

**ÜÇ PARMAKLI SMA ROBOT ELİN ÜRETİMİ VE
UYGULAMA ANALİZİ**

Savaş DİLİBAL

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
(ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ)**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Temmuz 1999

ANKARA

**ÜÇ PARMAKLI SMA ROBOT ELİN ÜRETİMİ VE
UYGULAMA ANALİZİ**

Savaş DİLİBAL

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
(ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ)**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Temmuz 1999

ANKARA

Savaş DİLİBAL tarafından hazırlanan ÜÇ PARMAKLI SMA ROBOT ELİN
ÜRETİMİ VE UYGULAMA ANALİZİ adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi
olarak uygun olduğunu onaylarım.

Eğiner

Yrd.Doç.Dr. Ertan GÜNER

Tez Yöneticisi

Bu çalışma jürimiz tarafından Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Doç. Dr. Orhan ZÜMRÜT *Orhan Zümrüt*
Üye : Yrd. Doç. Dr. Ertan GÜNER *Eğiner*
Üye : Yrd. Doç. Dr. Nizami AURENİK *Nizami Aurenik*
Üye : _____
Üye : _____

Bu tez Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına
uygundur.

İ Ç İ N D E K İ L E R

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR.	iii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	iv
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	v
1. GİRİŞ	1
2. ENDÜSTRİYEL ROBOTLAR	4
2.1. Bilgisayarla Bütünleşik İmalat Sistemleri ve Endüstriyel Robotlar	4
2.2. Endüstriyel Robotların Sınıflandırılması	11
2.2.1. Mekanik işleyicinin yapısına göre sınıflandırma	12
2.2.1.1. Kartezyen koordinatlı robotlar	12
2.2.1.2. Silindirik koordinatlı robotlar	14
2.2.1.3. Küresel koordinatlı robotlar	16
2.2.1.4. Eklemlı robotlar	18
2.2.2. Hareket kontrolü yöntemlerine göre sınıflandırma	21
2.2.2.1. Noktadan noktaya hareket eden robot sistemleri	23
2.2.2.2. Sürekli güzergahlı robot sistemleri	23
2.2.3. Kontrol döngüsü tipine göre sınıflandırma	24
2.2.3.1. Açık döngü kontrol sistemleri	25
2.2.3.2. Kapalı döngü kontrol sistemleri	25
2.3. Uç Etkileyiciler	27
2.3.1. Kavrayıcılar	28
2.3.1.1. Tek yüzeyden kavrayıcılar	29

2.3.1.2.	Çok yüzeyden kavrayıcılar	31
2.4.	Geleneksel Hareketlendirici Düzenekleri (Elektrik , Hidrolik , Pnömatik Hareketlendirici Düzenekleri)	37
2.5.	Şekil Bellekli Alaşımlar ve Robotikte Kullanımı	40
2.5.1	Şekil bellekli alaşımların genel özellikleri	40
2.5.2	Şekil bellekli alaşımların robotikte kullanım alanları	44
2.5.3.	Şekil bellek alaşımlı hareketlendiriciler için kontrol sistemleri	47
3.	SMA ROBOT ELİN YAPIMI VE ALT SİSTEMLERİ	50
3.1.	SMA Robot Elde Kullanılan Malzemeler	50
3.2.	Çift Yönlü Şekil Bellek Eğitiminin Yapılması	51
3.3.	SMA Robot Elin Tasarımı ve Robot Elin Alt Sistemleri	54
3.4.	SMA Robot Elin Kontrolü	56
4.	PERFORMANS ANALİZ DENEYLERİ VE SONUÇLARI	59
4.1.....	Verilen Güce Göre Ni-Ti Parmakların Kapanma Süresi	59
4.2.....	SMA Robot Elde Kavrama-Bırakma/Zaman Analizi	60
4.3.	SMA Robot Elin Kavrayabileceği En küçük en Büyük Parça Boyutları	60
4.4.....	SMA Robot Elin Taşıyabileceği En Büyük Parça Ağırlığı	61
4.5.	Robot El Parmaklarının Uygulayabileceği En Yüksek Kuvvet	62
4.6.	SMA Robot Elin METUHAND İle Performans Karşılaştırılması	63
5.	SONUÇ VE ÖNERİLER	66

KAYNAKLAR69

EKLER

EK-1 SMA Robot Elin Katı Modellemesi72

EK-2 DSC Analizi73

EK-3 SMA Robot Elle Çeşitli Parçaların Kavranması74

ÖZGEÇMİŞ76

**ÜÇ PARMAKLI SMA ROBOT ELİN ÜRETİMİ VE
UYGULAMA ANALİZİ
(Yüksek Lisans Tezi)**

Savaş DİLİBAL

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Temmuz 1999**

ÖZET

Robotik alanında gelişmekte olan yeni çalışma konularından bir tanesi de çok parmaklı robot elle değişik özellikteki cisimleri amaca yönelik olarak kavrama çalışmalarıdır. Robot uygulamalarında uç eleman olan tutucular parçaların taşınmasında, montaj işlemlerinde, kaynak işlemlerinde, boyama işlemlerinde kullanılmaktadır. Fakat bir montaj hattında aynı tutucunun birden fazla işi yapması veya değişik özellikteki parçaları taşıması düşünüldüğünde bunun işlevsel bakımdan zorlukları görülmektedir. Bu durumda genel maksatlı robot ele ihtiyaç duyulduğu bir gerçektir.

Robot ellerde eklemlerin hareketi için en yaygın olarak kullanılan hareketlendirici teknolojileri elektrik motorları, hidrolik hareketlendiriciler ve pnömatik hareketlendiricilerdir. Bunların dışında şekil bellekli alaşımları da hareketlendirici teknolojilerine dahil etmek mümkündür. Şekil bellekli alaşımlar, belli sıcaklık derecelerinde daha önceden kazandırılmış konumlarına geçerek malzemeye bir hareket kazandırır. Önemli olan konu bu hareketi robot el üzerinde kullanarak bunu kavrama özelliğine dönüştürmektir.

Bu tez çalışmasında, ODTÜ Elektrik-Elektronik Mühendisliği'nde yapılan METUHAND ile Nikel-Titanyum (Ni-Ti) şekil bellekli alaşım kullanarak tasarım ve prototipini yaptığımız robot el arasında bazı karşılaştırmalar yapılarak, prototipin endüstriyel ortama uygunluğunu belirlemek amacıyla deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

Bilim Kodu	: 605. 01. 00
Anahtar Kelimeler	: Robotik, Hünerli Robot Eller, Şekil Bellekli Alaşımlar, Ni-Ti Alaşımı
Sayfa adedi	: 76
Tez Yöneticisi	: Yrd. Doç. Dr. Ertan GÜNER

ii

**PRODUCTION OF THREE-FINGER SMA ROBOT HAND
AND ITS PRACTICAL ANALYSIS
(M.Sc. Thesis)**

Savaş DİLİBAL

**GAZİ UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
July 1999**

ABSTRACT

Gripping of different types of objects with multi-finger robot hand is one of the study area in robotics. Grippers, which are end effector elements in robot applications, can be used easily in the transfer of parts, the assembly, the welding and painting operations. However, if a gripper is considered to handle different jobs or to carry different types of parts in an assembly line, some functional difficulties can be faced. Hence, a general purpose robot hand is going to be strongly required in these kind of cases.

There are various technological actuators such as electrical motors, hydraulic and pneumatic ones, etc. Besides these conventional actuators, it is possible to include shape memory alloys into technological actuators category. Shape memory alloys can give materials a motion by arriving its predetermined positions at a specific temperature. The conversion of this motion to gripping feature of the robot hand is the heart of matter.

In this M.Sc. Study, after making the comparison of METUHAND produced by the Department of Electrical and Electronical Engineering, METU, with SMA Robot Hand, developed using Ni-Ti shape memory alloys, for this study, we made and the experimental studies of these two systems were performed in order to check the compatibility of the system in the industrial environment.

Science Code : 605. 01. 00
Key Words : Robot Grippers, Dexterious Robot Hands, Shape
Memory Alloys, Ni-Ti Alloy
Page number : 76
Adviser : Ass. Prof. Ertan GÜNER

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli katkılarıyla beni yönlendiren hocam Yrd. Doç. Dr. Ertan GÜNER'e ve çalışmalarım esnasında yardımlarından dolayı İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü'nden Yrd.Doç.Dr. Mustafa GÜDEN'e ODTÜ Elektrik Elektronik Müh. Bölümü'nden Doç.Dr.Aydan ERKMEN'e, Erkan ZERGEROĞLU'na ODTÜ Makine Müh. Bölümü CAD/CAM/ROBOTICS'ten Erhan KAYABAŞ'a derin teşekkürlerimi sunarım.

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Robotların diğer alternatifleri ile karşılaştırılması	9
Çizelge 2.2. Bazı robot ellerin karşılaştırması	35
Çizelge 2.3. Geleneksel hareketlendirici sistemleri	40
Çizelge 2.4. Bazı şekil bellekli alaşımların bileşimi ve dönüşüm	
Sıcaklıkları	41
Çizelge 3.1. SMA Robot Elin çalışma akış şeması	58
Çizelge 4.1. Parmak sayısına ve verilen güce	
göre Ni-Ti parmakların kapanma süresi	59
Çizelge 4.2. SMA Robot Elde farklı soğutma sistemleri kullanıldığında	
bırakma süreleri	60
Çizelge 4.3. METUHAND ile tekrar analizi	64

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	sayfa
Şekil 2.1. Kartezyen koordinatlı mekanik işleyici	13
Şekil 2.2. Kartezyen koordinatlı robot	14
Şekil 2.3. Silindirik koordinatlı mekanik işleyici	15
Şekil 2.4. Silindirik koordinatlı robot	16
Şekil 2.5. Küresel koordinatlı robot mekanik işleyici ve hareket Sahası	16
Şekil 2.6. Küresel koordinatlı robot	17
Şekil 2.7. Eklemlı mekanik işleyici	18
Şekil 2.8. Eklemlı robot	19
Şekil 2.9 SCARA tipi mekanik işleyici	20
Şekil 2.10. SCARA tipi eklemlı robot	21
Şekil 2.11. İki boyutlu düzlemde muhtemel hareket çeşitleri	22
Şekil 2.12. Zımpara taşılama yapan bir robot	27
Şekil 2.13. Vakumlu kavrama	29
Şekil 2.14 Elektromanyetik kavrama ve bırakma	30
Şekil 2.15. Çok yüzeyden kavrayıcılara örnekler	31
Şekil 2.16 Bir endüstriyel robotun çeneli tip kavrayıcıları	31
Şekil 2.17. Çeneli tip kavrayıcı örnekleri	32
Şekil 2.18. Mümkün kavrama alanı	33
Şekil 2.19. Bazı örnek robot eller	34

Şekil 2.20. Standford/JPL . Robot Eliyle kavrama	36
Şekil 2.21 METUHAND Robot Eli	36
Şekil 2.22. METUHAND'ın adım motorlarıyla beraber görünümü	37
Şekil 2.23 Şekil bellekli alaşımların hareketlendirici olarak Kullanılması	42
Şekil 2.24. Bazı hareketlendirici sistemlerinde güç/ ağırlık oranları	43
Şekil 2.25. Şekil bellekli alaşımlarla yapılan bir mikro tutucu	45
Şekil 2.26. Şekil bellekli alaşım kontrol değişkenleri	48
Şekil 2.27. Ni-Ti alaşımında sıcaklık / öz direnç değişimi	49
Şekil 3.1. Ni-Ti parmaklara kazandırılan kavrama hareketleri	51
Şekil 3.2. Laboratuarda fırın içinde bellek eğitimi yapılması	52
Şekil 3.3. Araştırmada kullanılan Ni-Ti' nin sıcaklık /şekil değişimi	53
Şekil 3.4. SMA Robot Elin tasarımı	55
Şekil 4.1. İnce kavrama ile ağırlık kaldırılması	62
Şekil 4.2. Tek parmağın uygulayabileceği en yüksek kuvvet tespiti	63

1. GİRİŞ

Günümüz işletmelerinde gelişmiş teknoloji kullanımının her geçen gün yenilenerek arttığı şu yıllarda, endüstriyel robotlarda işletmelerin birçok bölümünde hızla yerini almaya başlamıştır. Endüstriyel robot kullanımı; işletme için daha rekabetçi davranış, daha esnek üretim ve daha kaliteli ürün çıktısını da beraberinde getirmektedir. Endüstriyel robotların işletmelerde daha yüksek oranda ve daha büyük verimle, işletmenin diğer birimleriyle bütünleşik olarak çalışması için yapılan araştırmalar devam eden çalışmalar arasındadır.

Robotik alanında gelişmekte olan yeni çalışma konularından bir tanesi de çok parmaklı robot elle değişik özellikteki cisimleri amaca yönelik olarak kavrama çalışmalarıdır. İşletmelerde bir endüstriyel robotun yapılacak olan görevle etkileşim halinde olan en uç birimi yani robot uç etkileyicisi parçaların taşınmasında, montaj işlemlerinde, kaynak işlemlerinde, boyama işlemlerinde kullanılıma oranı hızla artmaktadır. Bunun yanında, bir endüstriyel robot uç etkileyicisinin birden fazla işi yapması veya değişik özellikteki parçaları kavrama özelliğine sahip olması yani genel maksatlı olarak kullanılabilmesi, işletmenin esnek üretim sistemine büyük destek sağlayacaktır.

Kullanımı devam eden robot ellerin birçoğunda, geleneksel hareketlendirici sistemleri olarakta bahsedilen elektrik, hidrolik, pnömatik hareketlendirici sistemlerinden yararlanılmaktadır. Robot el için gerekli hareketlendirici düzeneğinin karmaşık olmayan, kontrolü kolay sağlanabilen, esnek bir sistemden oluşması işletmelerde endüstriyel robotların daha geniş bir alanda kullanılmasını sağlayacaktır. Bu sağlandığı takdirde endüstriyel robotun diğer kısımları üzerinde robot uç etkileyicisinin uygun kavrama yapabilmesi için

gerekli karmaşık hareketleri yapma gereği azalacak böylece bu alanda oluşan büyük sorunlar aşılmış olacaktır.

Bir insan operatörün verimli, yüksek tempoda çalışabilmesi için parmaklarının hareket yeteneği ne kadar önemli ise, endüstriyel bir robot sisteminde de robot-el ve parmakların hareket yeteneğinin önemi o derece yüksektir. Robot-el ne kadar hünerli çalışırsa, ürünlerdeki hassasiyet ve verim oranı o oranda yüksek olacaktır.

Yapılan çalışmada şekil bellekli alaşımların hareketlendirici özelliğini robot-el ile kavrama özelliğine dönüştürerek bir robot-el tasarımı gerçekleştirmek ve prototip bir robot el oluşturarak alternatif bir robot el sistemiyle karşılaştırmak amaçlanmıştır. Oluşturulacak olan tasarımın öncelikle katı modellemesinin yapılması, ardından eli oluşturacak malzemenin tedarikine karar verilmiştir.

Şekil bellekli alaşımların bir çok alanda kullanılması; çalışma mekanizmasının basitliği, yüksek güç/ağırlık oranı, gürültüsüz, sessiz bir şekilde çalışması, korozyona karşı yüksek dayanıklılık göstermesi, temiz ve çevreyi kirletmeden çalışması, elektrik akımıyla kontrol edilebilme kolaylığı gibi değişik avantajları beraberinde getirmektedir. Bütün bu özellikleri sağlayan şekil bellekli alaşımların robotik teknolojisinde kullanımı her geçen gün artmaktadır.

Tezde, giriş bölümünden sonra ikinci bölümde endüstriyel robotlar, robot kavrayıcı sistemleri ve şekil bellekli alaşımlarla ilgili literatür araştırmalarına yer verilmiştir. Üçüncü bölümde Nikel-Titanyum alaşımı kullanılarak tasarlanan robot elin tasarım aşamaları, tasarımda kullanılan malzemeler, ve robot elin çalışma sistemi detaylı olarak açıklanmıştır. Dördüncü bölümde, bu elin kontrol sistemleri üzerine değinilmiş ve şekil bellekli alaşımların kontrolü

için kullanılabilecek diğ er alternatif kontrol sistemleri hakkında detaylı açıklama yapılmıştır. Beşinci bölümde prototipi oluşturulan SMA Robot El üzerinde yapılan kuvvet ve tekrar analizi deneylerine yer verilmiş ve daha önce tasarlanmış olan METUHAND Robot Eli ile kuvvet ve tekrar analizi bakımından karşılaştırmalar yapılmıştır. Son bölümde ise, ortaya çıkan sonuçlar ve gelecekte olabilecek çalışmalarla ilgili görüşler belirtilmiştir.

2. ENDÜSTRİYEL ROBOTLAR

Endüstriyel robotlar; endüstriyel alanda belli bir yerde sabit veya hareketli olarak endüstriyel otomasyonda kullanılan, otomatik olarak kontrol edilen, değişik amaçlar için yeniden programlanabilen mekanik işleyicilerdir (Spiteri , 1989).

2.1.Bilgisayarla Bütünleşik Üretim Sistemleri ve Endüstriyel Robotlar

Günümüzde modern üretim sistemi olarak bilgisayarla bütünleşik imalat (Computer Integrated Manufacturing; CIM) sistemi birçok işletmede hızla yerini almaya başlamıştır. Endüstriyel alanda çok hızlı ve çok boyutlu gelişmeler işletme içinde çalışma hayatını ve kişilerin iş görme yöntemlerini temelden değiştirmektedir. Bir yönetim stratejisi olarak bilgisayarla bütünleşik imalat sistemini kullanmak işletmelerde değişen pazar koşullarına, beklentileri artmış müşterilere, süratle değişen teknolojiye uyum sağlayabilmek için bir zorunluluk halini almıştır.

ABD’de 1993 yılında yapılan bir araştırma (Şarman,1996) imalat endüstrisinin yaklaşık % 87’sinin bilgisayarla bütünleşik imalat sistemine geçtiğini veya geçmekte olduğunu göstermiştir. CIM kullanan bu firmaların çoğunda ;

- a. Mühendislik tasarım maliyetlerinde % 15-30 azalma
- b. Genel tedarik sürelerinde % 30-60 azalma
- c. Bütün üretimde % 40-70 kazanç
- d. Mamül kalitesinde % 200-500 kazanç
- e. Yarı işlem envanterinde % 30-60 azalma görülmüştür.

Esnek üretim sistemi (Flexible Manufacturing System; FMS) ise; bilgisayarla bütünleşik üretime esneklik sağlamaya yönelik bir uygulamadır. Esneklik yeni dönem endüstriyel otomasyonu tanımlayan anahtar sözcüktür. Daha küçük partiler halinde üretim, daha kısa ürün ömrü, yeni ürünlerin hızla piyasaya sürülmesi ve benzeri normlar, tasarım ve üretim yöntemlerinin daha esnek hale getirilmesi ve şirketlerin esnek üretim sistemleri olarak adlandırılan üretim sistemlerine yönelmesi sonucunu doğurmuştur (Nahmias, 1993). Esnek üretim teknolojileri yani bilgisayar destekli tasarım (CAD), bilgisayar destekli mühendislik, simulasyon, robotik, sensör teknolojileri, sistem yönetimi ve benzeri teknolojiler bu çerçevede hızla gelişen alanlar olmuştur. Sonuçta bütün bu alanlardan doğacak esneklik firma bazında hareket esnekliğini ve dolayısıyla da rekabet gücünün artmasını sağlamaktadır. Genel anlamda, bir esnek üretim sistemi, birbirine bir malzeme taşıma ağıyla bağlanmış endüstriyel robotlar ve yarı bağımsız sayısal denetimli tezgahlardan oluşan, bilgisayar benzetim yöntemlerinden yararlanan, bilgisayar denetimli bir üretim sistemidir (Kırıl, 1996).

