 60. MF40-S18-NG optik algılayıcı

Çeşit algılayıcılar olmasına rağmen bu çalışmada özellikle kapasitif ve endüktif algılayıcıların hissetme mesafelerinin çok az olması (2-3mm), ultrasonik algılayıcıların pahalı ve çevresel bir donanıma ihtiyaç duymaları, diğer algılayıcıları hedefin üzerine yerleştirme yada ortamı tamamen algılayıcılar ile donatma gerekliliği nedeniyle optik algılayıcılar seçilmiştir [17].

#### 2.4. Paralel Port Koruma Devresi

Algılayıcılar yüksek gerilim çıkışı vermektedir. Paralel port 5V'luk bir gerilim seviyesinde çalışmaktadır. Bu nedenle paralel portu korumak amacıyla, port giriş ve çıkışlarına buffer (tampon) yerleştirilmiştir. Tampon olarak 74LS244 ve 74HC244 entegreleri kullanılmıştır. Paralel porta girişte 74HC244 ve porttan çıkışta ise 74LS244 entegresi kullanılmıştır. Her iki tamponda temelde aynı özelliklere sahiptir.



Şekil 61. 74LS244 octal 3 durumlu tampon [11].

Tablo 14. 74LS244 octal 3 durumlu tampon entegresinin giriş ve çıkış durumları

Giriş		Çıkış
$\overline{G}$	A	Y
L	L	L
L	H	H
H	X	Z

L: Düşük mantık seviyesi

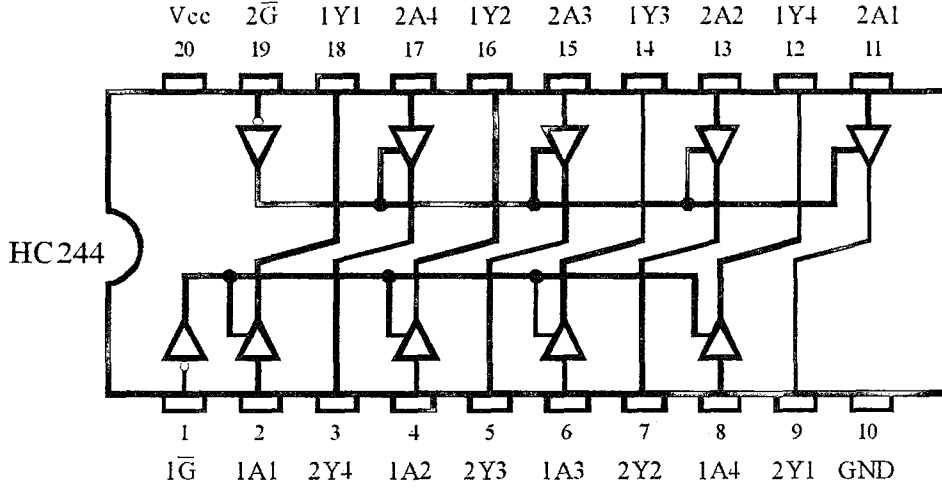
H: Yüksek mantık seviyesi

X: Düşük yada yüksek mantık seviyesi

Z: Yüksek empedans

Entegrenin tipik giriş ve çıkış akımı 12 mA'dir. Tipik yayılım gecikme zamanı eviren kısımda 10.5 nsn ve evirmeyen kısımda ise 12 nsn'dir. Entegrenin aktif ve pasif hale geçme zamanı 18 nsn'dir. Güç harcaması eviren kısımda 130 mW ve evirmeyen kısımda ise 135 mW'dır. Standart çalışma gerilimi +5V'dur.

74HC244 entegresi yüksek hızlı, 3 durumlu statik deşarjlara karşı korumalı bir entegredir. 74LS244 entegresinden en büyük farkı daha hızlı çalışmasıdır. Entegrenin iç yapısı Şekil 62'deki gibidir. Tablo 15'de entegrenin bacaklarının açıklamaları görülmektedir.



Şekil 62. 74HC244 entegresi [14].

Tablo 15. 74HC244 entegresinin bacak bağlantılarının açıklamaları

PIN Numarası	Sembol	İsim ve İşlevi
1	$\overline{1G}$	Çıkışı aktif etme girişi
2,4,6,8	1A1 den 1A4'e	Veri girişleri
3,5,7,9	2Y1 den 2Y4'e	Veri çıkışları
11,13,15,17	2A1 den 2A4'e	Veri girişleri
12,14,16,18	1Y1 den 1Y4'e	Veri çıkışları
19	$2\overline{G}$	Çıkışı aktif etme girişi
10	GND	Toprak
20	$V_{cc}$	Pozitif besleme

## 2.5. Adım Motoru

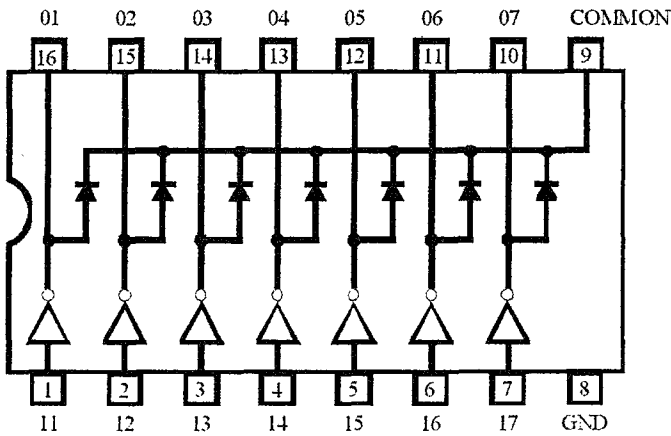
Kurulan sistemde pozisyon kontrolünün hassas olması için adım motoru kullanılmıştır. Bunun yanında farklı elektrik motorları da bu iş için kullanılabilir. Fakat, özellikle yüksek hızlarda diğer motorların millerinin durması gereken yerden kayması veya dinamik frenleme gibi karmaşık yavaşlatma, durdurma tekniklerinin gerekmesi ve yapılan sistemin çok daha karmaşık ve pahalıya mal olması gibi dezavantajlara sahip olması nedeniyle adım

motorları tercih edilmiştir. Kullanılan motor Tec firmasının ürettiği 4 fazlı adım motorudur. Her fazın endüktansı 3.5 mH ve direnci 3.5  $\Omega$ 'dur. Çalışma akımı 0.85A ve çalışma gerilimi 3V'dur. Adım açısı 1.8°'dir. Mavi-kırmızı-sarı-pembe kabloları sıra ile enerji verilirse motor saat yönünde döner. Ters sıra ile enerji verilirse motor saatin tersi yönde döner. Siyah ve beyaz, sargıların ortak ucudur.