FMS üretim döngüsünü zaman, maliyet ve müşteri memnuniyeti açısından optimize etmek için, CAD/CAM sistemleri üretim ve malzeme tasarımı açısından bütünleşik olarak kullanılır. Bilgisayarla bütünleşik üretim sistemlerinde ise üretim sistemlerindeki bu işlevlerin yanında üretimin herhangi bir aşamasında bilgisayar desteği, kontrol ve bütünleşik otomasyon sağlayarak bilgisayar teknolojisi tüm sisteme yayılmıştır. Bu açıdan bilgisayarla bütünleşik üretim sistemi üç ana alt sistemin oluşturduğu bir bütün olarak düşünülebilir ;

- Yönetim Bilgi Sistemi (Management Information System ; MIS)
- Bilgisayar Destekli Tasarım (Computer Aided Design ; CAD)

- Bilgisayar Destekli İmalat (Computer Aided Manufacturing ; CAM)

İdeal bir bilgisayarla bütünleşik üretim sisteminde bu elemanların ortak bir veri tabanı aracılığıyla bağlanmış olması ve dolayısıyla sürekli olarak birbirinin durumundan haberdar olmaları gerekir. Ancak bilgisayarla bütünleşik üretim sistemini uygulayabilmek için büyük sermaye harcamalarına, üst düzey yönetimden kuvvetli desteğe ve organizasyonel esnekliğe gerek duyulduğu unutulmamalıdır (Şarman, 1996).

Bir üretim sistemlerinde CNC, otomatik yönlendirmeli taşıyıcılar ve endüstriyel robotlar, insanın iş yapabilme gücü ve yeteneğinin yerini alırken, bilgisayarla bütünleşik üretim sistemleri de insanın zekasının yerini almaktadır (Scheer, 1991).

Otomasyonda yeni teknolojiyle tanışma 1952'de NC (Numeric Control) üretim makinaları ile olmuştur. Üretim makinaları için NC'nin mantıksal uzantısı CNC'dir ve bu sistem bir mikrobilgisayarı içerisinde barındırır (Koren, 1985). Endüstriyel robotların gelişmesi CNC sistemleri ile eş zamanlı olmuştur. 1960'ların başlarında Unimation Inc. bugün endüstriyel robot olarak adlandırılan ilk başarılı makinayı yapmıştır. Birkaç kilogramlık yükü önceden belirlenmiş bir bantta taşımaya yönelik tasarlanmış bu endüstriyel robotta hidrolik hareketlendirici sistemi kullanılmıştır. Bu robota görev olarak, gürültülü ve tehlikeli bir ortamda tekrar eden sıkıcı işler yaptırılmıştır (Spiteri, 1989).

Önceleri sadece insan yaşamı için tehlike oluşturan yerlerde kullanılan robotlar, artık günümüzde endüstriyel alanda özellikle imalat otomasyonunda,

boyama, ark ve nokta kaynağı, cilalama, taşlama, parça yükleme, delme, montaj gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Örneğin Ford firmasında nokta kaynaklarının % 98'inden fazlası endüstriyel robotlar tarafından yapılmaktadır (Nalbant, 1997). Montaj işleminin özellikle yoğun işçilik gerektiren işlerden biri olması nedeniyle, imalat endüstrisi üretim hızının artırılması için montaj otomasyonunun sağlanmasına çalışmaktadır. Bu alanda endüstriyel robotların kullanılması işlem hacmini artırarak daha hızlı ve daha kaliteli ürün çıktısını sağlamaktadır.

Endüstriyel robotlar işletmelerde sermaye ekipmanlarının pahalı parçalarıdır. Bir üretim bandında endüstriyel robotların kullanılması için aynı işi yapan alternatif araçlarla endüstriyel robotlar karşılaştırılmalıdır. Diğer alternatif sistemlerle karşılaştırıldığında endüstriyel robotların tercih edilmesi üretim oranında ciddi bir artış veya üretim maliyetlerinde kalıcı bir azalma sağlamasına bağlıdır. Bunun sonucunda işletme piyasa ortamında daha rekabetçi bir tutum izleyebilecek veya net kar oranında bir artış sağlanmış olacaktır. Kısaca işletmelerde endüstriyel robotların kullanılmasıyla doğan sonuçlar şöyledir (Leathamjones, 1987):

a. Çıkan ürünün tektip olması; bu başarıldığı takdirde denetim ve kalite kontrol kademelerinin azalması, paketlenme maliyetlerinde düşme, artan müşteri memnuniyeti sağlanmış olur.

b. Doğruluk, tekrarlama, devamlılık yeteneği ve işin yapılması sürecinin kısaltılması.

c. Tahmin edilebilir ürün teslim zamanı; Etkin üretim kontrolü bir planlama ile gerçekleşir. Bu da yapılacak işler ve çıktının daha iyi tahmin edilebilirliği ile oluşur. Maliyetlerin tahmin edilmesiyle, finansal kontrol kolaylığını da gerçekleşir.

d. Yapılan işlem güvenilirliği yani hedeflenen işlerin daha kısa sürede ve istenilen güvenilirlikte yapılması. Kaza, hastalık, yorgunluk, sıkıntı, dikkatsizlik, geç kalma, yemek yeme zamanı, yerinde olmama gibi insanlara özgü durumlar robotlar veya otomatik aletler kullanıldığı zaman oluşmamakta ve üretimin güvenilirliği etkilenmemektedir.

e. Her durumda hazır olabilme; kaynakların etkin yönetimi modern organizasyonlarda ön koşuldur. Herhangi bir zamanda kullanılması istenen makinelerin, sık dinlenme periyotlarına ihtiyaç duymayacak ve bir uyarıda çalışabilecek durumda olması arzu edilen bir durumdur. Çalışma ortamının kötü olmasından etkilenmemesi ve sık değişikliklere karşı esneklik göstermesi istenir. Bunların hepsi bir organizasyonun esnekliğini ve verimliliğini artırır. Robotları kullanmanın maliyeti hangi çalışma diliminde kullanılırsa kullanılsın aynıdır. Bunun yanında insan gücü istihdam maliyeti fazla mesailerde, tatil ve hafta sonlarında önemli derecede artmaktadır.

f. Esneklik ve uyumluluk; bir organizasyon içinde esneklik ve uyumluluk değişen çevre koşulları karşısında organizasyonun rekabetçi yapısını devam ettirebilmesi için gereklidir. Bu nedenle esnek ve değişen durumlara çabuk uyum sağlayabilen kaynaklara doğru bir yönelim olması gerekir.

g. Çalışma maliyeti; daha yüksek bir etkinlik bekleniyorsa belirli bir genel gider seviyesi için ya üretim enbüyüklenmeli ya da üretim sonsuz olmadığından genel giderler mümkün olan en düşük seviyeye düşürülmelidir. Robot çalışmalarına hizmette bulunan genel gider kalemleri; programlama, bakım, üretim mühendisliği geliştirme ve amortismanlardır. İnsan gücü kullanımı ile ilgili genel giderler ise; kanuni katkılar, servisler, güvenlik hizmetleri, gözetim hizmetleri ve idari hizmetleri kapsamaktadır.

h. Gizli maliyetlerdeki azalma ; gizli maliyetler, bütün üretim maliyetlerini önemli derecede etkileyen ancak doğru bir şekilde belirlenemeyen maliyetlerdir. Kötü üretim kontrollü ve iyi organize edilmemiş üretim tesisleri

üretim hattındaki parçaların koordinasyonunu güçleştirmektedir. Yanlış maliyet çıkarma (genelde yüksek tahmin etme) sipariş kayıplarına ve sonuç olarak üretim kayıplarına neden olmaktadır. Bunların maliyetlerini doğru belirlemek zordur ve organizasyondaki bazı elemanların kontrolünün tam olarak sağlanamamasından kaynaklanır. Bu elemanların kontrolü, işletmeye verimlilik ve kar oranında katkı olarak geri dönecektir.

1. Organizasyondaki diğer sistemlerle bütünleşme; esnek üretim sistemleri, CAD/CAM sistemleri, CIM tamamen otomatik üretim sistemlerinin modern kavramlarıdır. Robotlar ise basit ve etkin bütünleşme imkanı sağladıklarından bu sistemlerde önemli bir rol oynamaktadır.

Katı otomasyon ve insan operatörler, robotlara karşı alternatif araçlar olarak düşünüldüğünde yukarıdaki kriterlere dayalı karşılaştırma Çizelge 2.1' de gösterilmektedir (Leathamjones, 1987).

Çizelge 2.1. Robotların diğer alternatifleri ile karşılaştırılması (Leathamjones, 1987)

	Katı Otomasyon	İnsan Operatör	Robot
(a) Çıkan ürünün tektip olması	Yüksek	Düşük	Yüksek
(b) Doğruluk, tekrarlama, devamlılık yeteneği	Yüksek	Düşük	Orta
(c) Tahmin edilebilir ürün teslim zamanı	Yüksek	Düşük	Yüksek
(d) Yapılan işlem güvenilirliği	Yüksek	Düşük	Yüksek
(e) Her durumda hazır olabilme	Orta	Düşük	Yüksek
(f) Esneklik ve uyumluluk	Zayıf	Yüksek	Orta
(g) Çalışma maliyeti	Düşük	Yüksek	Orta
(h) Gizli maliyetlerdeki azalma	Düşük	Düşük	Fazla
(i) Diğer sistemlerle bütünleşme	Zayıf	Zayıf	Yüksek

Robotik teknolojisi, bilgisayarla bütünleşik üretim sistemi (CIM)'nin alt sistemlerinden biri olarak endüstriyel alanda hızla yayılmaktadır. CNC tezgahları, esnek üretim sistemlerinin kullanılması ve endüstriyel robotların hızla üretim teknolojisine girişi işletmelerde ürün kalitesinin artmasını, kontrol sisteminin kolaylaşmasını ve işletmenin otomasyonunun artmasını sağlamaktadır.

Bir robot sistemi teknik olarak düşünüldüğünde bu sistemi oluşturan dört ana unsurun olduğu görülür (Koren,1985).

- a. Mekanik işleyici (Manipulatör)
- b. Merkezi Kontrolör (Controler)
- c. Uç etkileyici (End Effector)
- d. Hareketlendirici (Actuator)

Mekanik işleyici, merkezi kontrolör ve yapılacak iş arasında hem dış hem de iç çevre etkileşimini sağlayan sensörler de, modern robotik teknolojisinde daha etkin robot sistem tasarımları için yerini almaya başlamıştır. Bir robot sisteminde sensörlerin, merkezi kontrolün ve yazılımın geliştirilmesi ile robot daha akıllı bir duruma getirilebilir. Ayrıca robot sistemleri programlama dillerindeki gelişmeler, robotun daha çok karar verme sistemi içerisine girmesini sağlayacak yöndedir. Bu alanda geliştirilmiş bilgisayar yazılımları da yapay zeka olarak nitelendirilmektedir.

Mekanik işleyici, robotun kolu olarak görev yapar ve endüstriyel robotun ana gövdesini oluşturur. Mekanik işleyicinin yapısındaki değişiklikler doğrudan

endüstriyel robotun kapladığı iş alanını değiştirir. Bu konu bölüm 2.2’de daha detaylı olarak açıklanmıştır.

Merkezi kontrolör, mekanik işleyici ve uç etkileyicinin hareketlerini kontrol eder, aynı zamanda uç etkileyicinin dış çevrelerle etkileşimini sağlar, değişen koşullarda koordinatlarını bilir.

Uç etkileyici asıl işi yapan elemandır. Robot sistemlerinde yapılan bütün gelişmelerin asıl maksadı uç etkileyici olarak görev yapan kavrayıcılar hünerli robot eller ve diğer iş makinaları (kaynak pensesi, matkap, boya tabancası vb.)’nın daha etkin bir şekilde görevini yapmaları içindir.

Hareketlendirici sistemleri ise mekanik işleyici ve uç etkileyicinin hareketini sağlayan sistemlerdir. Geleneksel hareketlendirici sistemleri elektrik, hidrolik ve pnömatik hareketlendirici sistemleridir. Sanayi devrimiyle birlikte ağır sanayide öncelikle hidrolik hareketlendirici sistemlerinin kullanılmasıyla hız kazanan hareketlendirici sistemleri günümüzde değişik endüstriyel alanlarda geniş bir şekilde kullanılmaktadır. Bu çalışmada kullanılan şekil bellekli alaşımlar da, geleneksel hareketlendirici sistemleri yanında, kullanımı hızla artan yeni hareketlendirici sistemleri arasındadır.

2.2. Endüstriyel Robotların Sınıflandırılması

Endüstriyel robotların sınıflandırılması üç ayrı biçimde yapılabilir (Koren,1985).

a. Mekanik işleyicinin yapısına göre sınıflandırma

- b. Hareket kontrolü yöntemine göre sınıflandırma
- c. Kontrol döngüsü tipine göre sınıflandırma

2.2.1 Mekanik işleyicinin yapısına göre sınıflandırma

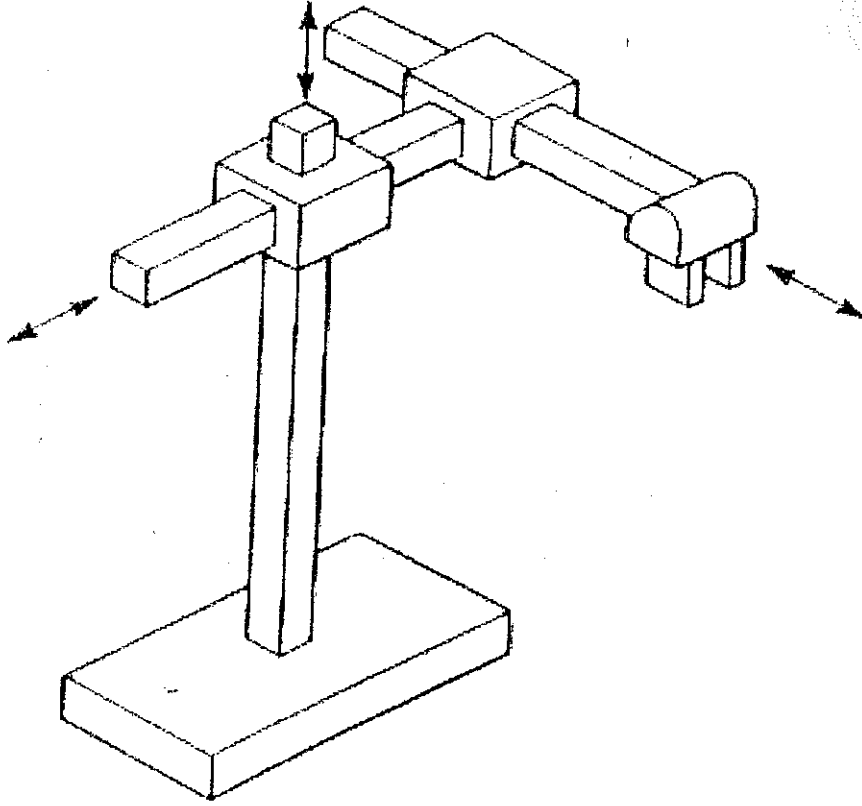
Robot yapısında ana gövde, koordinat sistemlerine göre sınıflandırılabilir.

- a. Kartezyen – Üç kayar (prismatic) eksenli
- b. Silindirik – İki kayar ve bir döner (revolute) eksenli
- c. Küresel – Bir kayar ve iki döner eksenli
- d. Eklemlili – Üç döner eksenli

2.2.1.1 Kartezyen koordinatlı robot

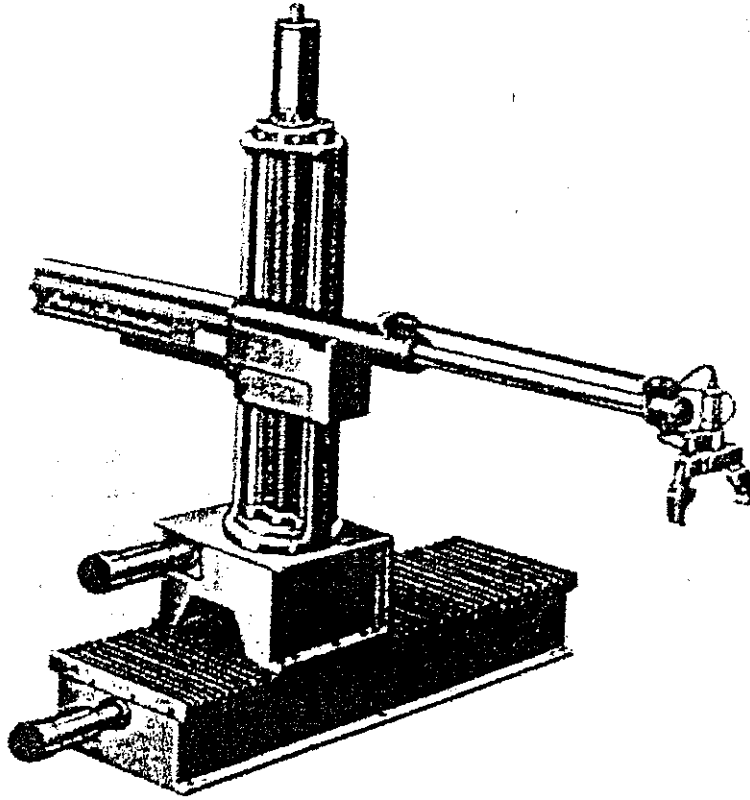
Kartezyen koordinatlı robotun ana gövdesi, dik açılı üç tane doğrusal kayan eksenlerden oluşur (Şekil 2.1). Eklem yerleri prizmatik ve x , y , z kartezyen yönlerine karşılık gelir. Üç düzgün hatta hareket etmesinden dolayı hareket koordinatlarını tesbit etmek kolaydır. Hareket alanı kolaylıkla hesaplanabilir. Temel yapısı bakımından diğer tip koordinatlı robotlara oranla en sağlam yapıya sahiptir (Critchlow, 1985).

Kartezyen koordinatlı robotların zayıf yönleri ise; bu tip robotlar sağladığı bütütün alanı kullanmasa bile büyük bir hacme ihtiyaç duyar. Yatak yüzeyleri açık olduğu için kirli ve koroziif ortamlarda bu yüzeylerin korunması gerekir.



Şekil 2.1. Kartezyen koordinatlı mekanik işleyici

Bu konfigürasyon, çok sağlam robot yapısına elverişlidir. Bu sayede çok büyük robotlar inşa edilebilir. Bu büyük robotlar çoğu kez “İskele Robotlar” olarak adlandırılır, bunlar iskele vinçlerini andırırlar (Koren,1985). Kartezyen koordinatlı bir robot Şekil 2.2’de gösterilmiştir.