## 2.6. Kontrol Ünitesi

Algılayıcıların normalde açık (siyah kablo) ucundan çıkış alınmıştır. Bu uçlar kontrol devresinde Sensor1 ve Sensor2 yazan yerlere bağlanmıştır. Bu sayede bilgi geldiğinde kontrol devresine sinyal gönderilmektedir. Diğer uça (beyaz kablo) ise sinyal geldiğinde devre açılmaktadır. Algılayıcının kahverengi kablolu ucu pozitif beslemedir ve 25 V'luk gerilime bağlanmıştır. Mavi kablolu ucu ise topraklanmıştır.

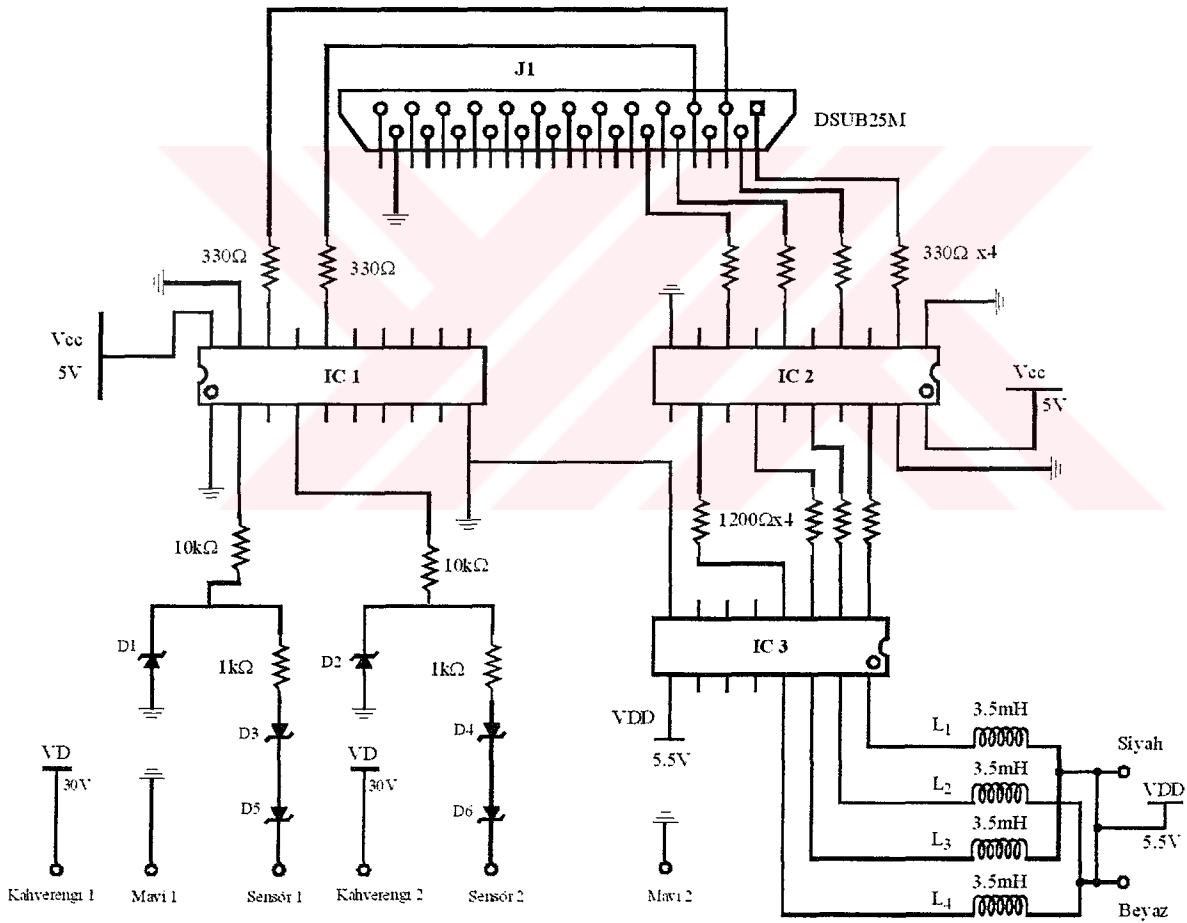
Motorun siyah ve beyaz sargıları birleştirilerek ULN2004 motor sürücü entegresinin COMMON ucuna bağlanmıştır. Bu entegrenin iç yapısı Şekil 63'de görülmektedir. Bu sürücü entegresinin maksimum çıkış akımı 500mA'dir. Güçlendirilmiş çıkış gerilimi 50V'dur. Giriş gerilimi -0.5V ile 30V arasında değişmektedir. Ayrıca entegre iç yapısında boşluk diyodu da bulunmaktadır. Entegrenin 1'den 7'ye kadar olan pinleri giriş, 10'dan 16'ya kadar olan pinleri ise çıkıştır. 9 numaralı pin entegrenin ve adım motorunun çalışma gerilimidir. 8 numaralı pin ise topraktır.



Şekil 63. ULN2004 entegresi [15].