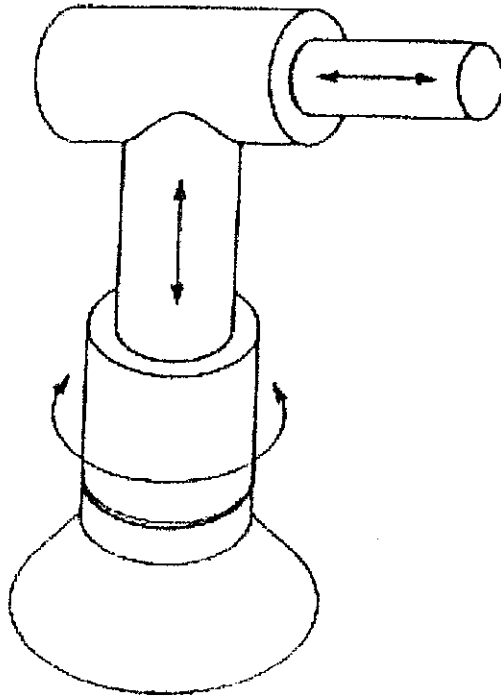
Şekil 2.2 Kartezyen koordinatlı robot (Koren, 1985)

2.2.1.2. Silindirik koordinatlı robot

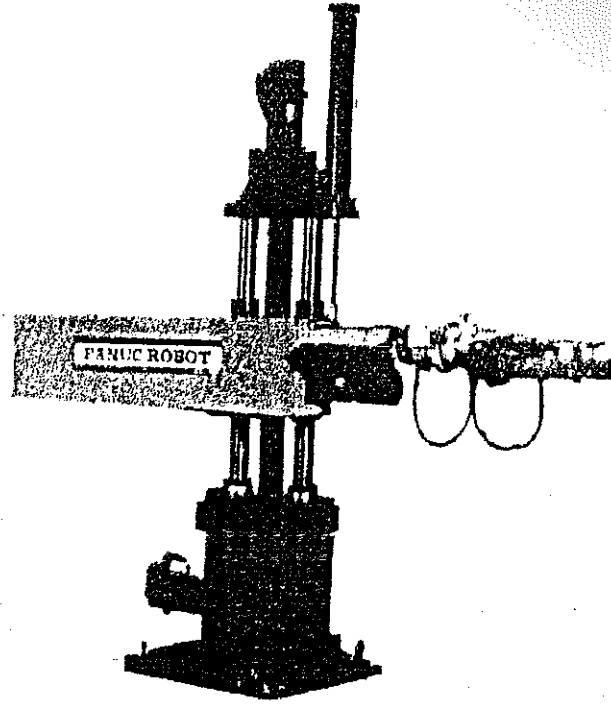
Silindirik koordinatlı robotun ana gövdesi, dikey bir sütunun üzerine binmiş yatay bir koldan oluşur. (Şekil 2.3) Döndürme işlemi taban eksenini üzerinde gerçekleşir. Yataydaki kol içe ve dışa hareket ederken, sütun üzerinde aşağı ve yukarı hareketler de gerçekleştirilebilir. Bu iki birim (kolu içe-dışa hareket ettiren birimiyle, yine kolu sütun üzerinde hareket ettiren birim) taban biriminin üzerinde dönerler. Böylece çalışma hacmi, dairesel bir silindire benzer (Koren, 1985).

Bu tip robotların hareket koordinatlarını tespit etmek ve hesaplamak kolaydır. Silindirik koordinatlı robotlarda rahatlıkla kullanılabilecek doğrusal sürücü mekanizmaları hidrolik sistemlerin kullanılmasına uygun olduğundan, yüksek

güç eldesi sağlanabilir. Boşluklara ve makine açıklıklarına ulaşma yeteneği yüksektir. Fakat mekanik tasarım sınırlamalarından dolayı ulaşma hacmi sınırlıdır, dik desteklerin veya tabanın yanındaki silindirik hacimlere ulaşamaz. Hem döngüsel r yönündeki hem de z yönündeki sürgü mekanizmaları açık olduğundan endüstriyel ortamda bu yüzeylerin kirlenmesi hızlıdır ve sıvılara karşı yalıtımları zordur. R yönünde olan döngüsel bir hareket eğer bu yöndeki en uç noktalar kullanılarak yapılacaksa daha yakınında bulunan parçalara çarpma tehlikesinden dolayı dikkatli olmak gereklidir (Critchlow, 1985). Şekil 2.4’de silindirik koordinatlı bir endüstriyel robot gösterilmiştir.



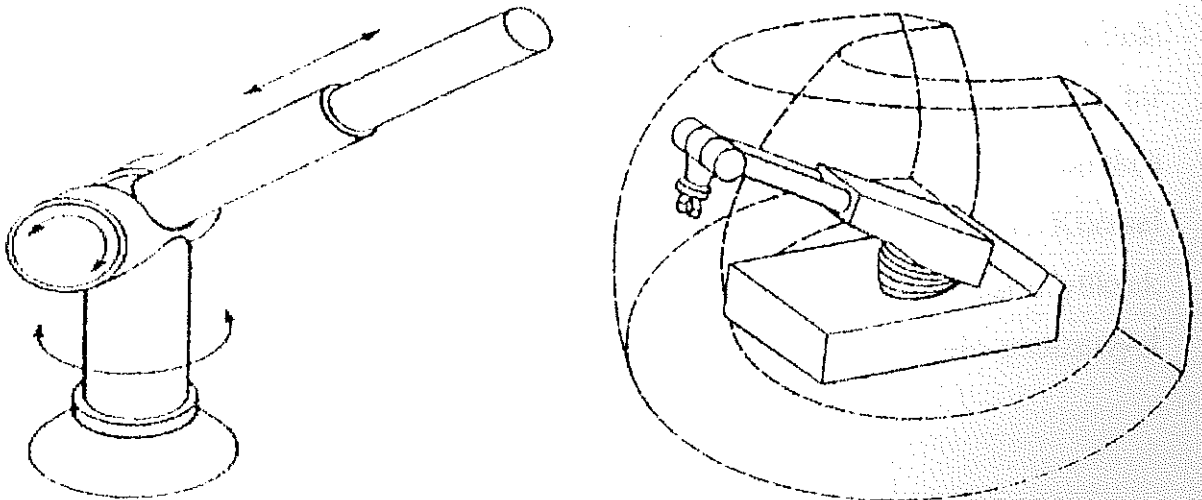
Şekil 2.3. Silindirik koordinatlı mekanik işleyici (Koren, 1985)



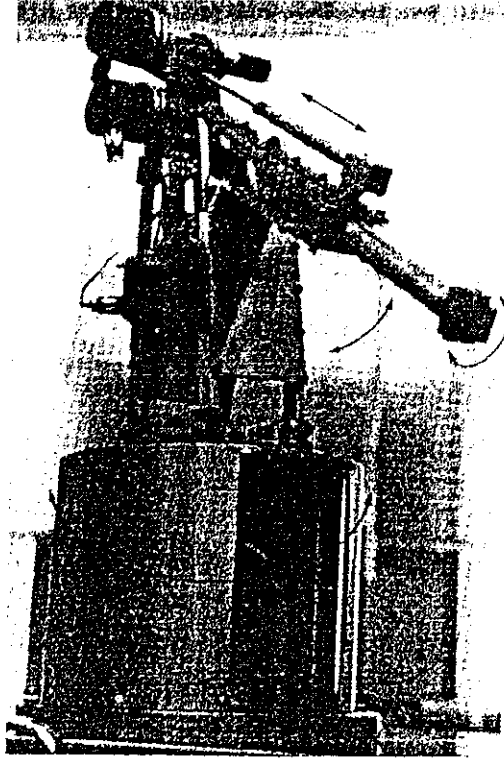
Şekil 2.4. Silindirik Robot (Koren, 1985)

2.2.1.3. Küresel koordinatlı robot

Bu robot kollarının yapısı bir askeri tankın kule kısmına benzer. Kaldırma eklemlili dönen bir taban ve teleskobik bir koldan oluşur, kolun hareketleri içe ve dışa doğrudur (Şekil 2.5).



Şekil 2.5 Küresel koordinatlı mekanik işleyici ve hareket sahası

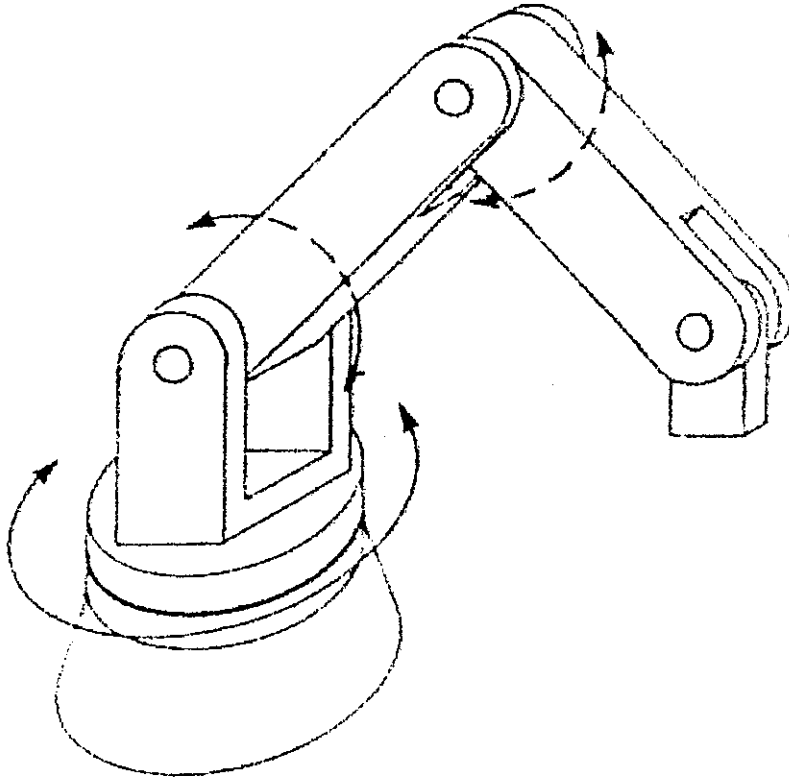


Şekil 2.6. Küresel koordinatlı robot (Koren, 1985)

Çalışma sahası Şekil 2.5’de gösterildiği gibi kalın bir küresel kabuktur. Merkez tek bir noktadan büyük bir hacmi tarar. Bu tip endüstriyel robotlardaki iki döngüsel sürücü kolaylıkla yalıtılabilir. R yönündeki sürücünün hareket kabiliyetine göre tabana ulaşma şansı vardır. Karmaşık bir koordinat sistemi olduğundan hareket koordinatlarını tespit ve kontrol oldukça zordur. Robottaki tek doğrusal sürücünün yalıtım problemi olabilir. Küresel robotun kartezyen ve silindirik robotlara göre temel avantajı, daha yüksek esnekliğe sahip olmasıdır. Şekil 2.6’da küresel koordinatlı bir endüstriyel robot gösterilmiştir.

2.2.1.4 Eklemlı robotlar

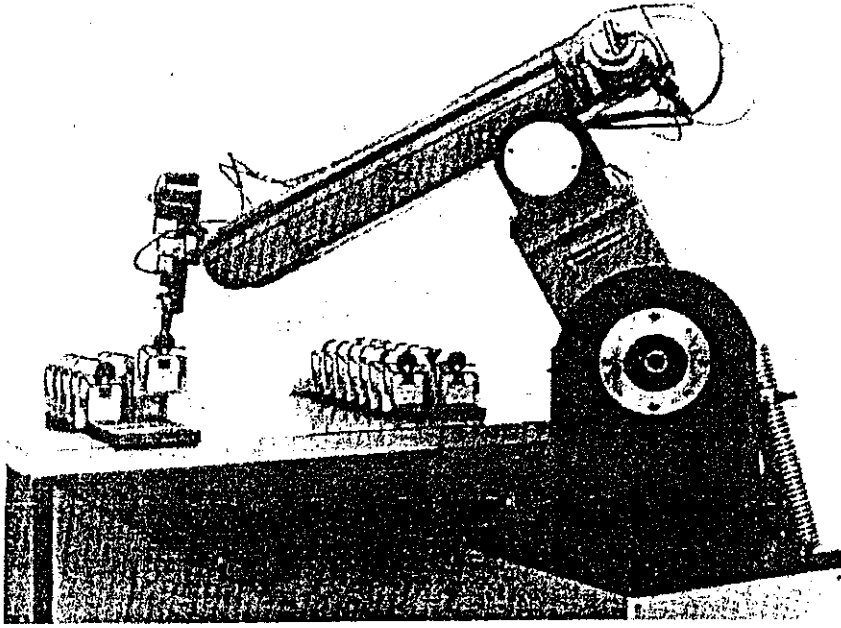
Eklemlı robot kolları bütün bağlantılar döngüseldir. Eklemlı robot; dikey düzlemde dönen iki eklemin yatay düzlemde dönen bir taban üzerine bağlanmasıyla oluşmuştur (şekil 2.7). Eklemlı robot kollar, kabaca bir insan koluna benzer. Uç etkileyicisi bir bilek eklemlı yardımı ile n kola iliştirilmiştir ve bir insan eli yapısını andırır. Dirsek eklemlı n kol ile üst kolu, omuz eklemlı de üst kol ile tabanı birbirine bağlar. Bazen yatay düzlemdeki dönme hareketi omuz eklemlinde yapılır. En çok esneklik yeteneği, toplam iş alanının her noktasına ulaşabildiği için bu tip endüstriyel robotlardadır.



şekil 2.7. Eklemlı mekanik işleyici

Eklemlı robotlarda bağlantılar tamamen yalıtılabilir. Temiz olmayan ve korozyif ortamlarda , su altında çalışmaya uygundur. Bu robotlarda elektrik motor sürücüleri kullanılması uygundur. Buna karşın, hidrolik sistem

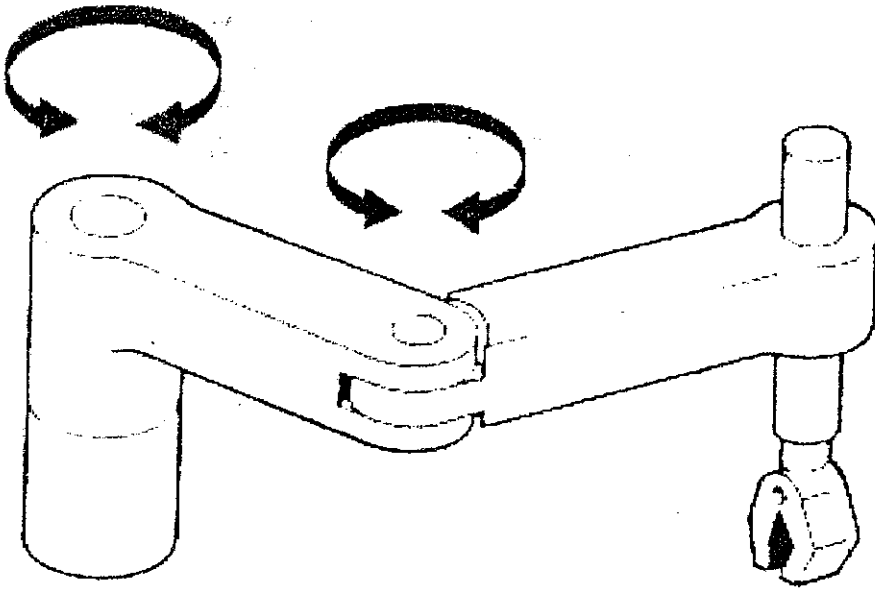
kullanılacaksa daha pahalı sürücülere ihtiyaç duyulur. Hareket koordinatlarını tespit ve kontrol etmenin en zor olduğu koordinat sistemini tarar. Bir noktaya gidiş için birçok hareket yolu çizilebildiğinden en uygun yolun belirlenmesi gerekli olabilir. Şekil 2.8' de eklemlili bir endüstriyel robotun çalışması gösterilmiştir



Şekil 2.8. Eklemlili robot (Koren, 1985)

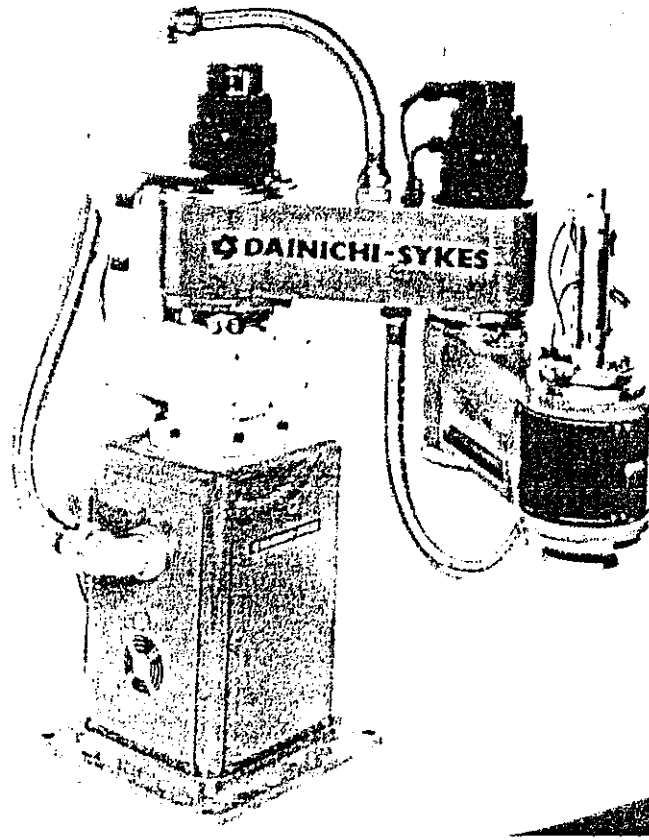
Manipulatörün erişim alanı içerisinde zorlanarak yapabilecek en küçük işler, eklemlili robotlar tarafından rahatlıkla gerçekleştirilebilir. Bu özellik sınırlandırılmış alanlar içinde çalışması gereken eklemlili robot uç etkileyicisinin hareket serbestliğini artırır. Diğer kollardan daha yüksek hızla hareket edebilir ve mükemmel bir esnekliğe sahiptir (Koren, 1985).

Eklemlı robotların Şekil 2.9' da gösterilen SCARA tipi yatay olarak geniş bir alanda hareket olanağı sağlamaktadır (Spiteri,1989). SCARA (Selective Compliance Assembly Robot Arm) terimi; seçici uyumlu montaj robot kolu anlamına gelmektedir.



Şekil 2.9. SCARA tipi eklemlı mekanik işleyici

SCARA tipi robotların çok hızlı hareket yeteneğı ve yüksek doğrulukla çalışması, endüstride toplama, yerleştirme ve parça ekleme gibi montaj işlerinde kullanımın oranını artırmıştır. Endüstriyel robotlar içinde, işletmelerde montaj işlerinde en fazla kullanılan robot çeşitlerinden biri Scara tipi endüstriyel robotlardır. Şekil 2.10' da montaj işlemlerinde kullanılan Scara tipi eklemlı bir endüstriyel robot gösterilmektedir (Leathamjones,1987).



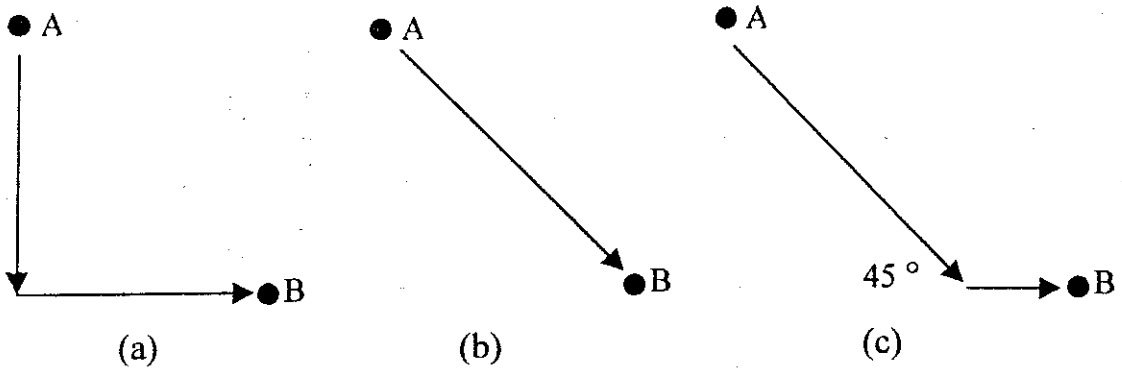
Şekil 2.10. SCARA tipi eklemlı robot (Leathamjones, 1987)

2.2.2. Hareket kontrolü yöntemlerine göre sınıflandırma

Hareket kontrolü; robot eksenlerinin görev için belirli koordinat noktalarına en kısa zamanda ulaşmalarını sağlamak maksadıyla kullanılır. Bu işlem iki boyutlu düzlemde A ve B gibi iki nokta arasında muhtemel bazı hareketlerle incelenebilir.

Birinci metot (Şekil 2.11-a) en yavaş olan metoddur. Burada her bir eksen boyunca ayrı ayrı hareket sağlanmaktadır. Bu metodun en büyük avantajı kontrol sisteminin kolaylığıdır.

İkinci metot (Şekil 2.11-b), iki nokta arasındaki en kısa yolun kullanıldığı metoddur. Bu metodda kontrol sistemi daha karmaşıktır. A'dan B'ye düz bir çizgi halinde eksen hızlarını koruyarak gidebilmek oldukça zordur. Kontrol programı doğrusal enterpolasyonlarla oluşur.



Şekil 2.11. İki boyutlu düzlemde muhtemel hareket çeşitleri

Üçüncü metot (Şekil 2.11-c), CNC tezgahlarında da kullanılan ortak bir sistemdir. Burada iki eksen üzerinde aynı anda aynı hızla (45 derecelik yolla) ilerlenir. Daha sonra varılan tek bir eksen üzerinden son noktaya yani örnekte B noktasına ulaşılır. Bu metot noktadan noktaya hareket eden robot sistemlerinde en fazla kullanılan metoddur (Leathamjones,1987).

Hareket kontrolü yöntemlerine göre endüstriyel robotlar iki şekilde sınıflandırılır.

- Noktadan noktaya hareket eden robotlar
- Sürekli güzergahlı robotlar

2.2.2.1 Noktadan noktaya hareket eden robot sistemleri

Noktadan noktaya hareket eden robot sistemlerinde şu yol izlenir. Robot gövdesi tanımlanan sayıda noktaya gider ve hareketini durdurur. Robot durur vaziyette iken uç etkileyici hizmet programının gereğini icra eder. Görev tamamlanınca, robot bir sonraki noktaya gider ve bu böylece tekrar edilir.

Bir noktadan noktaya hareket eden sistemde, robotun güzergahı ve hızı bir noktadan diğerine giderken önemli değildir. Bu yüzden temel bir noktadan noktaya hareket eden sistemde robotun eksen pozisyonlarını saymak yerine robot uzvunun bir sonraki pozisyonun kontrolü için hedef noktaya getirme emri verilir (Koren, 1985).

Bu robotlarda her bir hareket için yalnızca son noktalar belleğe depo edilir, güzergahlar parçalı olduğunda robotlar ara noktalara ulaşamazlar. Tipik bir noktadan noktaya güzergahlı robot sistemi ile spot kaynak robotunda karşılaşılır. Spot kaynak işleminde robot kaynak yapılacak noktaya kadar hareket eder, kaynak yapılacak nokta, kaynak uzvunun iki elektrotunun ortasına denk gelir. Ve sonra kaynak işlemi yapılır. Noktadan noktaya hareket eden robotlar spot kaynakta parçaları taşımada yükleme ve indirme makinalarında ve basit montaj işlemlerinde kullanılırlar (Koren, 1985).

2.2.2.2. Sürekli güzergahlı robot sistemleri

Sürekli güzergahlı robot sistemlerinde her bir eksen sabit bir zaman tabanı boyunca belirlenmiş bir güzergahı takip ederek görevini icra eder. Sürekli

güzergahlı robotlar düzgün ve kesiksiz bir hareket gerçekleştirir. Sürekli güzergahlı robotlarda noktadan noktaya hareket eden robotlara göre daha büyük bir belleğe ihtiyaç vardır. Çünkü güzergah boyunca bütün noktalar kaydedilmek zorundadır (Koren, 1985).

Ortak eksen hareketi için gerekli olan enterpolasyon işlemi en fazla sürekli güzergahlı robot sistemlerinde kullanılan bir işlemdir. Burada kullanılan üç tip enterpolasyon; doğrusal, dairesel ve parabolik enterpolasyondur. Birçok robot sistemlerinde doğrusal ve dairesel enterpolasyon kullanılmaktadır. Günümüzün endüstriyel robotları bu teknikler sayesinde esnek hareketleri yapabilirler (Leathamjones, 1987).

Sürekli güzergahlı robotlarda bütün eksen hareketleri aynı zamanda gerçekleşir, ancak her bir eksenin hızı, diğerinden farklı olabilir. Bu tip robotlarda, robot uzvunun pozisyonu, eksen hızı oranı ile birlikte yörüngeyi meydana getirir. Aynı zamanda hız, yapılan işin kalitesini etkiler. Sürekli güzergahlı robotlar ark kaynağında, spreyl boyamada, komple montaj işlemlerinde, metal parçalarının pürüzsüz biçimde işlenmesi ve kontrol işlemlerinde kullanılırlar (Koren, 1985).

2.2.3. Kontrol döngüsü tipine göre sınıflandırma

Endüstriyel robotlarda kontrol sistemi; bir robot biriminin durumunu otomatik olarak, belirtilen bir biçimde değiştirmek ya da sabit tutmak maksadıyla, birlikte çalışan bir veya daha fazla birbiriyle bağlantılı araçlardan oluşan bir sistemdir. Böyle bir sistem mekanik, hidrolik, elektrikli, elektronik, pnömatik veya bu kontrol sistemlerinin kombinasyonu şeklinde karma bir sistem

olabilir. Teorik olarak girilen program komutuna bir cevap sinyali olarak giriş sinyali üretilir. Bu sinyal robot tahrik sistemlerini harekete geçirici bir sinyal üretir. Fakat pratikte bu sistemin çalışmasında birçok karmaşık problem ortaya çıkar. Hareketlendirici sistemlerin kontrolü açık ve kapalı döngü kontrol sistemleri olmak üzere iki ayrı sistemle yapılmaktadır (Leathamjones, 1987).

2.2.3.1. Açık döngü kontrol sistemi

Açık döngü kontrol sistemlerini bir örnekle açıklamak mümkündür. Örneğin; bir robot hareketlendirici sistemi uç etkileyicinin parça kaldırması için 10 Newtonluk bir kuvvet uyguluyor. Uç etkileyicinin kaldıracağı parçaya uygulayacağı kuvvet daima 10 Newtona getiriliyor. Böyle bir sistemde işlemin yani kaldırılacak olan parça ağırlığının değiştiğini düşünürsek sistem geri besleme yapmadan parça üzerine yine 10 Newtonluk bir kuvvet uygulayacaktır. Burada hafif bir parça kaldırılması için kuvvet tasarrufu veya ağır bir parça kaldırılması için ek bir kuvvet sistem tarafından girdi olarak uygulanmamaktadır. Bu tür sistemlere açık döngü kontrol sistemleri denilmektedir. Yani açık döngü kontrol sistemlerinde çıktının girdi üzerinde herhangi bir etkisi bulunmaz. Sistemin yapısı gereği işlemde yapılan değişiklikler girdi verilerine bir etki yapmaz (Leathamjones, 1987).

2.2.3.2. Kapalı döngü kontrol sistemi

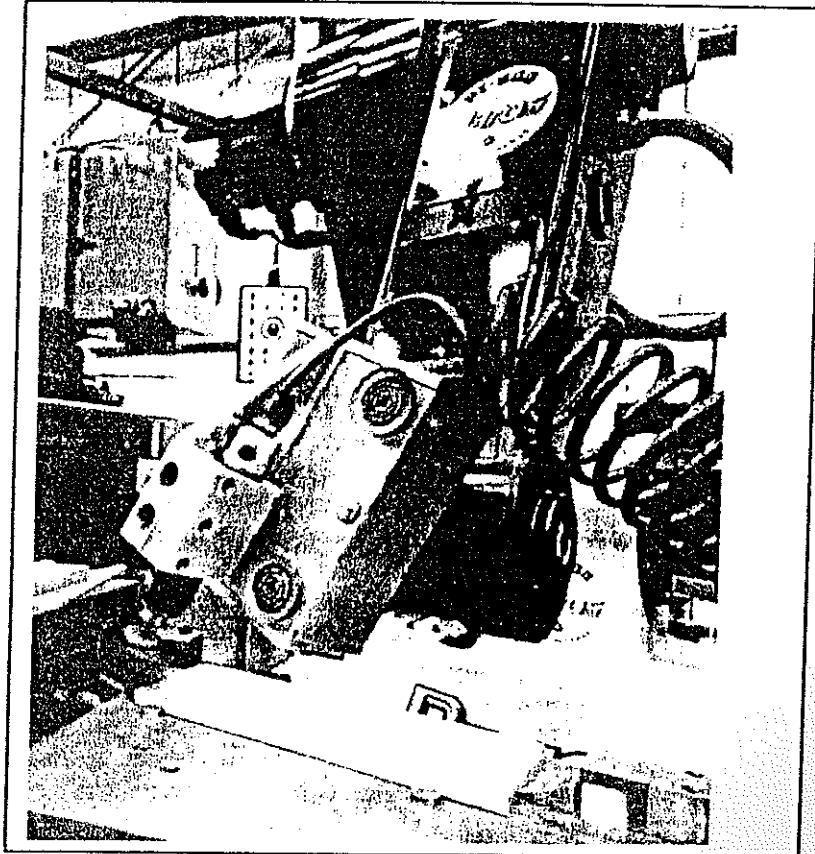
Kapalı döngü kontrol sisteminde ise çıkışta yapacağımız değişiklikler girişte bir artmaya veya azalmaya yol açacaktır. Açık döngü kontrol sistemleri için verilen robot uç etkileyicisi örneğinde, uç etkileyici üzerine taşıyacağı parçanın ağırlığını ölçen bir parça yerleştirilirse, buradan alınan taşınacak

parça ağırlığı, girdide bir veri yani geri besleme oluşturabilir. Böylece robot daha ağır bir cismi taşıyacağı zaman, robot tahrik ünitesi vasıtasıyla uç etkileyicinin daha fazla kuvvet uygulaması veya hafif bir cisim kaldıracağı zaman daha az güç üretilmesi sağlanabilir. Bu tür kontrol sistemlerine aynı zamanda servokontrol sistemleri de denilmektedir (Leathamjones, 1987).

Bazı laboratuvar robotlarında açık döngü kontrol sistemleri kullanılmasına karşın modern endüstriyel robotlarda daha çok kapalı döngü kontrol sistemi kullanılır. Çünkü kapalı döngü kontrol sistemlerinde sürücülerin çıkışı algılama ve geri besleme ile girişle kıyaslayabilmesi açık döngüye göre büyük bir avantajdır (Koren, 1985).

2.3. Uç Etkileyiciler

Endüstriyel alanda bir robotun veya programlanabilir makine kolunun en sonundaki mekanizma uç etkileyici olarak adlandırılır. Uç etkileyiciler robot ile çevresi arasında arabirim elemanlarıdır. Robotik sistemlerdeki verimliliğin en hassas noktasını uç etkileyiciler oluşturur. Robot kolu ne kadar çok fonksiyonel olursa olsun eğer kullanılacak olan uç etkileyici yapılacak olan göreve uygun değilse robotun başarılı çalışması imkansızdır. Bu yüzden robot tasarımıyla ilgili problemlerin çoğu uç etkileyiciler üzerine odaklanmıştır. Endüstriyel robotun, görevi en uygun şekliyle yapabilmesi için; o göreve uygun bir uç etkileyiciye sahip olması gerekir. Uç etkileyiciler şeklen ve fonksiyonel çeşitlilik bakımından birçok farklılıklarla karşımıza çıkarlar (Şekil 2.12).



Şekil 2.12. Zımpara taşlama yapan bir robot (Leathamjones, 1987)

Örneğin; uç etkileyicilerin uygun bir alet takımıyla ilişkilendirilerek kaynak ve kesme mekanizması, matkap, zımpara taşıma, boya tabancası olması yaygın kullanım alanlarındandır.

En basit olarak kullanılan uç etkileyiciler pasif uç etkileyicilerdir. Bu tür uç etkileyicilerin hareket eden parçaları yoktur. Kanca, kepçe fırça gibi parçalar mekanik işleyicinin uç kısmına yerleştirilerek kullanılır. Bu tür uç etkileyicilerin basit olması, uç etkileyiciye işi yaptıracak olan mekanik işleyicinin daha fazla karmaşık hareketler yapması gereğini doğurmaktadır (Spiteri, 1985). Çalışmanın bundan sonraki kısımlarında uç etkileyicilerin kavrayıcı olarak kullanımı üzerinde durulacaktır.

2.3.1. Kavrayıcılar

Kavrayıcılar, endüstride uzun yıllardan beri değişik amaçlar doğrultusunda birçok görevi yerine getirmek için farklı yapılarda tasarlanmış ve geliştirilmişlerdir. Büyük bir çoğunluğu endüstriyel alanda uygulama alanı bulmuş, fakat bazıları sadece laboratuvar çalışması olarak kalmıştır.

Endüstride uygulama alanı bulan kavrayıcılar çalışma sistem ve tekniği bakımından değişik şekillerde gruplandırılabilir. Çalışmada kavrayıcılar tutuş şekillerine göre gruplandırılmaktadır.

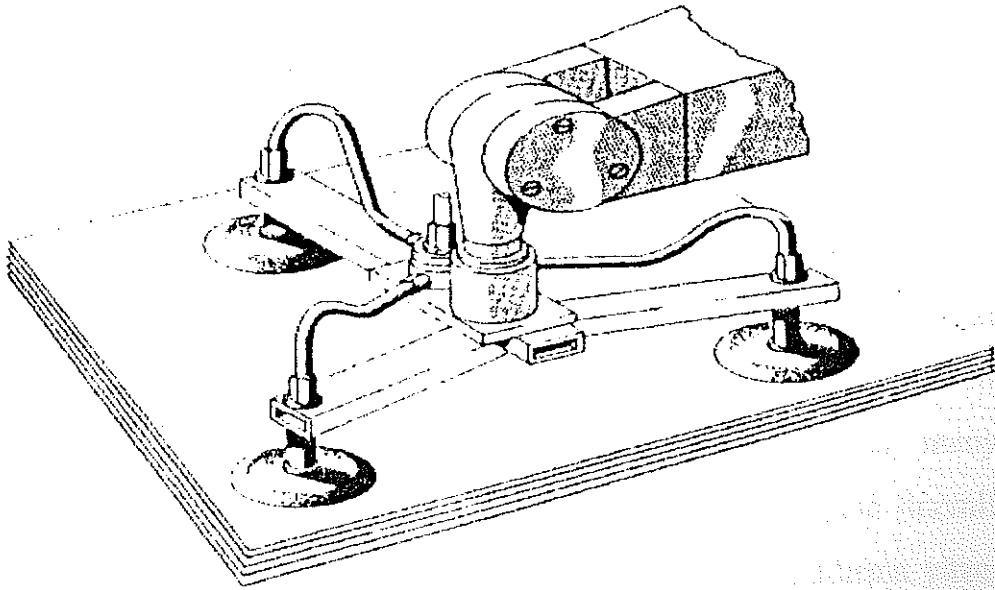
- a. Tek yüzeyden kavrayıcılar
- b. Çok yüzeyden kavrayıcılar

2.3.1.1. Tek yüzeyden kavrayıcılar

Tek yüzeyden kavrayıcılar; adından da anlaşılacağı üzere kavrama etkisini malzemenin sadece bir yüzeyini kavrayarak işlem görürler. Bu kavrayıcıları şu şekilde sınıflandırmak mümkündür:

- a. Manyetik kavrayıcılar
- b. Vakumlu kavrayıcılar
- c. Yapışkan kavrayıcılar
- d. İğneli tip kavrayıcılar
- e. Dokunmasız kavrayıcılar

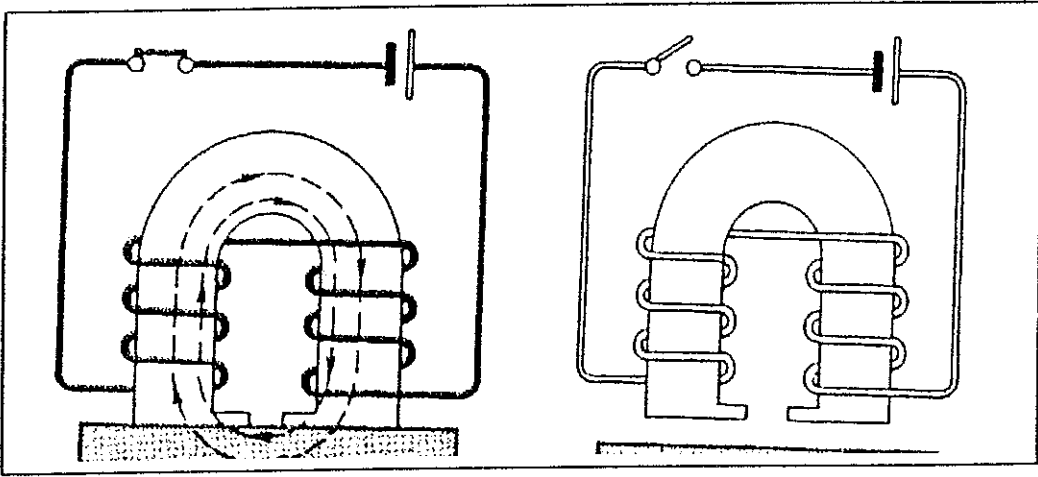
Bu işler için kullanılan yüzey genelde kavranılacak olan parçanın üst yüzeyidir. Bu sebepten üst yüzeylerin kavrayıcıların özelliklerine uygun olması gerekir. Örneğin; vakumlu tip bir kavrayıcı kullanılıyorsa üst yüzeyin hava geçirgen olmaması , gözeneksiz bir yapıya sahip olması gereklidir. Şekil 2.13' de vakumlu tip bir kavrayıcı örnek olarak gösterilmektedir



Şekil 2.13. Vakumlu kavrama (Leathamjones, 1987)

Eş yükselteli cam, karton, plastik, tahta veya daha birçok parçayı tutmak için bu tip kavrayıcılar kullanılır. Bu kavrayıcılar sıkıştırılmış hava vasıtasıyla emme yaratılarak parçayı kaldırır. Hızlı ve sert bir biçimde bırakmayı engellemek için vakum kontrol valfleri kullanılır.

Manyetik kavrayıcı kullanılıyorsa kavranacak malzemenin üst yüzeyinin manyetik etki göstermesi gereklidir. Bu iş için sürekli veya elektrikli mıknatıslar kullanılır. Tutulması istenilen parça kesin olarak demir veya nikel alaşım gibi manyetik etkiye duyarlı malzemelerden yapılmış olmalıdır. Şekil 2.14’de elektromanyetik bir kavrayıcının çalışma sistemi gösterilmiştir.

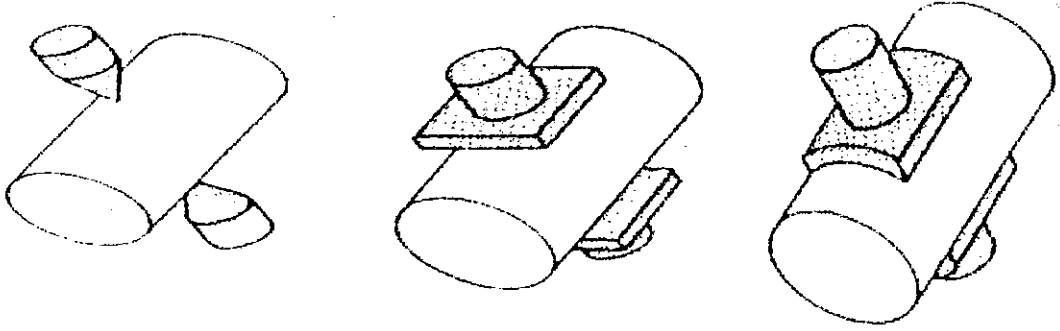


Şekil 2.14. Elektromanyetik kavrama ve bırakma (Leathamjones, 1987)

Bu tip kavrayıcılar kullanıldığında kavrayıcının malzemeye zarar vermemesi önemli bir noktadır. İğneli tip bir kavrayıcının kavrayacağı malzemeye iğnelerinin zarar vermemesi gereklidir. Bununla birlikte vakum, manyetik alan, yapışma gibi etkilerin malzemeyi hasara uğratmaması yine önemli bir konudur (Heilala, 1992; Pham, 1992). Eğer kavrayıcının kaldırma yüzeyine çok hassasta olsa dokunması istenmiyorsa Erzincanlı (1995) tarafından geliştirilen dokunmasız tek yüzeyli kavrayıcı tipi kullanılabilir.