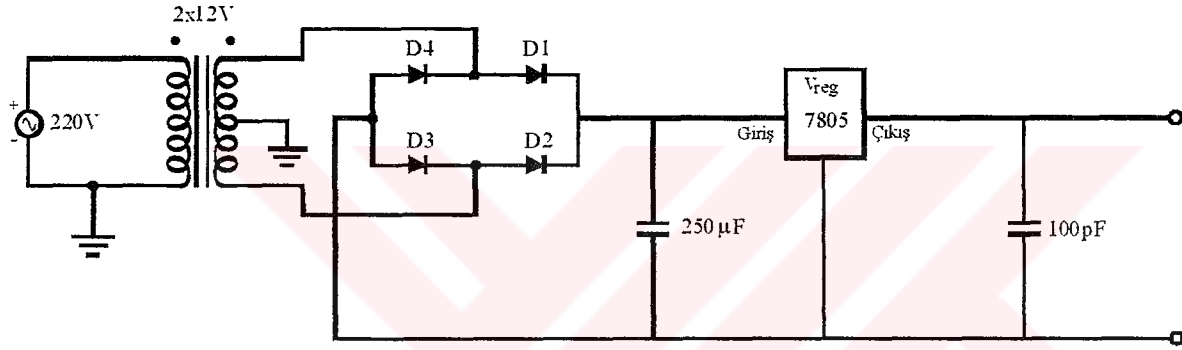
Şekil 64'de kontrol devresi görülmektedir. Bu devre algılayıcılardan aldığı bilgiyi bilgisayara aktarır. Gelen veri işlendikten sonra adım motorunu gereken şekilde sürmek için çıkış verir. Devrede; IC1 74HC244, IC2 74LS244 ve IC3 ULN2004 motor sürücü entegresidir. D1 ve D2 4.7V'luk, D2 ve D3 5.1V'luk ve D4 ve D5 5.6V'luk zener diyotlardır. Algılayıcıların çıkış gerilimleri 25V olduğu için bu gerilim 74HC244 entegresinin girişine uygulanırsa entegre yanacağı için gerilim düşürülmelidir. Bu nedenle zener diyotlar kullanılmıştır. Ayrıca akım seviyesini de ayarlamak gerektiği için 10k $\Omega$ 'luk dirençler yerleştirilmiştir. Bu sayede giriş akımı entegreyi yakmayacak olan akım seviyesine düşürülmüştür.



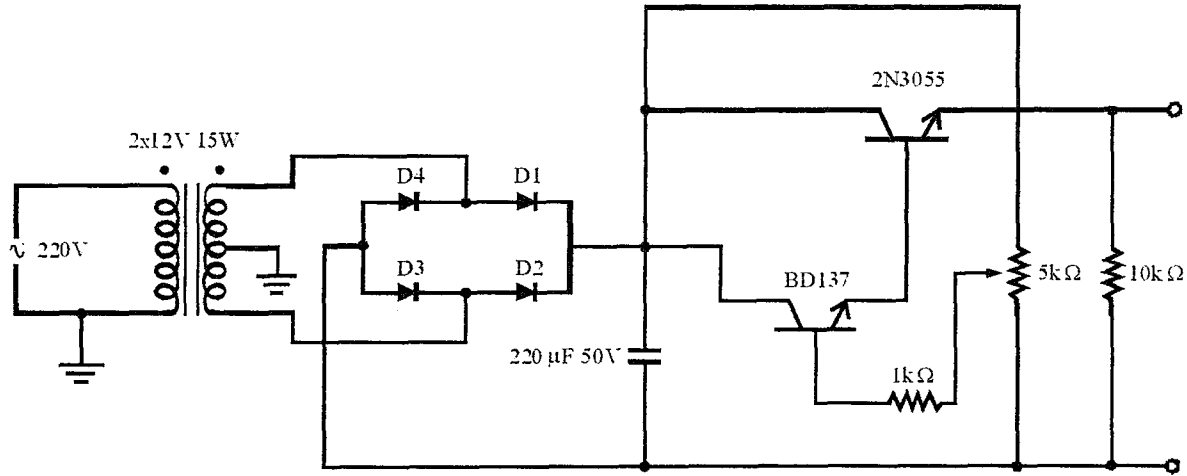
Şekil 64. Kontrol devresi

## 2.7. Güç Kaynakları

Sisteme enerji sağlamak amacıyla ihtiyaç duyulan gerilim ve akımı sağlamak için 3 adet güç kaynağı yapılmıştır. Bunlar Şekil 65 ve 66'da görülmektedir. Şekil 65'de +5V DC kaynak görülmektedir. Bu kaynak tamponların ihtiyaç duyduğu +5V'luk gerilimi temin etmektedir. Şekil 66'daki kaynaktan iki adet yapılmıştır. Bir tanesi algılayıcıların ihtiyaç duyduğu 30V'luk gerilimi sağlamak için 30V'a ayarlanmış diğeri ise adım motorunun ihtiyaç duyduğu 5.5V'luk gerilimi sağlamak amacıyla kullanılmıştır. Bu kaynaklar farklı gerilimlerde denemeler yapmak amacıyla ayarlanabilir olarak yapılmışlardır.



Şekil 65. +5V DC gerilim kaynağı



Şekil 66. 0 ile 30V arası ayarlı gerilim kaynağı

## 2.8. TC++ Programı

Kurulan sistemi kontrol etmek için bilgisayar kullanılmıştır. Gerekli işlemleri bilgisayara yaptırmak için TC++ programlama dili kullanılmıştır. TC++ programlama dili, esnek bir yapıya sahip olması, donanımın programlamaya elverişli olması ve yaygın bir kullanıma sahip olduğu için tercih edilmiştir. TC++, Ms-Dos işletim sistemi altında çalışmaktadır. Program Dos tabanlı kullanıcı dostu grafik ara yüzüne sahiptir. Yazılan programın tamamı Ekler bölümünde verilmiştir.

## 2.9. Pozisyon Kontrol Sisteminin Gerçeklenmesi

Hareketli nesne takip sistemi, kontrol ünitesi, adım motoru ve algılayıcılar olmak üzere 3 kısımdan oluşmaktadır. Bunların dışında gerekli akım ve gerilimi sağlamak amacıyla 3 adet farklı güç kaynağı da sisteme ilave edilmiştir. Sistemde algılayıcılardan alınan bilgiler bilgisayara paralel port vasıtasıyla iletilmektedir.

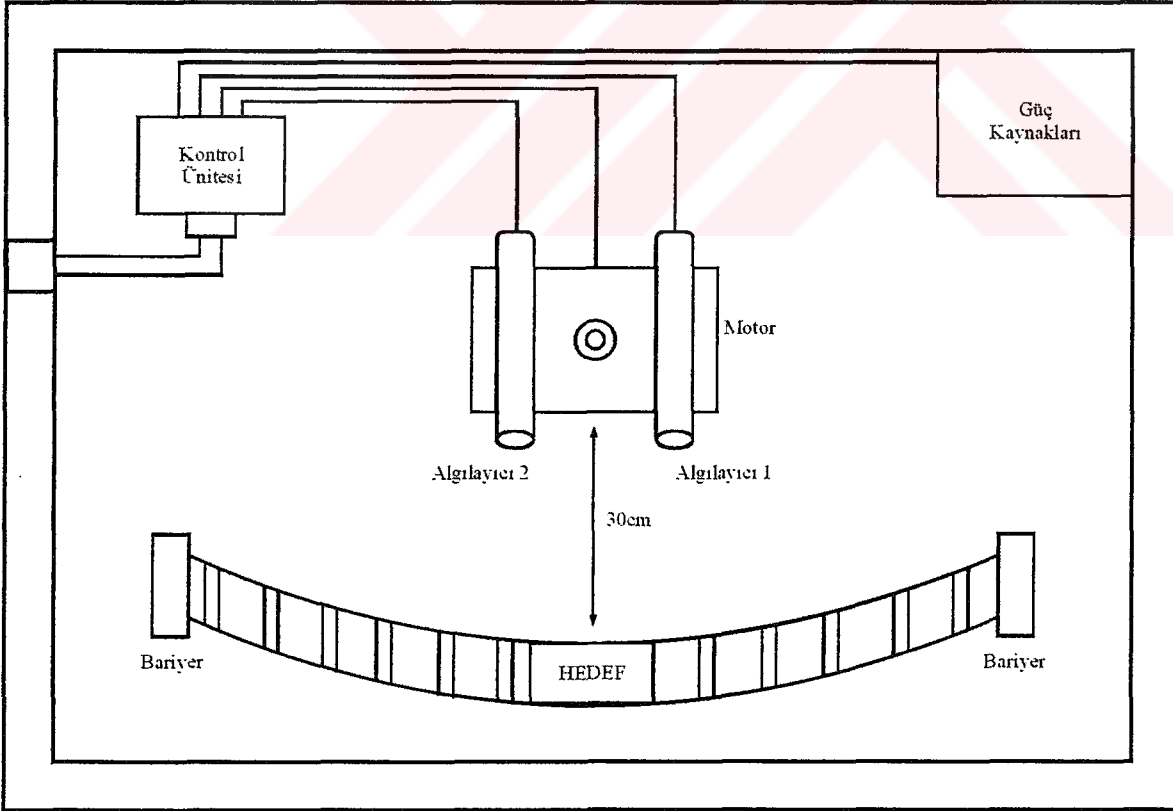
Algılayıcılarda bilgi yoksa paralel portun veri yazmacına 0 bilgisi gelmektedir. Bu durumda sistem sınırları içerisinde sürekli tarama yapılmaktadır. Tarama işlemi referans alınan sağ baş tarafta başlamakta ve solda bariyer ile sınırlanan yerde sona ermektedir. Buradan tekrar başa dönmektedir. Baştan sona kadar 130°'lik bir alan taramaktadır. Daha sonra yine 130° geriye doğru tarama yapılarak sistem başlangıç noktasına geri gelmektedir. Algılayıcılardan bilgi gelmediği sürece bu tarama işlemi sürekli olarak devam etmektedir. Sistemin yapısı Şekil 67'de görülmektedir.

Algılayıcı1'den bilgi geldiği zaman adım motoru 7.2° sağa dönerek Algılayıcı2'ninde hedefi yakalamasını sağlamaya çalışmaktadır. Bu durumda hedef sağdan sola doğru hareket etmektedir. Algılayıcı1'de bilgi varken bu işlem sonucunda Algılayıcı2'de de bilgi varsa sistem hedefe kilitlemiş olmaktadır. Eğer Algılayıcı2'de bilgi yoksa 7.2° daha sistem sağa çevrilmektedir. Bu işlem iki algılayıcıdan bilgi gelene kadar devam eder. Her 7.2° dönüş sonrasında sistem 10 msn beklemektedir. Bu süre, sargıların enerjisini harcamak için yeterli olmaktadır.

Benzer şekilde Algılayıcı2'den bilgi gelirse motor 7.2° sola çevrilmekte ve Algılayıcı 1'den bilgi gelip gelmediğine bakılmaktadır. Bilgi gelirse sistem hedefe kilitlenmekte, bilgi gelmezse motor 7.2° daha sola çevrilmektedir.

Sistem hedefe kilitlendikten sonra hedef ile birlikte bu kurallar çerçevesinde hareket etmektedir. Eğer kilitlenme işlemi tamamlandıktan sonra hedef rayların üzerinden kaldırılırsa sistem hata vererek bilgisayar başındaki kullanıcıyı uarmaktadır. Hata düzeltildikten sonra sistem klavyedeki boşluk (space) tuşuna basılarak tekrar başlatılmaktadır. ESC tuşuna basılarak sistem kapatılmakta ve programdan çıkılmaktadır.

Sistem açık çevrim kontrol tekniğini kullanmaktadır. Bilgisayardan adım motoruna bilgiler gitmekte, fakat motorun hareketi ile ilgili bir bilgi bilgisayara gelmemektedir. Yalnızca algılayıcılardan gelen bilgiler bilgisayara aktarılmaktadır. Sistemde farklı pek çok kontrol tekniği kullanılabilir. Basit ve en ucuza mal olan kontrol tekniği açık çevrim olduğu için çalışmada bu teknik kullanılmıştır. Sistemde kapalı çevrim kontrol tekniği de iyi bir şekilde kullanılabilir. Fakat adım motoru kullanıldığı için kapalı çevrime ihtiyaç duyulmamaktadır. Çünkü adım motoru hassas işlemler için kullanılan doğruluğu yüksek bir motordur. Yalnızca adım hatasından kaynaklanan bir hataya sahiptir. Bu hata pek çok uygulamada yok sayılabilir. Sistemde önemli bir aksaklığa neden olmamaktadır.



Şekil 67. Sistemin basit yapısı

### 3. BULGULAR

Yapılan çalışmada sistemin, hareketli bir nesneyi en kısa sürede yakalayarak, bu hedefe kilitlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla kurulan bir ray üzerinde rastgele hareket edebilen bir arabayı izlemek üzere, adım motoru ile sürülen radara benzer bir izleme sistemi oluşturulmuştur. İzleme sistemi üzerine monte edilen optik algılayıcılarla hareketli nesnenin yeri belirlenmekte ve nesneye kilitlenen sistem onu izleyebilmektedir.

Sistem denetimi sayısal olarak bilgisayarla gerçekleştirilmiş, TC++ dilinde yazılan denetim algoritmaları kullanılarak değişik çalışma durumları test edilmiştir. Yazılan program, NT tabanlı sistemlerde doğru şekilde çalışmadığı için, TC++ programı, MS-Dos işletim sistemi altında çalıştırılmıştır. Yazılan programda adım motorunun sargıları enerjilendirilirken motorun zaman sabitinin dikkate alınması gerekmektedir. Verilen gecikmeler motor zaman sabitinden daha kısa olursa motor adım atlayarak çalışmakta, sistem kendisinden beklenen işi yapamamakta ve titremeler meydana gelmektedir. Bu nedenle deneysel çalışmalardan en uygun süre tespit edilmiş olup 10 ms aralıklarla sargılara enerji verilmiştir.