2.3.2.2. Çok yüzeyden kavrayıcılar

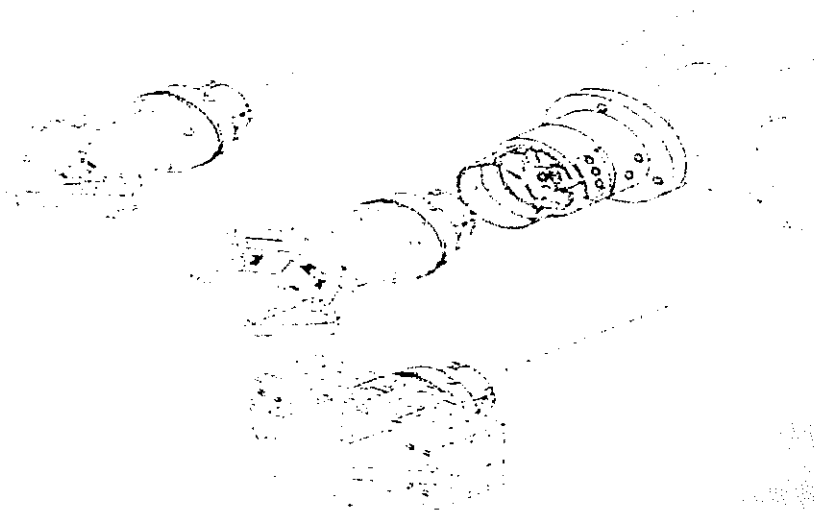
Çok yüzeyden kavrayıcılar kavranacak olan parçanın geometrik yapısına uygun kavramayı gerçekleştirmesi maksadıyla geliştirilmiş kavrayıcılardır. Şekil 2.15' de basit çok yüzeyden kavrama örnekleri gösterilmiştir. Çok yüzeyden kavrayıcıları çeneli tip kavrayıcılar ve parmaklı tip kavrayıcılar olmak üzere iki gruba ayrılabilir.



Şekil 2.15. Çok yüzeyden kavrayıcılara örnekler (Spiteri, 1989)

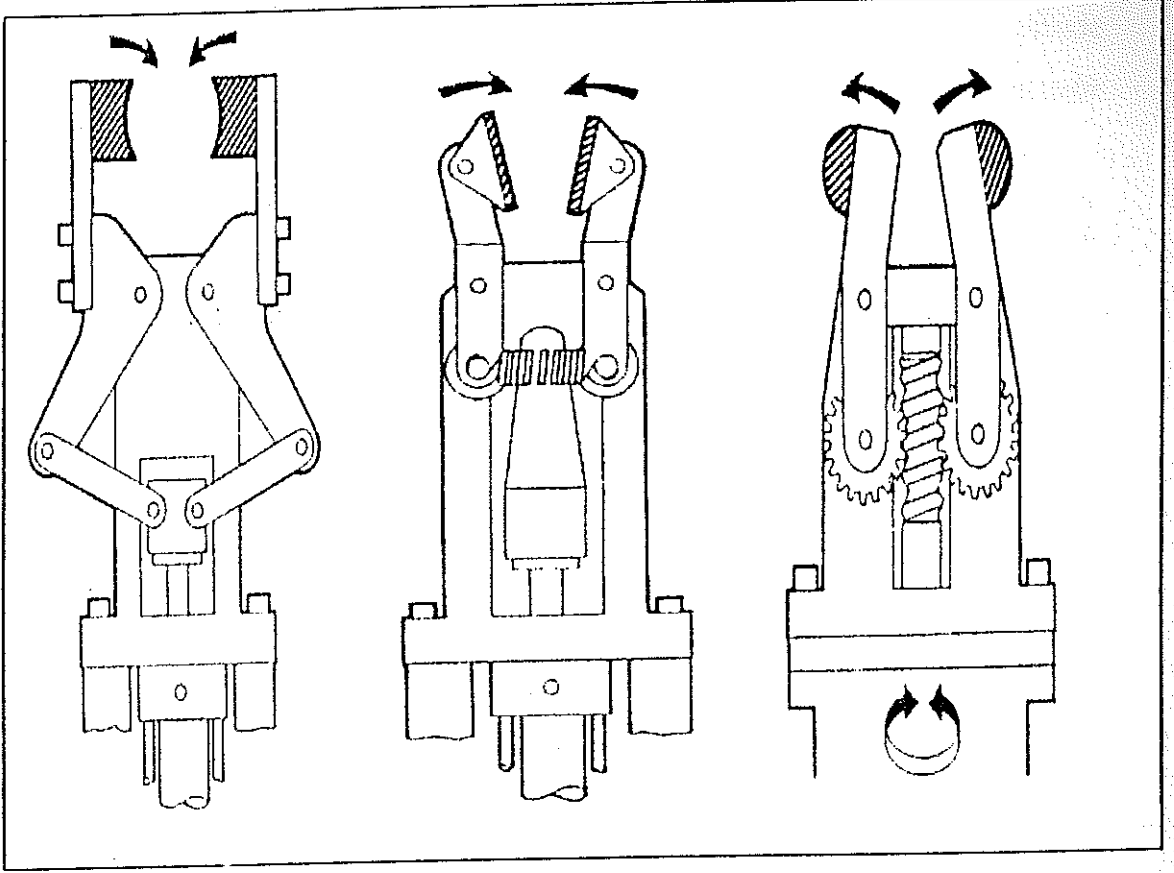
Çeneli tip kavrayıcılar

Bu tip kavrayıcılar Şekil 2.16' de de gösterildiği gibi genelde parçanın



Şekil 2.16. Bir endüstriyel robotun çeneli tip kavrayıcıları (Spiteri, 1989)

çeneler arasına mengene şeklinde sıkıştırılması ile kullanılmaktadır. Bunlar ikili veya çoklu çene şeklinde olabilir. Şekil 2.17’de değişik hareketlendirici sistemlerinin kullanıldığı bazı çeneli tip kavrayıcılar gösterilmektedir.



Şekil 2.17. Çeneli tip kavrayıcı örnekleri (Critchlow, 1985)

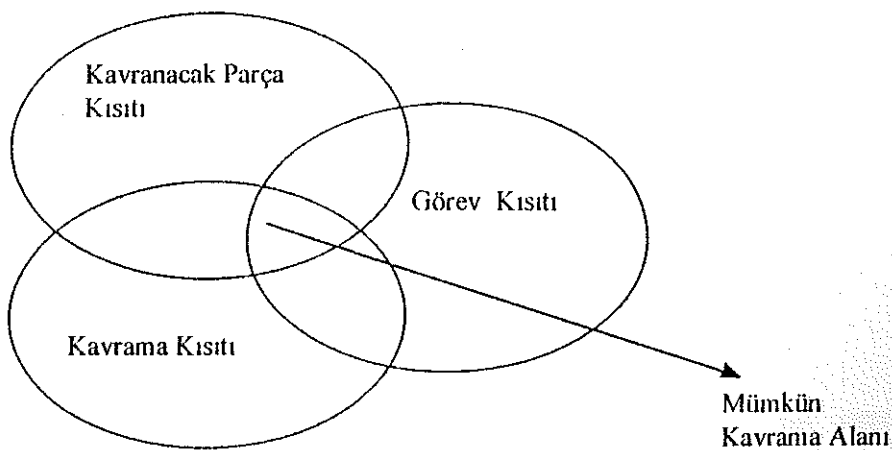
Parmaklı tip kavrayıcılar ve insan eli

Robot uç etkileyiciler arasında parmaklı tip kavrayıcılar, daha iyi kavrama gerçekleştirilmesini sağlayan hünerli kavrayıcılar veya hünerli robot eller olarakta isimlendirilir. Robot elin değişik görevler yapabilmesi için çok amaçlı tutucu özelliklerine sahip olması gereklidir. Robot elin tasarımında ve çalışma fonksiyonlarının oluşturulmasında en hünerli el olan insan elinin özellikleri ve şekli örnek alınmıştır. Değişik geometrik yapılarıdaki parçaları

veya makinaları uygun kavrama için çok parmaklı robot eller vazgeçilmez bir ihtiyaçtır. Robot elin tasarım ve imalatında dikkat edilmesi gereken en önemli konular elin fonksiyonelliği, boyutları, imalat ve bakım kolaylığı ve çalışmaya uygunluğudur. Hünerli robot eller incelenirken öncelikle en hünerli el olan insan elinin kavrama davranışını incelemekte yarar vardır. İnsan elinde kavrama davranışı incelendiğinde üç ayrı kavrama biçimi görülmektedir (Erkmen, 1993).

1. Parmak iç yüzeylerinin kullanıldığı kavramalar yani; güçlü kavrama denilen avuç içine cismin sıkıştırılması ile oluşur.
2. İnce iş kavramaları yani; parmak uçlarının kullanılması ile oluşur.
3. Bazı parmak yan yüzeylerinin kullanıldığı kavramalar.

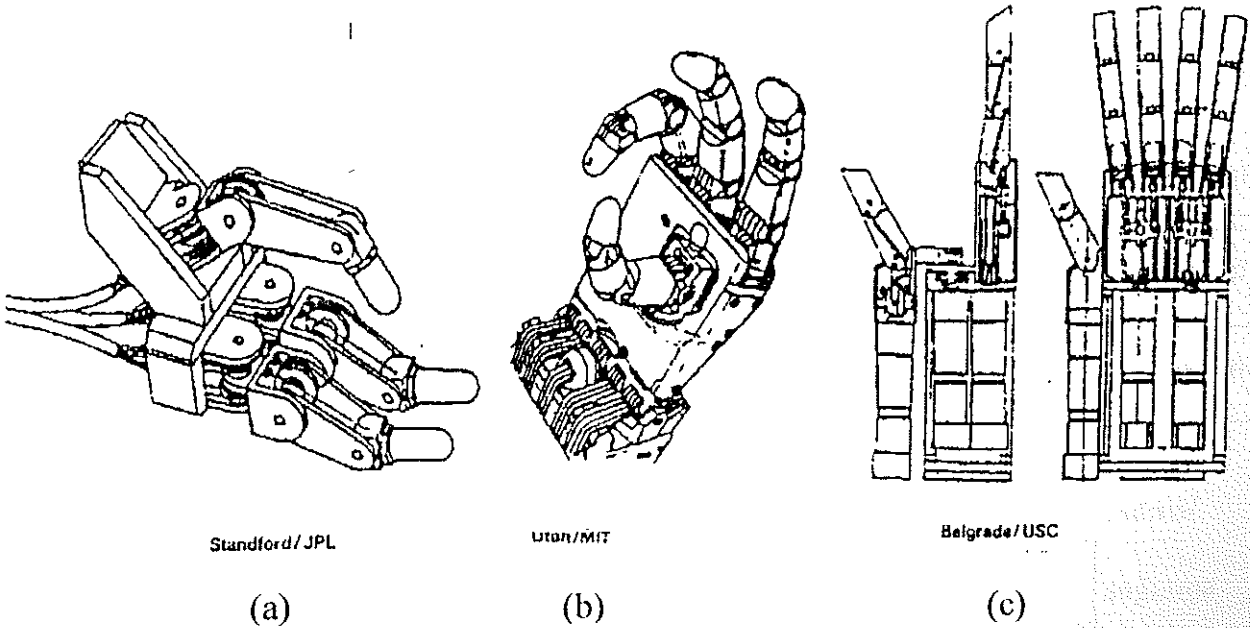
Kavrama hareketi, cismin kavranmasında parmakların kavrama alanı ve kavramanın kararlı bir kavrama olması ile beraber düşünülmektedir. Kavrama hareketi analitik olarak düşünüldüğü zaman üç ana kısıttan söz edilebilir. Kavranacak parça kısıtı (parçanın şekli, kayganlığı, kırılabilirliği), kavrama kısıtı (maksimum hareket alanı ve parmakların maksimum açılması) ve görev kısıtı (parçanın ne yapılacağı). Bu temel kısıtlar dikkate alınarak mümkün kavrama alanı ortaya çıkarılabilir (Şekil 2.18).



Şekil 2.18. Mümkün kavrama alanı

Bugüne kadar yapılan çalışmalar incelendiğinde kavrama hareketinin daha çok elektrik ve pnömatik sistemlerle kullanıldığı görülmektedir (Kerr ve diğerleri, 1986).

Robot eldeki parmak sayıları üç ile beş arasında değişmektedir. Üç parmaklı bir robot ele örnek JPL/Standford (Şekil 2.19-a,2.20)'dir. Her parmağı üç serbestlik derecesine ve dört adet elektrik motoruna sahiptir. Kontrol sistemi çok karmaşıktır ve parmaklarda dört ayrı kablonun gerilimini ayarlamak ve uzun süre aynı gerilimi korumak oldukça zordur. Utah/MIT (Şekil 2.19-b) robot eli bir baş parmak ve üç parmaktan oluşmaktadır. Her parmakta dört eklem vardır. Ayrıca her parmakta dört serbestlik derecesi, sekiz bağımsız tendona ve pnömatik silindirlere gereksinim duymaktadır (Lin ve diğerleri, 1998).



Şekil 2.19. Bazı örnek robot eller (Lin vd., 1998)

Belgrad/USC (Şekil 2.19-c) beş parmaklı ve dört motorlu bir sisteme sahiptir. Motorlardan iki tanesi başparmak diğer ikisi diğer parmaklar için kullanılmaktadır

(Lin ve diğ erleri, 1998). Mat/ODTÜ, pnömatik hareketlendirici tipine sahip bir robot eldir. Parmaklarda hareket iletimi yine makara-ip sistemi ile yapılmaktadır (Tüz, 1996). Robot ellerin özelliklerine ilişkin karşılaştırılmalar Çizelge 2.2’de gösterilmiştir.

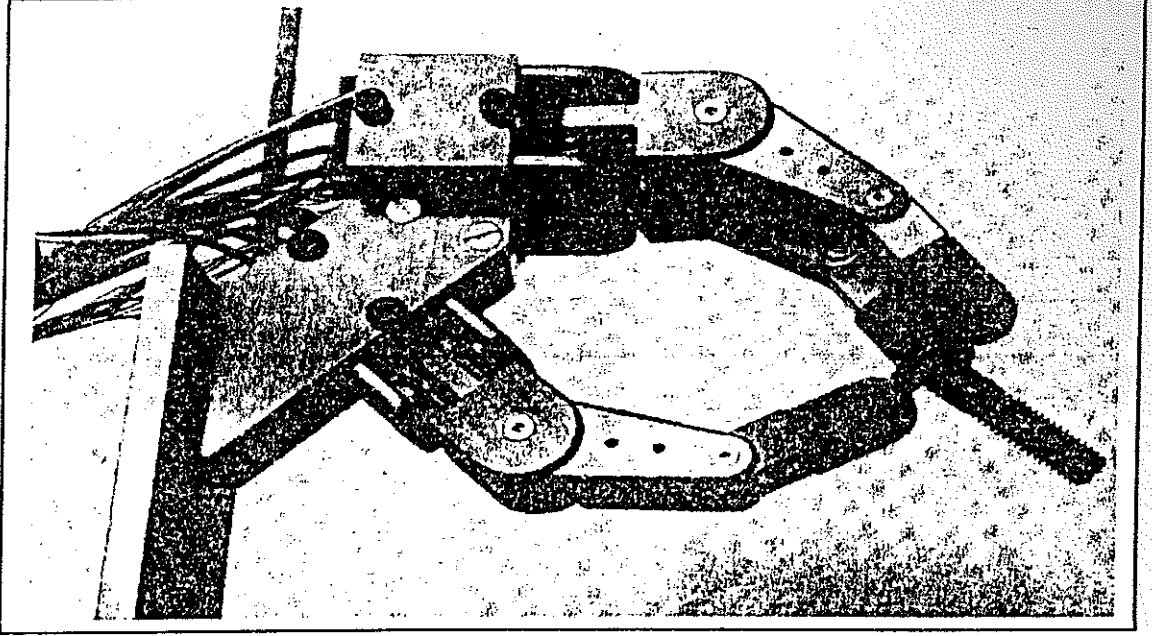
Çizelge 2.2. Bazı robot ellerin karşılaştırılması

Robot El \ Özellik	Hareketlendirici tipi	Parmak sayısı	Başparmak eklemi	Toplam Ser.Derecesi	Hareket iletimi
UTAH/MIT	Pnömatik	4	4	16	Makara-ip
Belgrad/USC model II	Elektrik	5	2	16	Özel mekanizma
JPL Standford	Elektrik	3	3	9	Makara-ip
METUHAND	Elektrik	3	3	9	Makara-ip
MAT/ODTÜ	Pnömatik	4	2	4	Makara-ip
SMA Hand *	Elektrik	3	Şekil bellek Etkisi	özel yapı	Isıtma/soğutma

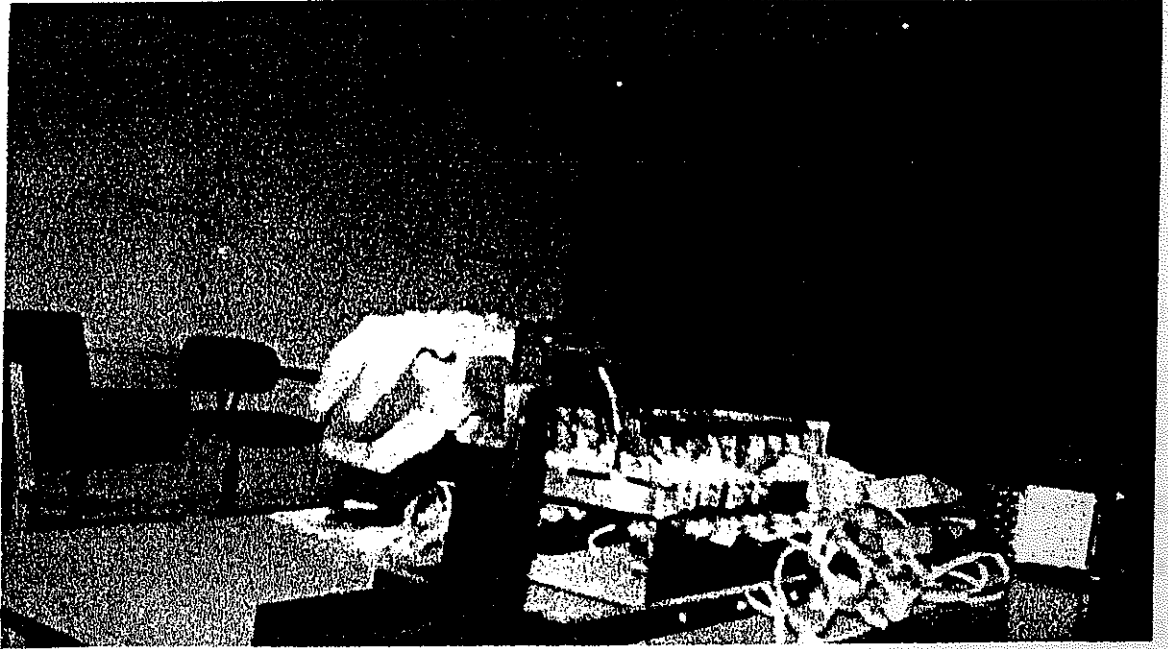
* Çalışmada tasarımı yapılan robot el

METUHAND ise her biri üç serbestlik derecesine sahip üç parmaklı , dokuz adım motorlu bir robot eldir (Şekil 2.21, 2.22). Elde hafif metal olarak

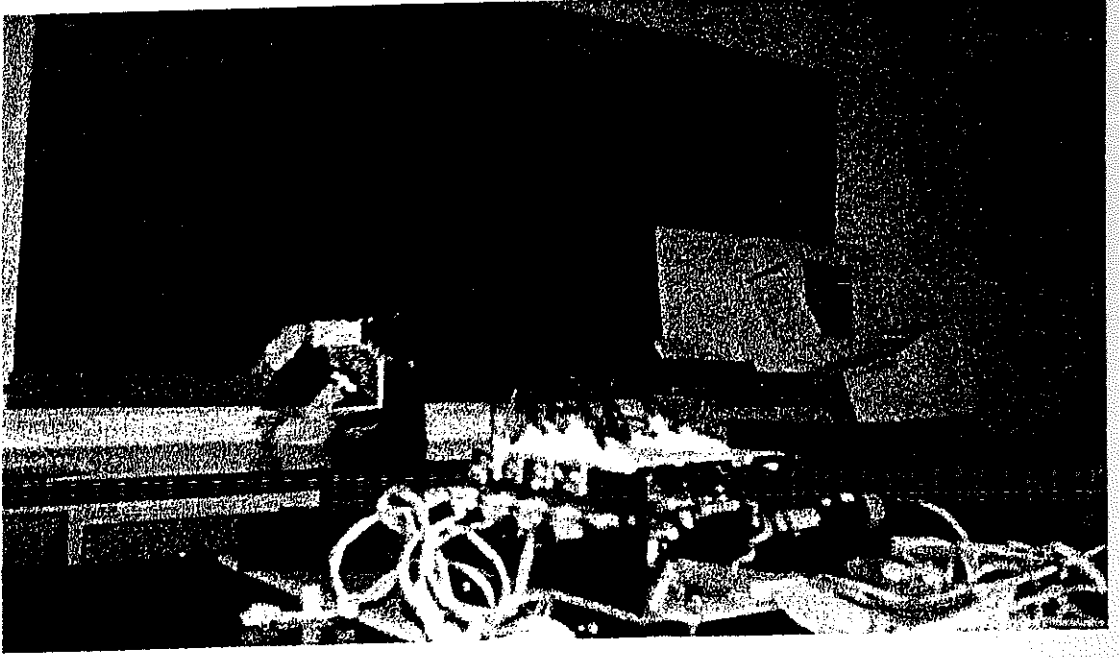
alüminyum kullanılmıştır. Tendon olarak plastik kaplanmış 18 adet çelik kablo kullanılmıştır (Zergeroğlu, 1996). Prototipi yapılan SMA Robot El, devam eden bölümlerde geniş olarak açıklanacaktır.