Yapılan çalışmalarda kullanılan güç kaynaklarının sadece istenen gerilim değerini değil, aynı zamanda sistemin ihtiyaç duyduğu akımı da sağlayacak şekilde tasarlanmaları gerektiği ortaya çıkmıştır. Adım motorunun ihtiyaç duyduğu akım değerini güç kaynakları sağlamaktadır. Sistemdeki adım motoru maksimum 850mA akım çekmektedir. Düzenlenen sistemde sürücü devresinden adım motoruna maksimum 500mA akım sağlanmaktadır. Motor milinde zorlayıcı bir yük bulunmadığı için 500mA akım fazlasıyla yeterli olmaktadır.

Optik algılayıcılar oldukça hızlı çalıştığından sistemde yavaşlamalara neden olmamaktadırlar. Ancak algılayıcıların optik olması nedeniyle farklı açılarda yansıyan ışık, algılayıcıları şaşırtmaktadır. Sistemde iki algılayıcı kullanarak bu hata giderilmeye çalışılmıştır. Fakat izlenen nesne yakınında veya optik algılayıcıların kapsama alanı dahilinde hareket eden başka nesnelere olması durumunda algılama problemi çıkabilmektedir. Hedefte birden fazla nesne bulunması halinde bunların hangisinin izlenmesi gerektiği konusunda ortaya ciddi problemler çıkabilir. Bu çalışmada tek bir hareketli nesne kullanılmıştır. Bu nedenle hedef, etrafı iyice yalıtılmış bir güzergahta hareket ettirilmiştir. Eğer belirli bir nesne izlenecekse bu sisteme ek üniteler ilave

edilmelidir. Kullanılacak bir görüntü algılama ve görüntü işleme ünitesi ile izlenecek nesne, diğerlerinden ayrılabilir.

Burada kullanılan sistemin hassasiyeti büyük ölçüde optik algılayıcılara ve adım motoruna bağlıdır. Optik algılayıcıların arasında kalan görüş alanının genişliği, sistemin çalışma performansını etkileyen bir faktör olarak ortaya çıkmaktadır. Ayrıca algılayıcıların etki uzaklığı da önemlidir. Adım motorlarının adım mesafesi de sistemin hassasiyeti açısından önemlidir. Çünkü iki adım arasına gelecek bir referans konumunda, konum hatası oluşacaktır.

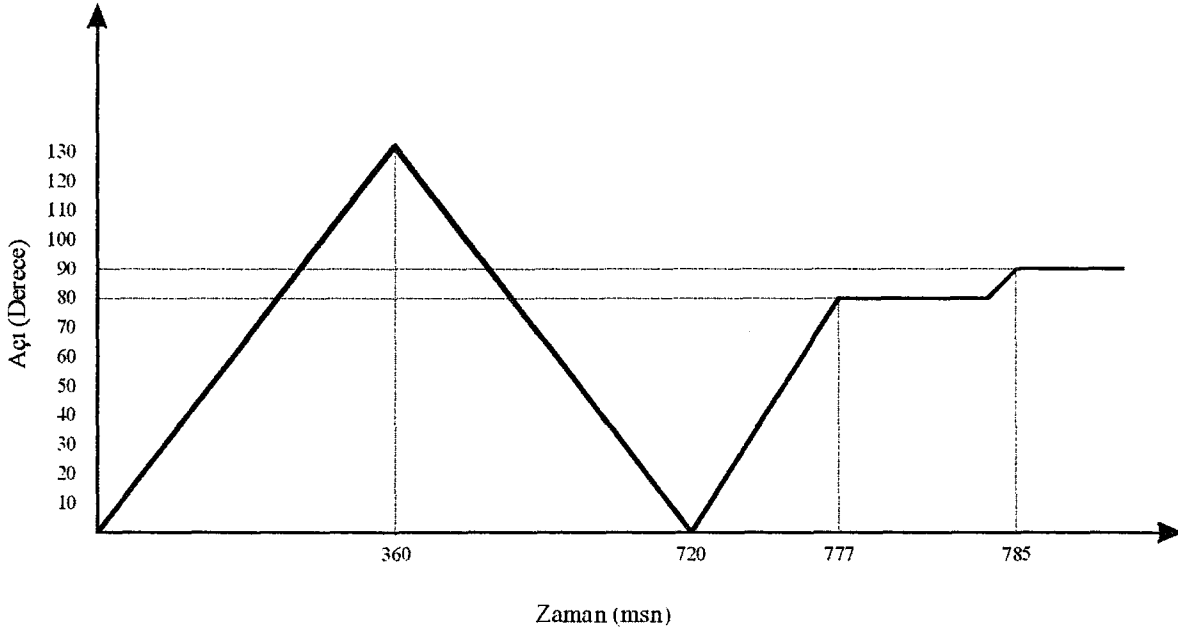
Farklı boyutlarda hedeflerin olduğu bir ortamda algılayıcılar arası mesafe en küçük hedefe göre ayarlanmalıdır. Ayrıca algılanabilecek en küçük hedefin boyu 1 cm'dir.

Şekil 68'de algılayıcılardan bilgi gelmediği durumda tarama işlemi yapılırken açı ile zaman arasındaki değişim görülmektedir. Bu esnada sistemde hedef bulanmamaktadır.



Şekil 68. Tarama işlemi sırasında açı ile zamanın değişimi

Şekil 69'da tarama işlemi sonunda rastgele yerleştirilen hedefin yakalanması gösterilmiştir. Yerleştirilen hedef referans noktasına göre 80° sola yerleştirilmiştir. Daha sonra hedef referansa göre 90° sol noktasına hareket ettirilmiş ve hedefin hareketi durdurulmuştur.



Şekil 69. Farklı iki referans seviyesi için hedefin yakalanma eğrisi

#### 4. TARTIŞMA

Bu çalışmada hareketli nesne izleme ve konum denetim sistemi tasarlanmıştır. Sistemde açık çevrim kontrol tekniği kullanılmıştır. Sistem bilgisayar ile kontrol edilmektedir. Hareketli nesne, algılayıcılar ve adım motoru kullanılarak takip edilmektedir.

Farklı pek çok pozisyon kontrol sistemi kullanılmaktadır. Pozisyon kontrol sistemlerinin bilinen en iyi örneği radarlardır. Bu radarlar, hedef olarak bir uçağı tespit etmekte ve daha sonra füze hedefe kilitleyerek uçağı düşürmektedir. Böyle bir sistem geniş ölçekli, hassas ve pahalı bir uygulamadır. Hedefin yeri ultrasonik dalgalar kullanılarak tespit edilir. Yaptığımız benzer çalışmada bu sistemin endüstriyel uygulamalar için kullanımı amaçlanmıştır. Yürüyen bir bantta rasgele gelen cisimler arasında belli boyutta olanlarının diğerlerinden ayrılması için etkin olarak bu sistem kullanılabilir. Bu konuda pek çok farklı örnek verilebilir.

Endüstriyel bir uygulamada hareketli hedefi takip etmek için optik algılayıcıları kullanmak iyi bir çözümdür. Çünkü optik algılayıcılar diğer algılayıcılara göre pahalı değildir ve daha uzak mesafedeki değişimleri algılayabilirler.

Sistemin doğruluğu oldukça iyidir. Bu nedenle açık çevrim kontrol tekniği bu sistemi kontrol etmekte yeterli olmaktadır. Bunun yanında çok daha etkin pek çok farklı kontrol tekniği de bu sisteme başarı ile uygulanabilir. Sistemde ender olarak meydana gelen adım hataları, kapalı çevrim kontrol tekniği kullanılarak daha iyi bir şekilde kontrol edilebilir. Ancak bu durumda fazladan donanım ve maliyet ortaya çıkmaktadır.

Kullanılan adım motoru sayesinde hassas ayarlama yapılabilmektedir. Pek çok hassas işin gerektiği endüstriyel uygulamalarda adım motoru tercih edilmekte ve sıkça kullanılmaktadır. Diğer elektrik motorları ile aynı hassaslıkta işlem yapmak çok daha zordur.

Kurulan sistem gerçek zamanlı bir uygulamadır. Bu nedenle işlemleri hızlı bir şekilde yapması gerektiği için, bu program Windows tabanlı görsel programlama dilleri kullanıldığında her zaman istenen sonucu vermeyebilir.

Çalışmadan elde edilen sonuçlara göre sistemde hedef kısa sürede yakalanmakta ve sistem hızlı çalıştığı için oldukça güvenilir sonuçlar vermektedir. Ayrıca sistemin bilgisayar destekli olması kısa sürede etkin bir şekilde sisteme müdahaleyi mümkün kılmaktadır.



## 5. SONUÇLAR

Yapılan deneysel çalışma ve literatür araştırmaları sonucunda optik algılayıcılar kullanılarak iyi bir şekilde hareketli nesne izleme ve konum denetimi yapılabilir. Diğer farklı yapıdaki algılayıcılar böyle bir uygulama için uygun değildir. Gerek algılama mesafelerinin az oluşu gerekse yüksek maliyetleri nedeniyle bu iş için uygun değildirler.

Yapılan sistem, askeri radar uygulamalarına göre çok daha sınırlı ve ucuzdur. Sistem askeri amaçlı olmaktan çok endüstriyel amaçlıdır.

Bu sistem, maliyetinin düşük olması ve farklı uygulamalarda kullanılmaya oldukça elverişli olması nedeniyle tercih edilebilir bir sistemdir. Her sistemin içine rahatlıkla adapte edilebilmekte ve otomasyon sistemlerine rahatça bağlanabilmektedir.

Sistemin yapısının basit olması oluşabilecek arızaların hızlı tespit edilmesine olanak sağlar. Sistemde kullanılan malzemeler kolayca bulunabilir ve ucuzdur.

Sistemin harcadığı güç oldukça düşüktür. Kullanıcıya fazladan enerji sarfiyatı nedeniyle maliyet yükü getirmez.

Farklı kontrol teknikleri bu sisteme rahatça uygulanabilir. İlave sistemlerle çok farklı uygulamalar yapılabilir.

Kullanıcı dostu program ara yüzü ile sistem çalışması monitörden takip edilebilir. Bir sorun halinde sisteme anında uzaktan müdahale edilebilir.

Şekil 68 ve Şekil 69'da elde edilen grafikler sistem davranışının lineer olduğunu göstermektedir. Sargılara düzgün olarak 10 msn'lik aralıklarla enerji verilmektedir. Adım motoru, bu değer altındaki zaman değerlerinde, sargılar manyetik enerjiyi boşaltamadıkları için adım atlayarak çalışmaktadırlar. Deneysel olarak tespit edilen 10 msn değerinden daha fazla bir zaman gecikmesi motorun daha yavaş hareket etmesine neden olmaktadır.

## 6. ÖNERİLER

Bu çalışmada bir hareketli nesne izleme ve konum denetim sistemi geliştirmek amaçlanmıştır. Otomasyon sistemlerinde rahatça kullanılabilcek bir takip ve konum denetim sistemi uygulaması yapılmıştır.

Deneysel çalışmada kullanılan algılayıcıların algılama mesafesi maksimum 40 cm'dir. Daha uzak mesafeleri algılamada başka algılayıcıların kullanılması gerekir.

Adım motorun açısı yapılan işin hassasiyetini etkilemektedir. Yapılan bu sistem lazer ile göz tedavisi gibi uygulamalarda yeterince hassas değildir. Bu gibi uygulamalarda çok daha hassas motorlar kullanmak gereklidir.

Kontrol tekniği olarak açık çevrim kontrol tekniği kullanılmıştır. Sistem kapalı çevrim kontrol tekniği kullanılarak çok daha güvenli bir hale getirilebilir.

Sistem, bilgisayar yerine mikrokontrolör kullanılarak çok daha ucuza mal edilebilir. Bu durumda bilgisayara ihtiyaç yoktur. Fakat o zaman sistem monitörden izlenemez.