Şekil 2.20. Stanford/JPL Robot Eliyle kavrama (Wolfram, 1995)



Şekil 2.21 METUHAND Robot Eli (Zergeroğlu, 1996)



Şekil 2.22. METUHAND'ın adım motorlarıyla beraber görünümü
(Zergeroğlu, 1996)

2.4. Geleneksel Robot Hareketlendirici Düzenekleri

Robot ellerde eklemlerin hareketi için gerekli gücü üreten çeşitli teknolojilere dayalı tahrik düzenekleri vardır. En yaygın kullanılan hareketlendirici teknolojileri elektrik motorları, hidrolik hareketlendiriciler ve pnömatik hareketlendiricilerdir.

Hidrolik ve pnömatik hareketlendirici düzenekleri akışkanların hareket ettirilmesi ile çalışırlar. Hidrolik sistemlerde akışkan basınçlı yağ, pnömatik sistemlerde ise basınçlı havadır. Hidrolik tahrik düzenekleri büyük, yüksek performanslı, pahalı sistemlerde, pnömatik tahrik düzenekleri ise daha küçük performanslı robotlarda kullanılır. Elektrik motorları robotikte oldukça fazla tercih edilen hareketlendirici elemanlarıdır. Bunun nedeni yeteneklerinin diğerlerine oranla fazla olmasıdır. Robotlarda kullanılan farklı tiplerde elektrik motorları vardır. En çok kullanılanlar; DC servomotor ve adım motorlarıdır.

Adım motorları girişinden aldığı sayısal darbelere bağlı olarak, milinden belirli bir açıda dönme hareketi alan motorlara denir. Robot tasarımlarında öncelikle, mevcut sürücü mekanizmalarının hangisinin en uygun olduğuna karar verilmelidir. Ayrıca konumlama doğruluğu, güvenilirliği işlem hızı, fiyatı ve diğer bazı faktörlerde bu seçimde değerlendirilmesi gereken konulardır. Elektrik motorları doğal olarak temiz olup doğru çalıştırıldıklarında yüksek güvenilirlikli konumlama sağlayabilirler. Bunun tersine hidrolik motorlar için basınçlı yağ kullanımı gereklidir. Pnömatik sürücüler döngüsel yol işlemlerinde yüksek doğruluklu konumlama sağlayamazlar (Critchlow, 1985; Russell, 1990).

Hidrolik sürücüler elektrik motorlarına göre küçük bir hacimde büyük güç verebilirler. Basınçlı yağ, basit motorlara verilerek aşırı yüksek burulma (tork) ve hızlı işlem sağlanabilir. Aynı zamanda elektrohidrolik bir valfi kontrol etmek için gerekli olan güç küçüktür. Esas olarak iş, yağı sıkıştırırken ve bunu robot kollarındaki motorlara iletirken yapılır. Robotun tabanında veya başka uzak bir yerde yerleştirilmiş olan hidrolik pompa için gerekli olan tüm güç tek, güçlü ve verimli bir elektrik motoru tarafından sağlanabilir. Güç küçük elektrohidrolik valfler ile kontrol edilir. Buna rağmen yüksek doğruluklu küçük elektrohidrolik valfler , güçlü elektrik yükselteçleri ve kontrolörlerine göre daha pahalı ve daha az güvenilirdir (Critchlow, 1985).

Kısaca, hidrolik sürücüler yüksek burulma momentlerinde hızlı hareket beklenildiği durumlarda, yüksek güç ihtiyaçlarının fazla olduğu, azda olsa yağ kaçağının kabul edilebileceği yerlerde kullanılır. Elektrik sürücülerini daha düşük güçler için ve patlayıcı malzemelerin ateşlenme tehlikesinin olmadığı yerlerde tercih edilir (Critchlow, 1985).

Pnömatik sistemler; bütün sistemler içinde eğer uygulama için yeterli özellikleri sağlıyorsa büyük olasılıkla en ucuz sistemlerdir. Elektrik motorlarda güç/ağırlık oranı düşüktür. Buna rağmen kolay taşınabilirler, ihtiyaç duyduğu elektrik gücünü kolaylıkla elde edebilirler ve kolay çalışırlar. Gazların sıvılara göre sıkıştırılabilmesi göz önüne alındığında, pnömatik sistemlerin kontrol uyarılarına verdikleri tepki hidrolik sisteme göre yaklaşık 4 kat daha yavaştır. Hidrolik yağlar pnömatik sistemde kullanılan havaya göre daha az akışkan olduğu için, hidrolik sistemler sönümleyici olarak kullanılabilirler. Hidrolik sistemlerde kullanılan yağın düzenli bir şekilde temizlenmesi ve filtre edilmesi gerekir. Aksi takdirde çok küçük parçalar bile sistemde kitlenme yaratabilir (Wolfram, 1995).

Şu an kullanılan robotlardan yarısına yakın kısmı elektrik hareketlendiricilerle yönetilmektedir. Elektrik motorlarında sabit mıknatısların geliştirilmesi güç/ağırlık oranlarında artma yaratacaktır. Bunların en büyük avantajı; robotun uç etkileyicisinin gereksinimi olan sürekli hız kontrolüne uygunluğudur (Wolfram, 1995). (Aslında hız kontrolü sıfırdan istenilen motor hızına kadar, uygulanan voltajı basitçe ayarlayarak kontrol edilebilir. Bu kontrol yetenekleri istenen bir hareketi sağlamakta, çok değişik yüklemelere rağmen kullanılabilir bu sistem akışkan hareketlendiricilerine göre önemli bir avantajdır). Çizelge 2.2'de geleneksel hareketlendirici sistemlerinin temel avantaj ve dezavantajları karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Sonuçta her üç sisteminde kendi içinde ayrı ayrı avantajları vardır. Pnömatik hareketlendiriciler doğal basitlikleri, hidrolik hareketlendiriciler güçleri ve elektrik hareketlendiriciler iyileştirilmiş kontrol kapasiteleri ve temizlikleri ile seçilebilirler.

Çizelge 2.3. Geleneksel hareketlendirici sistemleri

	Elektrikli Sistemler	Hidrolik Sistemler	Pnömatik Sistemler
AVANTAJLARI	-Hızlı ve hassastır. -Karmaşık kontrol tekniklerini uygulamaya elverişli bir yapıya sahiptir. -Kolay kullanımlı ve diğerlerine göre daha ucuzdur.	-Büyük yüklenme kapasitesine sahiptir. -Orta değerlerde suratlıdır. -Yağın basıncı azalmadığından eklemler hareket ettirilmeden sabit tutulabilir. -Hassas kontrol edilebilme imkanına sahiptir.	-Hidrolik sistemlere göre ucuzdur. -Yüksek hız kabiliyeti sağlayabilir. -Akışkanlar ile çevre kirliliğine neden olmaz. -Laboratuvar çalışmalarında kullanılabilir.
DEZAVANTAJLARI	-Dişli ve güç aktarma organlarına gereksinim gösterirler. -Güç sınırlaması vardır. -Oluşan elektrik arkı çeşitli sorunlar yaratabilir.	-Hidrolik sistemler pahalıdır. -Gürültüye ve akışkanların sızması ile çevre kirliliğine neden olurlar. -Yüksek hızlı işleme döngülerine uygun değildirler.	-Hava yağa göre sıkışabilirlik özelliğinden dolayı basınç kaybına neden olur. -Gürültü kirliliği oluşabilir. -Hava yağa göre fazla sızma (kaçak) özelliğine sahiptir. -Sürekli bakım isteyen bir yapıya sahiptir.

2.5. Şekil Bellekli Alaşımlar ve Robotikte Kullanımı

2.5.1. Şekil bellekli alaşımların genel özellikleri

Şekil bellekli alaşımlar; termoelastik martenzitik faz dönüşümü sonucu martenzit fazda belirli bir sıcaklıkta plastik deformasyona uğratıldıklarında daha yüksek bir sıcaklığa ısıtıldıklarında tamamen geri bir hareketle ilk şekillerini alırlar. Yani düşük sıcaklıktan martenzit fazdan, beta fazına (ostenit faz, ana faz) geçiş difüzyonsuz olarak (atomların serbest hareketleri olmaksızın) tamamlandığından gerçekte plastik olan deformasyon aslında termoelastik bir faz dönüşümüdür. Ms (Martensit start) sıcaklığında başlayan martenzit plakaların oluşması Mf (Martensit final) sıcaklığında % 100 martenzit plakaların oluşumu ile son bulur. Bunun tersine, ısıtma ile beraber As (Austenit start) ile başlayan ana faza geçiş Af (Austenit final) ile son bulur.

1932'de Chang ve Read tarafından altın-kadmiyum (Au-Cd) alaşımı ile aralanan şekil bellek süreci 6 yıl sonra bakır-çinko (Cu-Zn) alaşımında şekil bellek etkisinin görülmesiyle hız kazandı. Nikel-Titanyum (Ni-Ti) alaşımında şekil bellek etkisinin görülmesi 1962'de W.J. Buehler ve arkadaşları tarafından ABD'de deniz savaş araçları laboratuvarında olmuştur. Nitinol (Ni-Ti Naval Ordnance Laboratory) olarak adlandırılan ve yaklaşık olarak eşit sayıda Ni-Ti atomlarından oluşan bu alaşımlar deformasyon ve sıcaklığa bağlı olarak olağanüstü mekanik bellek göstermiştir. Çizelge 2.4'de bazı şekil bellekli alaşımların bileşimleri ve dönüşüm sıcaklıkları görülmektedir (Selimbeyoğlu, 1992).

Çizelge 2.4. Bazı şekil bellekli alaşımların bileşimi ve dönüşüm sıcaklıkları

	AlaşımBileşimi	Dönüşüm Sıcaklıkları (°C)
	-----	-----
Ag-Cd	44/49 % Cd.	-190 °C ile -50 °C arası
Au-Cd	46.5/50 % Cd.	30 °C ile 100 °C arası
Cu-Al-Ni	14/14.5 % Al. (3 / 4.5 % Ni)	-140 °C ile 100 °C arası
Cu-Zn	38.5/41.5 % Zn	-180 °C ile -10 °C arası
Mn-Cu	5/35 % Cu	-250 °C ile 180 °C arası

Nikel-Titanyum (Ni-Ti) alaşımının (49/51 % Ni) bazı özellikleri şöyledir (Jackson ve diğerleri ,1972):

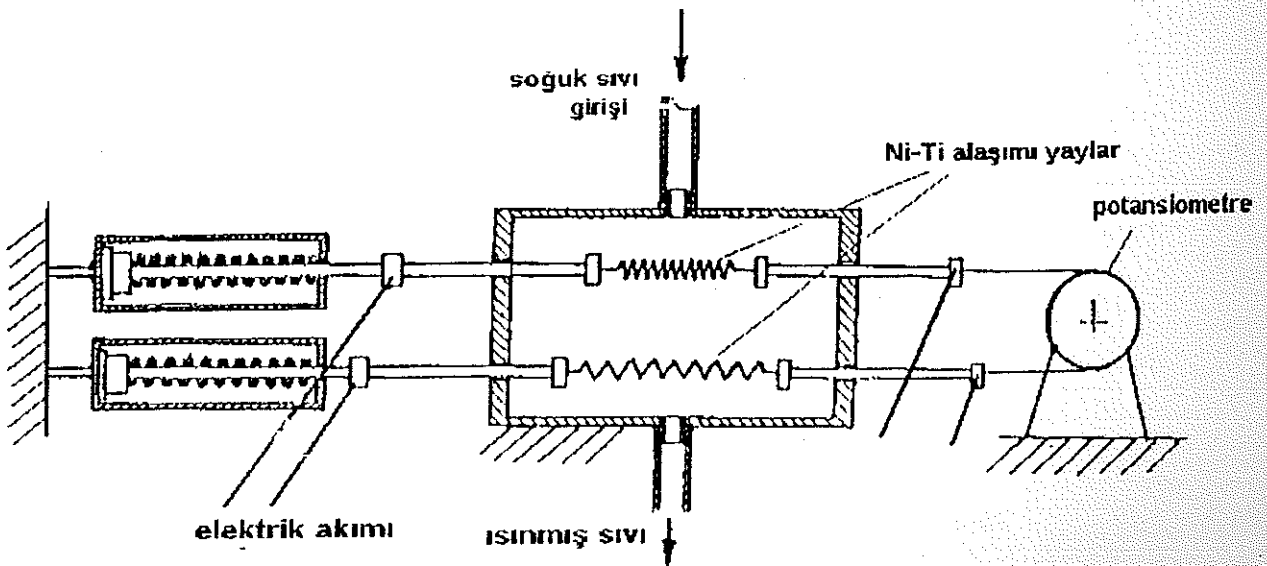
Ergime Derecesi	1300 °C (2370 F)
Yoğunluğu.....	6.45 g/cu.cm
Özdirenci.....	100micro-ohm.cm (Ostenit)
.....	70 micro-ohm.cm (Martenzit)
Dönüşüm Sıcaklıkları	-200 °C ile 110 °C arası

Korozyona dayanıklılık..... çok yüksek

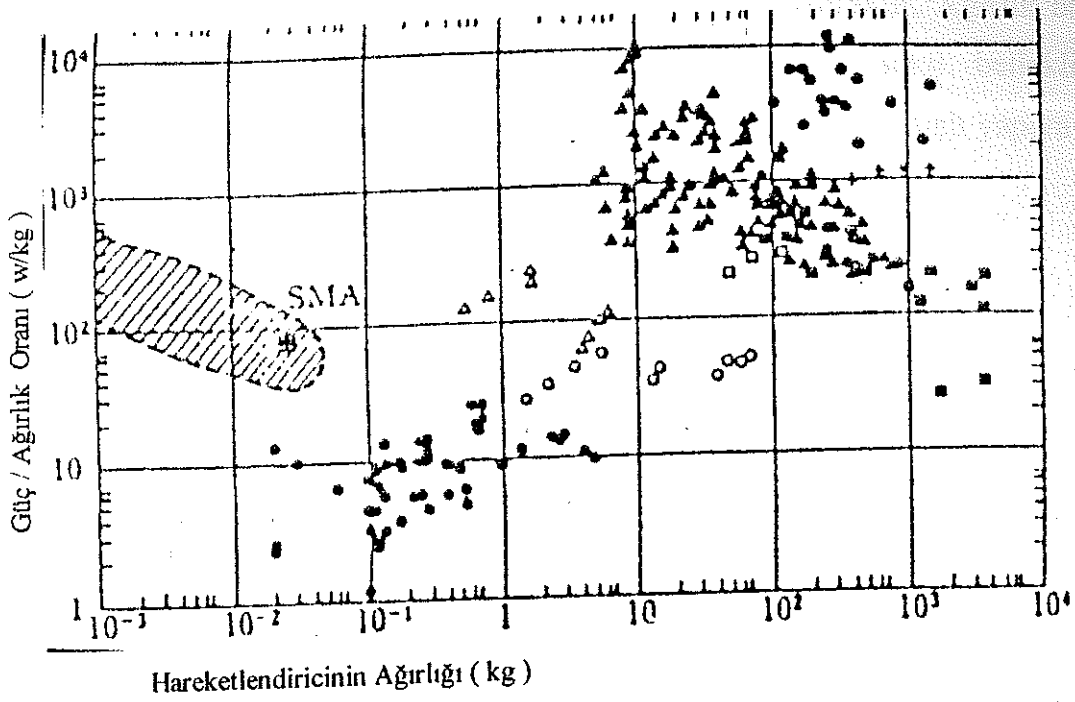
Şekil belleği kazandırma..... 550 °C de

Alaşıma şekil belleğinin kazandırılması için yaklaşık 550 °C'ye kadar ısıtılmakta ve bu sıcaklıkta istenilen şekil belleği verilmektedir. Yüksek sıcaklık, alaşımı oluşturan Nikel ve Titanyum atomlarının kafes yapılarına ait uygun yerlerini almalarını sağlamaktadır (Kauffman,. ve diğerleri, 1993).

Bergamasco ve arkadaşları tarafından tasarlanan (1989) hareketlendirici ise şekil bellek etkisinin hareketlendirici (actuator) teknolojisinde kullanılması açısından güzel bir örnektir. Burada alaşımları ısıtma, üzerinden elektrik akımı geçirerek, soğutma ise sıvı ile yapılmaktadır. Sistemin çalışma prensibi Şekil 2.23' de gösterilmiştir.



Şekil 2.23. Ni-Ti alaşımı kullanılan hareketlendirici sistemi (Bergamasco vd., 1989)



- DC Motorlar
- AC Motorlar
- 2 silindirli gazolin motoru
- 4 silindirli gazolin motoru
- ▲ Hidrolik motorlar
- △ Pnömatik motorlar
- ⊠ Şekil bellekli alaşımlar (SMA)

Şekil 2.24. Bazı hareketlendirici sistemlerinde güç / ağırlık oranları

(Ikuta, 1990)

Şekil 2.24'de şekil bellekli alaşımların diğer sistemler (DC, AC elektrik motorları, 2 ve 4 silindirli gazolin motorları, hidrolik motorlar, pnömatik motorlar) ile karşılaştırılmalı olarak güç/ağırlık oranları verilmiştir. Hareketlendirici sistemleri için, ağırlık açısından en hafif olması güç

açısından ise en güçlü olması istenilen bir özelliktir. Ağırlık bakımından en düşük ağırlığa sahip sistemlerden biri olan şekil bellekli alaşımların güç/ağırlık oranı bakımından incelendiğinde en kullanışlı yapıya sahip olduğu Şekil 2.24’ de görülmektedir.

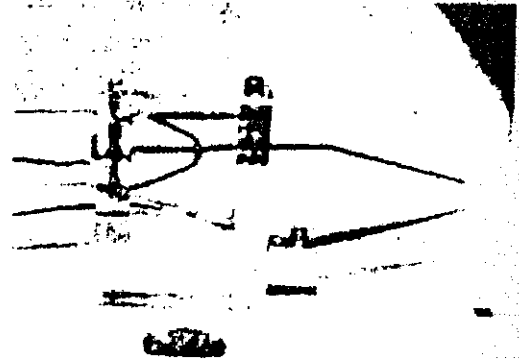
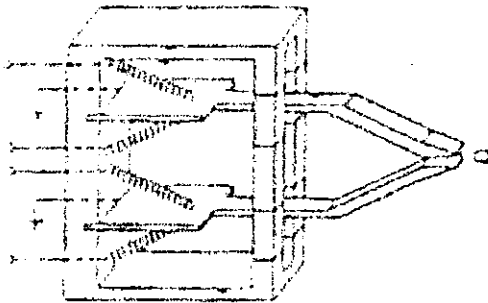
2.5.2. Şekil bellekli alaşımların robotikte kullanım alanları

Günümüzde şekil bellekli alaşımların kullanımı hızla birçok teknolojik alana yayılmaktadır. Artık elektronikte sıcaklık sensörlerinden, tıpta kan basıncı test valflerine, otomotivde radyatör fanlarından robotikte çok bacaklı mobil robotlara kadar değişik alanlarda şekil bellekli alaşımlar kullanılmaktadır.