## 7. KAYNAKLAR

1. Bodson, M. ve Chiasson, J., Application of Nonlinear Control Methods of the Positioning of a Permanent Magnet Stepper Motor, Proceedings of the 28th IEEE Conference on Decision and Control, December 1989, Tampa Florida, 531-532.
2. Rodriguez, H., Martins, S.F. ve Bosco, J., A Fuzzy Logic Controller for DC Motor Position Control, Emerging Technologies and Factory Automation Design and Operations of Intelligent Factories, IEEE 2nd International Workshop, May 1993, 18-27.
3. Johnson, M.J. ve Subramanyam, G., A Paralel Port Interface Circuit for Computer Control Applications Involving Multiple Stepper Motors, IEEE 39th Midwest Symposium, August 1996, Vol.2, 889-892.
4. Altaş, İ.H., A Fuzzy Logic Controlled Tracking System for Moving Targets, Proceedings of the 12th IEEE International Symposium on Intelligent Control, July 1997, İstanbul, Turkey, 43-48.
5. Altaş, İ.H., A Fuzzy Logic Based Door Position Control System, 3rd International Mechatronic Design and Modeling Workshop, September 1997, METU, Ankara-Turkey.
6. Sanchez, E.N., Loukianov, A.G. ve Felix, R.A., Stepper Motor Trajectory Tracking via Dynamic Block Form Neural Networks, Proceedings of the 15th IEEE International Symposium on Intelligent Control, July 2000, Rio, Patras, Greece, 267-272.
7. Jingzhuo, S., Dianguo, X. ve Zongpei, W., Integrated Position Sensor for Hybrit Stepping Motor Servo System Based on DSP, IECON'90 16th Annual Conference of IEEE Industrial Electronics Society, November 1990, 1002-1006.
8. Altunsaçlı, A., Elektrik Makinaları, 3. Cilt, Color Ofset Yayınevi, İskenderun, 2003.
9. Axelson, A., Her Yönüyle Paralel Port, Bileşim Yayıncılık A.Ş., İstanbul, 1999.
10. Bal, G., Özel Elektrik Makinaları, Seçkin Yayıncılık San. ve Tic. A.Ş., Ankara, 2004.
11. Fairchild Semiconductor, 74LS244 Octal 3 State Buffer/Line Driver/Line Receiver, August 1985.
12. Gümüşkaya, H., Mikroişlemciler ve Bilgisayarlar, Alfa Basım Yayım Dağıtım Sanayi ve Tic. Ltd. Şti, Ekim 1999.
13. Gürdal. O., Algılayıcılar ve Dönüştürücüler, Nobel Yayın Dağıtım, Ankara, Kasım 2000.

14. SGS-Thomson Microelectronics, 74HC244 Octal Bus Buffer with 3 State Outputs, October 1993.
15. SGS-Thomson Microelectronics, ULN2004 Seven Darlington Arrays, April 1993.
16. Yüksel, İ., Otomatik Kontrol, Uludağ Üniversitesi Basımevi, Bursa, 1995.
17. Mefa Sensör MF40-S18-NG DC 4 Telli Cisimden Yansımali Sensör, İstanbul, 2004.



## 8. EKLER

### Kontrol programı;

```
#include<stdio.h>
#include<stdlib.h>
#include<conio.h>
#include<math.h>
#include<dos.h>
#include<graphics.h>

void opengraph( void );
void arkaplan( void );
void dilim (int i, int renk);

void main(void)
{
    int dport = 0x378;
    int cport = 0x37A;
    int data=0;
    int i=0,x=0,j=0,k=0, j0, k0, hedef=0, yon=0;
    char tus;
    outportb(dport,0x00);
    clrscr();
    opengraph();
    arkaplan();

    setfillstyle(1,4);

    outtextxy(168,448,"Baslamak icin ENTER tusuna basiniz...");
```

```
do  tus=getch(); while(tus!=13);
bar (121, 445, 497, 459);
outtextxy(168,448,"Cikmak işin ESCAPE tusuna basiniz...");
```

```
do
{
```

```
    i=0; x=0; data=0;
    outportb(cport,0xe0);
    outportb(dport,0x00);
    outportb(cport,0xeB);
    x=inportb(dport);
```

```
onur:
```

```
data=inportb(dport);
```

```
delay(5);
```

```
if (k==18){j=0; k=0; }
```

```
if (data==1)
```

```
{
```

```
    j0=j; k0=k;
```

```
    outportb(0x37A,0x03); delay(10);
```

```
    outportb(0x37A,0x0F); delay(10);
```

```
    outportb(0x37A,0x09); delay(10);
```

```
    outportb(0x37A,0x0A); delay(10);
```

```
    outportb(0x37A,0x0B); delay(10);
```

```
    j=j-1;
```

```
    k=k+1;
```

```
}
```

```
else if (data==2)
{

    j0=j; k0=k;
    outportb(0x37A,0x0A); delay(10);
    outportb(0x37A,0x09); delay(10);
    outportb(0x37A,0x0F); delay(10);
    outportb(0x37A,0x03); delay(10);
    outportb(0x37A,0x0B); delay(10);
    j=j+1;
    k=k-1;
}

else if (data==3)
{

    settextstyle(0,0,5);
    outtextxy(65,395,"RADAR HEDEFTE");
    hedef=1;
}

else if (data==0)
{
    if ( yon==0 )
    {
        j0=j;
        outportb(0x37A,0x0A); delay(10);
        outportb(0x37A,0x09); delay(10);
        outportb(0x37A,0x0F); delay(10);
        outportb(0x37A,0x03); delay(10);
        outportb(0x37A,0x0B); delay(10);
        j=j+1;
```

```

        if ( j == 18 ) yon = 1;
    }

    if ( yon == 1 )
    {
        k0=k;
        outportb(0x37A,0x03); delay(10);
        outportb(0x37A,0x0F); delay(10);
        outportb(0x37A,0x09); delay(10);
        outportb(0x37A,0x0A); delay(10);
        outportb(0x37A,0x0B); delay(10);
        k=k+1;

        if ( k == 18 ) yon = 0;
    }
}
else
{
    x=data;
    goto onur;
}

if ( kbhit() != 0 )  tus=getch();

if ( hedef == 1  && data == 0)
{

    setfillstyle(1,4);
    bar(19,386,621,435);
    settextstyle(0,0,5);
    outtextxy(65,395,"SiSTEMDE HATA");
}