Şekil bellekli alaşımlar 1980’lerde yangın alarmları gibi çok farklı sahalarda kullanılmaya başlandı. Şekil bellekli alaşım bağlantıları olan bir tavan, yangın esnasında doğal olarak gerginleşiyor ve böylece yanmakta olan odayı izole ediyordu. Geleneksel bimetal termostatlardan daha güvenilir ve uzun ömürlü olduğundan; buzdolaplarında, merkezi ısıtma sistemlerinde, seralarda da kullanılmaya başlandı. Şekil bellekli alaşımların şekil değiştirme anındaki yüksek güçleri Japon Şekil Bellekli Alaşımlar Birliği tarafından kayaların parçalanmasında kullanılmasını, alaşımın hafifliği ise NASA’nın uzay araştırmalarında ağır makinelerin yerine şekil bellekli alaşımları tercih etmesini sağlamıştır (Focus ,1998). 1994 yılında Mars gezegenine gönderilen Pathfinder/Sojourner mobil robotu üzerinde de şekil bellekli alaşımlar kullanılmıştır. Alaşımın buradaki görevi mobil robotta bulunan güneş ışığına duyarlı bir hücreciğin (solar cell) üzerindeki cam kapağı harekete geçirip açmaktır. Bu sayede bilim adamları küçük bir karşılaştırma yaparak mobil robotun hareketiyle cam üzerine biriken toz miktarını tesbit edip gelecekteki Mars yolculuklarında ihtiyaç duyulacak güneş enerjisi panellerinin en etkin

kullanımı ve temizlenmesinin nasıl olacağı hakkında bir fikir elde etmeyi amaçlamışlardır.

Şekil bellekli alaşımların robotikte kullanımıyla ilgili bir tasarım yay sisteminin karşılıklı kullanılması ile olmuştur. Şekil 2.25'de Koji IKUTA tarafından böyle bir sistem kullanılarak yapılan mikro kavrayıcı tasarımı ve prototipi görülmektedir (Ikuta, 1990). Burada şekil bellekli yayların üzerinden elektrik akımı geçirilerek kapanması sağlanan mikro tutucu, ters yönlerdeki normal yayların geri hareketi ile tekrar açılma işlemini yapmaktadır.



Şekil 2.25. Şekil bellekli alaşım kullanılarak yapılan bir mikro tutucu (Ikuta, 1990)

Şekil bellekli alaşımların faz değişimi kullanılarak çalışan bu hareketlendiricilerin en büyük avantajı sistemin basitliğidir. Sistemin gürültü yapmadan, çevreyi kirletmeden çalışması diğer bir avantajıdır. Bu özelliğinden dolayı mikroelektronikte, biyoteknolojide ve tıbbi çalışmalarda kullanımı yaygınlaşmaktadır. Sistemi 3 veya 12 volt gibi düşük voltajlarda kullanma kolaylığı vardır. Elektrik akımı ile bu hareketlendiricilerin çalışması sistemi

uzaktan komuta imkanını da sağlamaktadır. Hareketlendirici teknolojileri ve bunların güç/ağırlık oranları arasında bir karşılaştırma yapıldığında hareketlendiricinin en hafif olması güç/ağırlık oranında en yüksek olması istenilen bir özelliktir. Nikel-Titanyum alaşımının güç/ağırlık oranının yüksek olması tutma işleminin daha kuvvetli olmasını sağlamaktadır. Aynı zamanda alaşımın özdirencinin faz değişimlerinde değişmesi, sistemin kontrolünü kolaylaştırmaktadır (Ikuta, 1990).

Şekil bellekli alaşımların robotik teknolojisinde kullanılmasının avantajlarını şöyle sıralanabilir.

- Çalışma mekanizmasının basitliği
- Yüksek güç/ağırlık oranı
- Gürültüsüz ,sessiz bir şekilde çalışması
- Korozyona karşı yüksek dayanıklılık göstermesi
- Temiz ve çevreyi kirletmeden çalışması
- Elektrik akımıyla kontrol edilebilme kolaylığı

Sistemin zayıf noktası olarak tekrar ömrü (yorulma problemi) görünmektedir. Tekrar ömrü alaşımın özelliğine ve istenilen şekil bellek değişimi oranına göre değişmektedir. Mf ve Af sıcaklık noktalarının düşük olduğu alaşımlarda tekrar ömrü daha yüksek olmaktadır. Nikel-titanyum alaşımı ile yapılan deneylerde 10 000 tekrar yapıldığında hareket kabiliyeti %2 civarında olmaktadır. 1 000 000 dan fazla tekrar yapıldığında şekil bellek kabiliyetinin %1'e kadar düştüğü görülmüştür (Ikuta, 1990).

2.5.3. Şekil bellek alışımı hareketlendiriciler için kontrol sistemleri

Şekil bellekli alışimler bir hareketlendirici olarak kullanılması durumunda yapılan görevin kontrolünün yani uygun yapılması için gerekli olan geri besleme sisteminin sağlanması , hareketlendiricinin iş yapabilme kabiliyetini artıracaktır. Örneğin eğer bir parçanın tutulması isteniyorsa ne gevşek tutup parçanın düşmesine ne de fazla sıkıp parçanın zarar görmesine olanak verilmeyecektir.

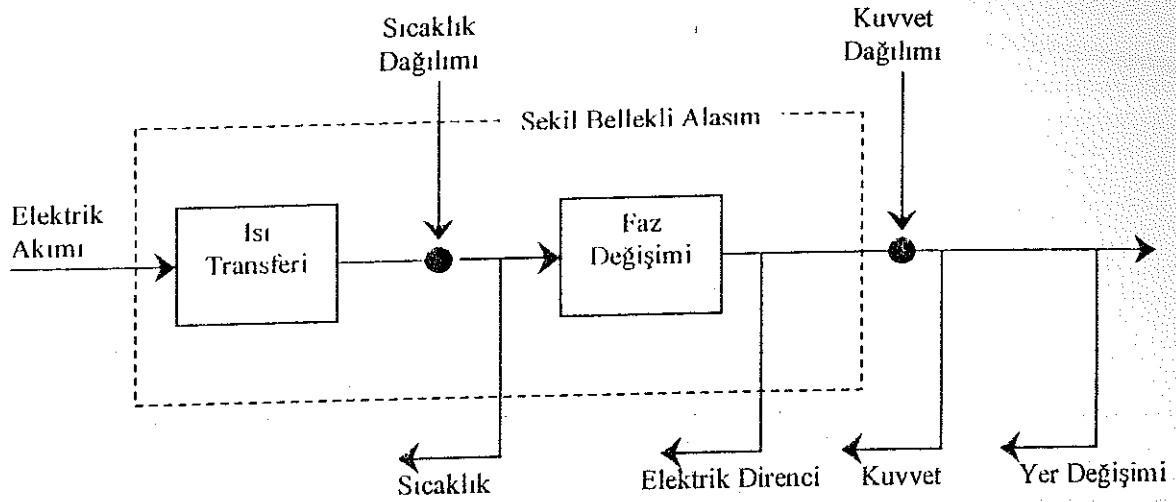
Şekil bellekli alışimler için geri besleme oluşturabilecek kontrol değişkenleri iç ve dış kontrol değişkenleri olarak iki gruba ayrılabilir. İç kontrol değişkenleri alışımın iç yapısında oluşan değişim sonucu elde edilebilen verilerden, dış kontrol değişkenleri ise alışımın dış yapısında şekil değişimi anındaki verilerden oluşur. Şekil 2.26'da şekil bellekli alışım kontrol değişkenleri gösterilmektedir.

İç kontrol değişkenleri :

- a- Sıcaklık
- b- Elektrik direnci

Dış kontrol değişkenleri :

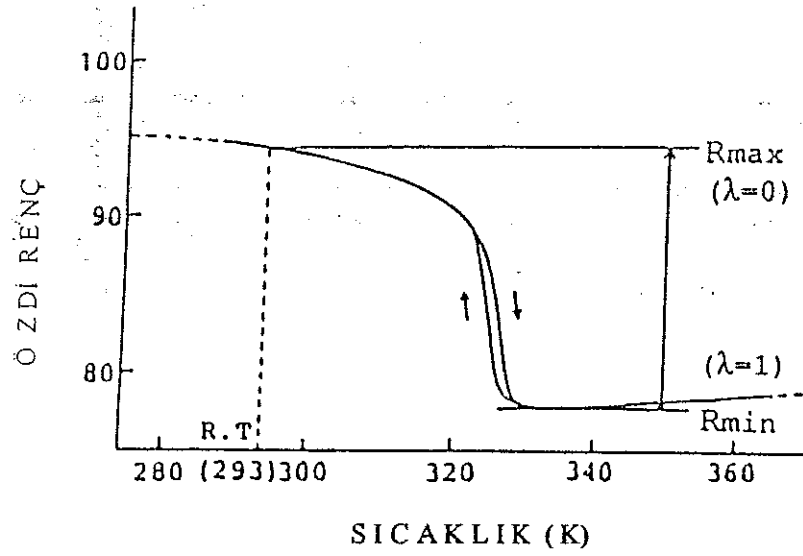
- a- Kuvvet
- b- Yer değişimi



Şekil 2.26. Şekil bellekli alaşım kontrol değişkenleri (Ikuta, 1990)

İç kontrol değişkenlerinden sıcaklık alaşımın üzerine konulabilecek bir sıcaklık sensörü ile ölçülebilir. Isınma veya soğuma sonucu alaşımın martenzit fazdan ostenit faza veya ostenit fazdan martenzit faza faz dönüşümlerinin yani alaşımdaki şekil değişikliğinin ölçülen sıcaklık derecelerinde ne kadar olduğu belirlenerek kurulacak kontrol sistemi için bir veri oluşturması sağlanabilir.

Örneğin SMA robot elde bütün parmakların tam olarak kapanması 100 santigrat derecede olmaktadır. Tam kapanma istenmediği bir durumda alaşımın ısıtılması tespit edilen daha düşük bir sıcaklıkta kesilerek istenilen kapanma hareketinin oluşması sağlanabilir. Alaşımın ostenit ve martenzit fazlarda öz direnç değişimi yine bir iç kontrol değişkeni olarak kullanılabilir. Şekil 2.27’de Ni-Ti alaşımının faz değişimi anında öz direncindeki düşüş/yükseliş gösterilmiştir.



Şekil 2.27. Ni-Ti alaşımında sıcaklık/özdirenç değişimi (Ikuta, 1990)

Dış kontrol değişkenlerinden kuvvet alaşımın şekil değişimi esnasında kavrayacağı parçaya uygulamakta olduğu basınç sonucu ortaya çıkar. Burada uygulanan basıncın ne kadar olduğunun bulunması ile uygulanan kuvvette direkt olarak çıkarılmış olur. Oluşan basıncın bir kontrol değişkeni olarak alınması ile parçanın istenilen ölçüde kavranması kontrol edilebilir. Birçok robot uygulamalarında yer değişimi yani uç etkileyicinin hareketi sonucu koordinatlarının değişmesi bir kontrol değişkeni olarak alınarak, bilgisayarla kontrol sağlanmaktadır. Fakat özellikle karmaşık hareket sistemlerinden dolayı, bir çok kez yörünge hatalarına rastlanmakta ve uç etkileyiciyi istenilen koordinata taşıma gücü çekiştirilmektedir.

3. SMA ROBOT ELİN TASARIMI VE KULLANILAN SİSTEMLER

3.1. SMA Robot Elde Kullanılan Malzemeler

Araştırma için gerekli olan Nikel-Titanyum (Ni-Ti) alaşımı ABD.de Shape Memory Applications, Inc. firmasından (25x75x2 mm) boyutlarında levhalar halinde ithal edilmiştir. Robot elde parmaklarda kullanılan bu levhalar İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü laboratuvarlarında soğuk kesim sonucu (5x75x2 mm.) boyutlarına indirilmiştir.

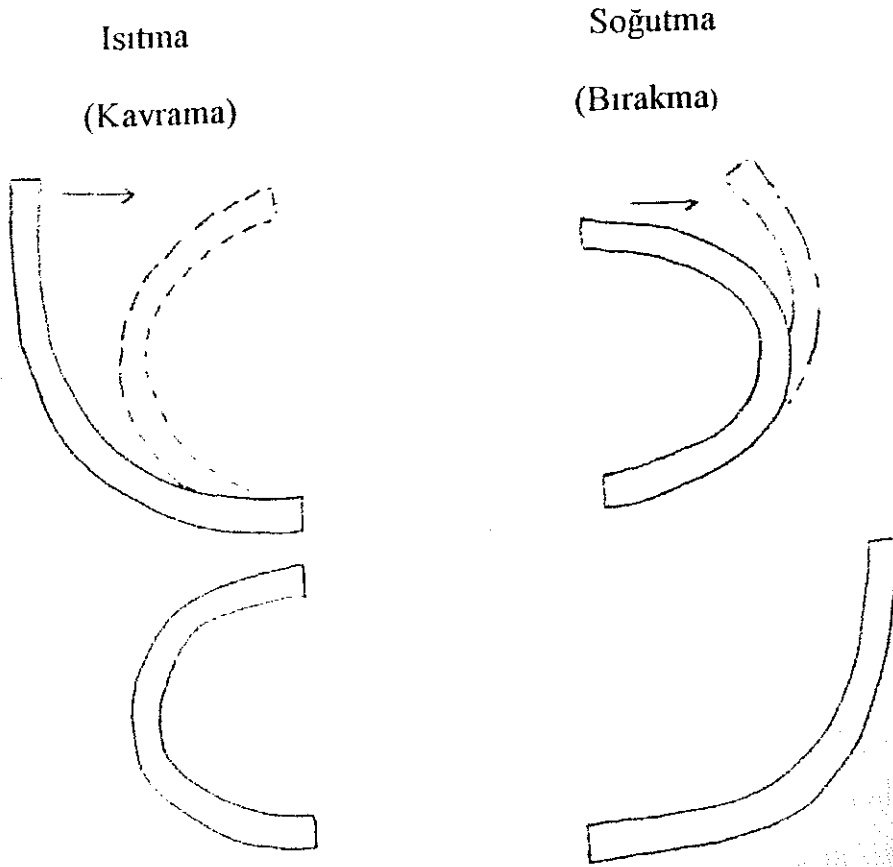
SMA Robot Elde el ayası olarak ısıya ve darbeye dayanıklılık ve yalıtkanlılık özelliğinden dolayı fiber levha kullanılmıştır. Isı iletimi az olan ve yüksek sıcaklıklara dayanabilen kolay bükülebilen yumuşak silikonlu 1.5 mm. çapında kablolar parmaklar üzerinden elektrik akımının geçirilmesini sağlamaktadır. Yine aynı özelliklere sahip yalıtkan makoronlar parmak dış yüzeylerini kapatmakta kullanılmıştır. Robot ele elektrik akımı 300 wattlık bir trafo vasıtasıyla verilmektedir. Oluşturulan devrenin kesimi için basınca duyarlı şalter kullanılmıştır. Bağlantılar ve sargılar yalıtkan ve yanmaz teflon bezle yapılmıştır. Parmakların, parmak yuvalarına monte edildiği yerlere teflon bez konularak yuvaların ısınması önlenmeye çalışılmış ayrıca ısı kaybına karşı da bu şekilde önlem alınmıştır. Parmakların soğutularak açılmasını sağlamak için kullanılan freon 134R ($C_2H_2F_4$) gazı bakır borularla parmak diplerine kadar ulaştırılmış, parmak ortalarına kadar 2 mm. çaplı makoronlarla iletimi sağlanmıştır.

Sistemde, parmakların tutulacak parçaya uyguladığı basıncı kontrol için kullanılan basınç şalteri 0.5 kg. ile 10 kg. aralığındaki basıncı denetleyebilecek

kapasitededir. Bu sayede SMA Robot Elle yumurta, bardak gibi kolay kırılabilen cisimler güvenle tutulabilmektedir. Ayrıca 10 kg.' a kadar basınçla kuvvetli tutulması gereken parçalar da kavranabilmektedir. Şalter hidrolik yağ veya hava basıncı ile çalışabilmektedir. SMA Robot Elde, ısıya daha dayanıklı olduğu ve hızlı iletim sağladığı için hidrolik yağ kullanılmıştır. Başparmak içerisine basıncı kolayca iletebilen elastik kauçuk balon yerleştirilmiştir.

3.2. Çift Yönlü Şekil Bellek Eğitiminin Yapılması

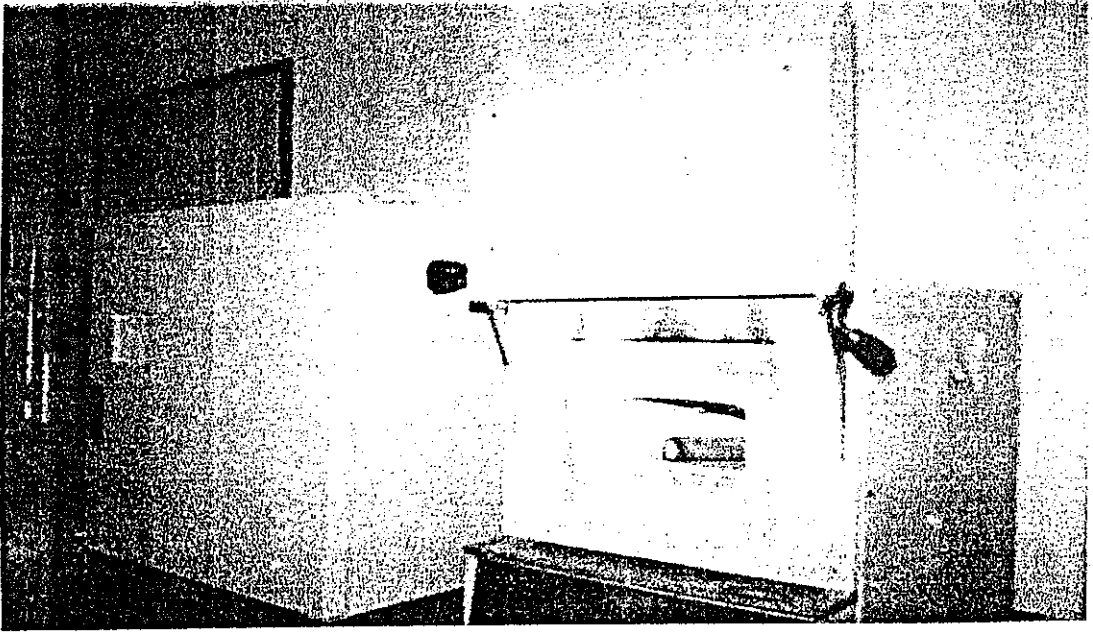
Alışma aşağıda Şekil 3.1'de gösterilen kavrama ve bırakma hareketlerini sağlayacak çift yönlü şekil belleği kazandırılmadan önce, EK-2'de gösterilen



Şekil 3.1. Ni-Ti parmaklara kazandırılan kavrama hareketleri

DSC (Differential Scanning Calorimetric) analizi İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü laboratuvarlarında yapılmıştır. Bu analiz sonuçlarına göre alaşımda meydana gelen endotermik ve egzotermik reaksiyonların en düşük seviyeye indiği nokta 550 °C olarak belirlenmiştir.

Analiz sonucuna göre alaşıma şekil bellek eğitiminin yapılması 550 °C’ de fırında laboratuvar ortamında başlatılmıştır (Şekil 3.2).