```



```
setcolor(15);
settextstyle(0,0,0);
bar (121, 445, 497, 459);
outtextxy(160,448,"Resetlemek icin SPACE tusuna basiniz...");
```

```
do
{
```

```
    tus=getch();
```

```
    if ( tus == 77 )
```

```
    {
```

```
        j0=j; k0=k;
```

```
        outportb(0x37A,0x03); delay(10);
```

```
        outportb(0x37A,0x0F); delay(10);
```

```
        outportb(0x37A,0x09); delay(10);
```

```
        outportb(0x37A,0x0A); delay(10);
```

```
        outportb(0x37A,0x0B); delay(10);
```

```
        j=j-1;
```

```
        k=k+1;
```

```
        dilim(18-j0, 0); dilim(18-j ,14);
```

```
        dilim(k0, 0);          dilim(k ,14);
```

```
    }
```

```
    if ( tus == 75 )
```

```
    {
```

```
        j0=j; k0=k;
```

```
        outportb(0x37A,0x0A); delay(10);
```

```
        outportb(0x37A,0x09); delay(10);
```

```
        outportb(0x37A,0x0F); delay(10);
```

```
        outportb(0x37A,0x03); delay(10);
```

```
        outportb(0x37A,0x0B); delay(10);
```

```
        j=j+1;
```

```
        k=k-1;
```

```

        dilim(18-j0, 0); dilim(18-j ,14);
        dilim(k0, 0);      dilim(k ,14);
    }

```

```

        bar(19,386,621,435);
        settextstyle(0,0,5);

```

```

    } while ( tus != 32 );

```

```

    if ( tus== 32 ) { k=18; j=0; }
    hedef=0;

```

```

    setcolor(15);
    settextstyle(0,0,0);
    bar (121, 445, 497, 459);
    outtextxy(168,448,"Çikmak için ESCAPE tusuna basiniz...");
}

```

```

    dilim(18-j0, 0);
    dilim(18-j ,14);
    dilim(k0, 0);
    dilim(k ,14);

```

```

} while(tus!=27);

```

```

outportb(0x378,0x00);

```

```

}

```

```

void opengraph( void )

```

```

{

```

```

    int gra=9, grm=2;

```

```

    initgraph(&gra ,&grm, "c:\\TC\\BGI");
}

void arkaplan( void )
{
    int i;

    rectangle(5,5,635,475);
    rectangle(10,10,630,470);
    rectangle(13,13,627,467);

    rectangle(18,18,622,38);
    setfillstyle(1,4);
    floodfill(20,20,15);
    setcolor(0);
    outtextxy(28,26," HEDEF TAKiP PROGRAMI Elektronik Muh Onur MENGi ");
    setcolor(8);
    outtextxy(27,25," HEDEF_TAKiP_PROGRA Elektronik Muh Onur MENGi ");
    setcolor(15);
    outtextxy(26,24," HEDEF_TAKiP_PROGRAMI Elektronik Muh Onur MENGi ");

    rectangle(18,442,622,462);
    setfillstyle(1,4);
    floodfill(20,444,15);
    outtextxy(26,448,"[Cikis ESC]                [Reset SPACE]");

    rectangle(18,42,622,380);
    rectangle(18,385,622,436);
    setfillstyle(1,4);
    floodfill(20,400,15);

```

```
settextstyle(0,0,0);  
setfillstyle(1,4);  
floodfill(7,7,15);  
setfillstyle(1,1);  
floodfill(15,15,15);
```

```
setcolor(15);  
arc(320,360,45,135,300);  
arc(320,360,45,135,280);
```

```
line(320,60,320,340);  
line(108,148,320,340); line(532,148,320,340);  
line(126,130,320,340); line(514,130,320,340);  
line(146,115,320,340); line(494,115,320,340);  
line(169,101,320,340); line(471,101,320,340);  
line(193,88,320,340); line(447,88,320,340);  
line(217,78,320,340); line(423,78,320,340);  
line(241,71,320,340); line(399,71,320,340);  
line(267,65,320,340); line(372,65,320,340);  
line(294,61,320,340); line(347,61,320,340);
```

```
circle(320,340,30);
```

```
rectangle(48,48,230,62);  
rectangle(25,46,232,64);
```

```
rectangle(590,48,408,62);  
rectangle(615,46,406,64);
```

```
setfillstyle(1,9);  
floodfill(20,55,15);
```

```
setfillstyle(1,1);
```

```
floodfill(320,350,15);
delay(500);
}

void dilim (int i, int renk)
{
    setcolor(renk);

    switch (i%18+1) {
        case 1:  circle(125,147,5); circle(125,147,3); break;
        case 2:  circle(143,132,5); circle(143,132,3); break;
        case 3:  circle(163,116,5); circle(163,116,3); break;
        case 4:  circle(185,104,5); circle(185,104,3); break;
        case 5:  circle(209, 93,5); circle(209, 93,3); break;
        case 6:  circle(232, 85,5); circle(232, 85,3); break;
        case 7:  circle(257, 79,5); circle(257, 79,3); break;
        case 8:  circle(282, 74,5); circle(282, 74,3); break;
        case 9:  circle(308, 72,5); circle(308, 72,3); break;
        case 10: circle(334, 71,5); circle(334, 71,3); break;
        case 11: circle(359, 74,5); circle(359, 74,3); break;
        case 12: circle(383, 79,5); circle(383, 79,3); break;
        case 13: circle(408, 85,5); circle(408, 85,3); break;
        case 14: circle(431, 94,5); circle(431, 94,3); break;
        case 15: circle(454,104,5); circle(454,104,3); break;
        case 16: circle(477,118,5); circle(477,118,3); break;
        case 17: circle(497,132,5); circle(497,132,3); break;
        case 18: circle(516,147,5); circle(516,147,3); break;
    }
    setcolor(15);
}
```

## ÖZGEÇMİŞ

15.06.1978 yılında İstanbul'da doğan Onur Özdal Mengi, ilk, orta ve lise öğrenimini Elazığ'da tamamladı. 1995 yılında Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği bölümünü kazandı. 1997 yılında özel bir bilgisayar şirketinde 6 ay süre ile teknik servis görevlisi olarak çalıştı. Şubat 2000'de lisans öğrenimini tamamlayarak aynı yıl Eylül ayında Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik - Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda yüksek lisans öğrenimine başladı. Bir sene İngilizce hazırlık okudu. Aralık 2002'de Karadeniz Teknik Üniversitesi Giresun Meslek Yüksekokulu Teknik Programlar Endüstriyel Elektronik Bölümü'ne öğretim görevlisi olarak atandı. Halen aynı göreve devam eden Onur Özdal Mengi, İngilizce bilmektedir.