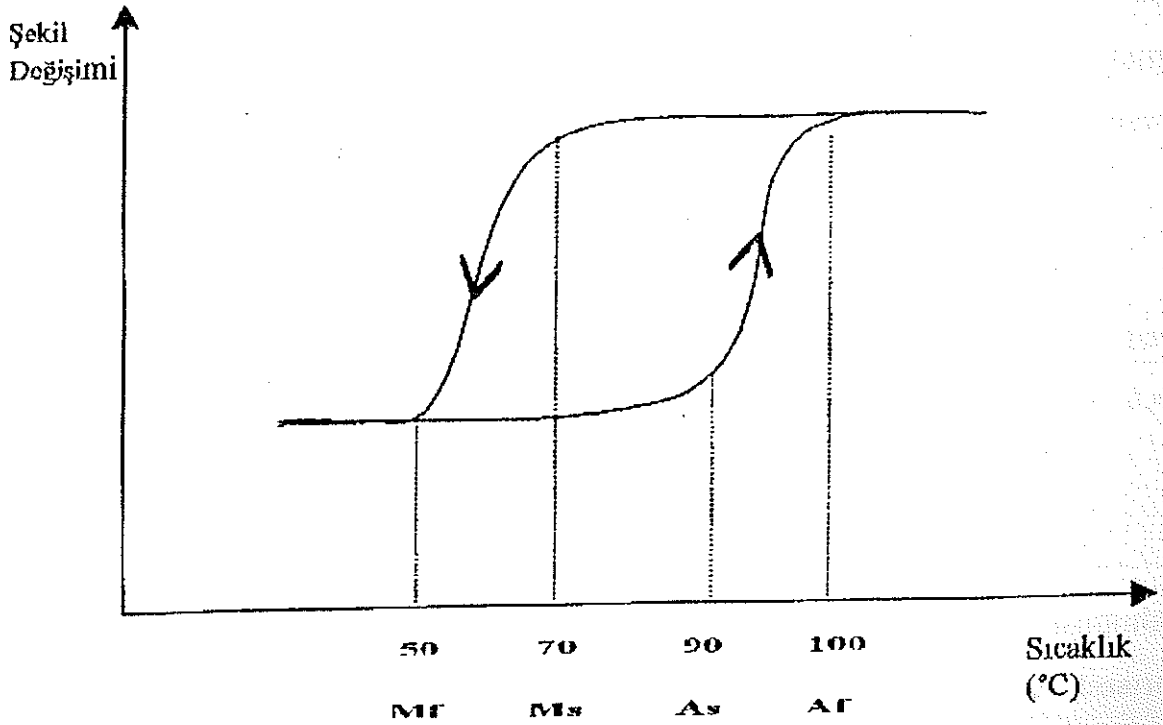


Şekil 3.2. Laboratuvarda fırın içinde bellek eğitimi yapılması

SMA Robot Elin parmaklarında kullanılan 5mm.x75mm.x2mm. boyutlarındaki alaşımlar, Şekil 3.1’ deki parmak hareketini sağlayacak şekilde bükülerek 550 °C’ deki fırın içine konulmuştur. 15 dakikalık bir ısıtma süresinden sonra Ni-Ti parmaklar fırından çıkarılarak su içerisinde soğutulmuştur. Bu işlemin üç defa tekrarlanması sonucunda parmaklara kapanma hafızası kazandırılmıştır. Daha sonra Ni-Ti parmaklar soğutulurken ağırlık uygulanarak parmaklara açılma eğitimi uygulanmıştır. Böylece

istenilen çift yönlü şekil belleğini kazanan parmaklar kullanıma hazır hale gelmiştir.

Faz dönüşüm sıcaklıklarını net bir şekilde tespit etmek için yapılan deneylerde, alaşım su içerisinde ısıtılmıştır. Su sıcaklığı 90 °C' ye ulaştığında alaşımda şekil değişiminin başladığı görülmüştür. Şekil değişimi 100 °C' ye kadar devam etmiş, bu dereceden sonra şekil değişimi olmamıştır. Su içerisinde alaşım kendiliğinden soğumaya bırakıldığında 70 °C' den itibaren tekrar şekil değişimi başlamış bu değişimde 50 °C' ye kadar sürmüş 50 °C' nin altında şekil değişimi durmuştur. Böylece M_f 50 °C , M_s 70 °C , A_s 90 °C , A_f 100 °C olarak tespit edilmiştir (Şekil 3.3).



Şekil 3.3. Araştırmada kullanılan Ni-Ti'nin sıcaklık/şekil değişimi

3.3. SMA Robot Elin Tasarımı ve Robot Elin Alt Sistemleri

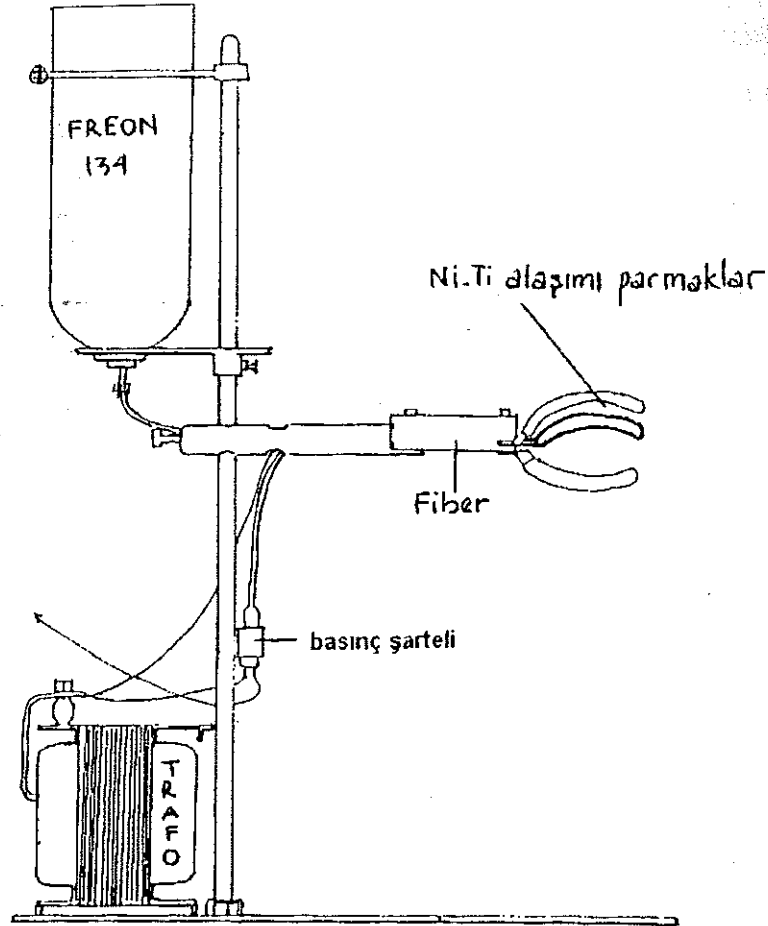
Bilgisayar ortamında ODTÜ Makine Mühendisliği Bölümü CAD/CAM/ROBOTICS'te *Proengineer* programı kullanılarak SMA Robot Elin öncelikle katı modellemesi yapılmış, gerekli parça boyutları ve tasarımı oluşturulmuştur. Katı modelleme sayesinde, sonradan çıkabilecek bazı problemlere tasarım anında erken çözümler bulunmuştur. Oluşturulan katı modelleme tasarımın patlamış hali EK-1' de gösterilmiştir.

Tasarımda, uygun kavrama hareketlerini sağlayacak çift yönlü şekil belleği verilen Ni-Ti alaşımı levhalar fiber levha üzerine monte edilmiştir. Levhalara kazandırılan şekil belleği Şekil 3.1'de gösterilmektedir. Nikel-Titanyum alaşımının şekil değişimi ile hareket eden parmaklar süreklilik gösteren bir hareketle kavramayı gerçekleştirmektedir.

SMA Robot El, üç ayrı alt sistemden oluşmaktadır. Bunlar ısıtma, basınç kontrolü ve soğutma sistemleridir. SMA Robot Elin tasarımı Şekil 3.4'de gösterilmiştir.

Isıtma alt sisteminde; robot el sistemine uygunluğu ve ileride oluşturulacak bilgisayarla kontrol sistemi için bir veri oluşturması açısından tasarımda üzerinden elektrik akımı geçirerek ısıtma yolu tercih edilmiş ve bu iş için çıkışı 100 Amper, 3 voltluk bir trafo kullanılmıştır. Tutma komutu verildiği anda elektrik devresi kapanarak Ni-Ti alaşımının ısıtılması sağlanmaktadır. Ni-Ti alaşımının öz direncinin yüksekliği ve yüksek akım eldesi ısıtma periyodunu çok kısa bir zamana düşürmektedir. Böylece Ni-Ti alaşımının faz

değişimi sonucu parmaklarda şekil değişimi yani kavrama hareketi görülmektedir.



Şekil 3.4. SMA Robot Elin tasarımı

Gücün (300 watt), yükseltip azaltılması ile parmak hareketlerinin hızlandırılıp yavaşlatılması mümkündür.

Basınç kontrolü alt sistemi; cismin uygun kavranması için baş parmak içerisine yerleştirilen hidrolik yağ dolu balon ve bu balonun bağlı olduğu basınç şalterinden oluşmaktadır. Parmakların kapanmasıyla tutulan cismin

balona basınç uygulaması sonucu bu basınç doğrudan basınç şalterine iletilmekte ve ısıtma alt sisteminde bulunan elektrik devresini kesmektedir. Böylece parmakların ısınması durmakta ve uygun kavrama gerçekleşmektedir. Basınç kontrolü hidrolik yağ dolu balon vasıtasıyla sürekli bir faaliyet olarak devam etmektedir. Yani parmaklarda soğumadan dolayı oluşan açılmanın başlaması durumunda, basınç şalterinin devreyi kapatmasıyla elektrik akımıyla ısıtma tekrar başlamaktadır.

Soğutma alt sisteminde hızlı bir soğutma işleminin gerçekleşmesi için Freon 134R ($C_2H_2F_4$) gazı kullanılmıştır. Isınan Ni-Ti alaşımı parmaklar üzerine püskürtülen freon gazı vasıtasıyla alaşımın martenzit faza geçmesi yani şekil değiştirerek, robot el tarafından tutulan cismi bırakma işlemi sağlanmıştır. Aslında sistem bir müdahale olmaksızın $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ' den aşağı bir ortam sıcaklığına bırakıldığında soğuma yavaş yavaş olacak , parmakların cismi bırakma eylemi de aynı yavaşlıkta gerçekleşecektir. Freon gazının kullanılması robot-el parmaklarındaki açılma yani cismi bırakma hareketinin çok daha hızlı bir şekilde gerçekleşmesini sağlamaktadır. IV ncü bölümde soğutma alt sistemi üzerinde yapılan deneyler daha geniş bir şekilde gösterilmiştir.

3.3. SMA Robot Elin Kontrolü

Endüstriyel robotlar ve bunların hareketlendirici teknolojileri ancak uygun kontrol sağlandığında endüstriyel alanda kullanılabilirler. Uç etkileyicilerin kullanılacak olan parça ile ilgili görevini yapabilmesi için gerekli olan kontrol sistemleri çok çeşitlilik göstermektedir. Uç etkileyici kontrol sistemleri temelde insanın algılama hislerini taklit ederek çalışmaktadır. Kontrol sistemlerinin hızla gelişimi ve genişlemesi artık yeni bir disiplini yani kontrol

mühendisliğini ortaya çıkarmıştır. Bu bölümde SMA robot elin kontrol mekanizması hakkında açıklamalarda bulunmaktadır.

SMA robot elde dış kontrol değişkenlerinden kuvvet yani basınç değişimi oluşturulan kontrol sisteminde kullanılmıştır. Robot elde baş parmak içerisine, içi hidrolik fren yağı ile doldurulmuş bir balon uzatılmıştır. Balon bakır borularla bir basınç şarteline irtibatlandırılmıştır. Basınç şarteli 220 voltluk elektrik akımının balonda oluşacak uygun basınç sonucu kesilmesini sağlamaktadır. Böylece üzerinden trafo vasıtasıyla 3 voltluk elektrik akımı geçirilen alaşımın ısınması durdurulmakta yani robot el parmaklarının uygun kavrama noktasında kalması sağlanmaktadır. SMA robot elde kavrama ve bırakma işleri şu andaki durumu ile ayrı ayrı yapılmakta ve sistemin ara kontrolü manuel olarak yapılmaktadır. Ayrıca sisteme kavrama/bırakma komutları da manuel olarak verilmektedir.

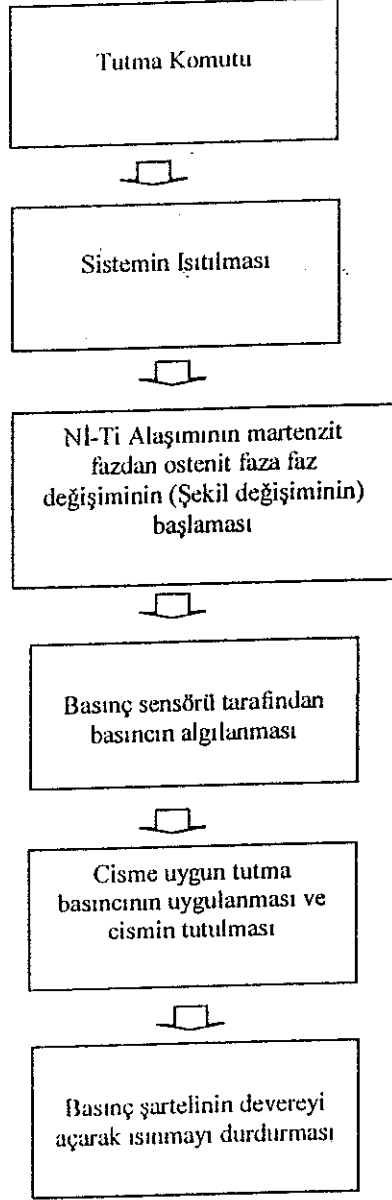
Kavranan parçanın bırakılması istendiğinde borular vasıtasıyla parmaklara dağıtılan freon gazının valfi açılmakta ve ısınan parmakların soğuması sağlanmaktadır. Bu durumda tekrar martenzit faza dönen alaşımlar eski şekillerine geçmektedir.

Basınç şartelinde oluşan basıncın sayısal olarak alınması sağlanarak bu değerlerin bir bilgisayar programına veri olarak girilmesi ile SMA Robot Elin kontrolü bilgisayarlı kontrole dönüştürülebilir.

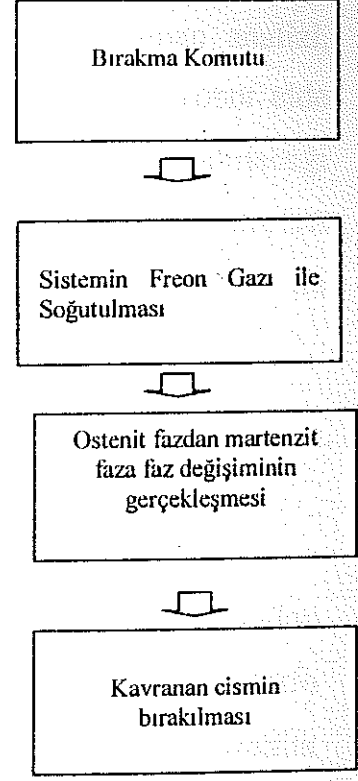
örneğin

Çizelge 3.1. SMA Robot Elin çalışma akış şeması

KAVRAMA



BIRAKMA



4. PERFORMANS ANALİZ DENEYLERİ VE ÖNCEKİ BİR ÇALIŞMAYLA KARŞILAŞTIRILMASI

SMA Robot Elin performansını belirlemek amacıyla, verilen güce göre parmakların kapanma süreleri, robot elde kavrama-bırakma/zaman analizi, robot elin kavrayabileceği en küçük ve en büyük parça boyutları, robot elde taşınabilecek en büyük parça ağırlığı, robot el parmaklarının uygulayabileceği en yüksek kuvvet deneyleri gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar adım motorları kullanılarak yapılan METUHAND'e ait performans sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

4.1. Verilen Güce Göre Ni-Ti Parmakların Kapanma Süresi

SMA Robot Elde parmakların kapanma sürelerini ölçmek maksadıyla yapılan deneyde, 100 wattlık ve 300 wattlık iki trafo kullanılmıştır. 100 wattlık trafo ile 3 parmağın en son kavrama şeklini alması 92 saniyede olurken, 300 wattlık trafo ile 3 parmağın en son kavrama şeklini alması 8.75 saniyede tamamlanmıştır. Çizelge 4.1'de yapılan deneyler ayrıntılarıyla gösterilmektedir.

Çizelge 4.1. Parmak sayısına ve verilen güce göre Ni-Ti parmakların kapanma süresi

		parmak sayısına göre kapanma süresi		
		1 parmak	2 parmak	3 parmak
verilen güç	100 watt	38 saniye	62 saniye	92 saniye
	300 watt	3.76 saniye	6.34 saniye	8.75 saniye

4.2. SMA Robot Elde Kavrama-Bırakma/Zaman Analizi

SMA Robot Elle kavrama-bırakma/zaman analizinde robot-el parmaklarının ne kadar süre içerisinde tam kavramayı gerçekleştirdiği, parçayı geri bırakma süresinin freon gazı, su ve normal oda sıcaklığında ne kadar süre içerisinde tamamlandığı tespit edilmiştir (Çizelge 4.2). Robot elin bir önceki deneyden de görüldüğü gibi, tam kavrama yapması 8.75 saniye sürmektedir.

Çizelge 4.2. SMA Robot Elde farklı soğutma sistemleri kullanıldığında bırakma süreleri

	parçayı bırakma	tam olarak açılma
Freon gazı	0.8 saniye	3 saniye
15 °C su	0.7 saniye	4 saniye
29 °C oda sıcaklığı	17 saniye	397 saniye

4.3. SMA Robot Elin Kavrayabileceği En Küçük En Büyük Parça Boyutları

SMA Robot Elle kavranabilecek en küçük ve en büyük parça boyutlarının belirlenmesi için yapılan ölçümlerde prizmatik bir parçanın boyutları üç ayrı kattezyen düzlemde değiştirilerek inçe kavrama ve güçlü kavrama sonucunda kavrayacağı en küçük ve en büyük cisim boyutları bulunmuştur. Öncelikle

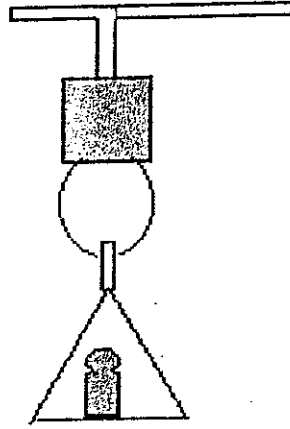
robot elle ince kavrama ile yani parmak uç yüzeyleri kullanılarak yapılan kavramada en küçük kağıt inceliğinde bir parçadan, en büyük 4.5 cm. kalınlığındaki bir parçaya kadar tutma görülmüştür.

SMA Robot Elin şu andaki tasarımında parmak iç yüzeylerinin kullanılması, yani güçlü kavrama ile en küçük 2.5 cm. çapında silindirik parçayı kavrayabileceği tespit edilmiştir. Parça boyutlarının 2.5 cm.'den başlayarak artırılması sonucunda kavrayabileceği en büyük parça çapı 7.5 cm. olarak ölçülmüştür.

Robot elin ince ve güçlü kavrama çalışmalarında parmak yuvalarının açıları parmakların fiber levhaya tutturulduğu yerden değiştirildiğinde kavrama alanı kolay bir şekilde daraltılıp genişletilebilmektedir.

4.4. SMA Robot El İle Taşınabilecek En Büyük Parça Ağırlığı

SMA Robot elle taşınabilecek en büyük parça ağırlığını bulmak maksadıyla, robot-el parmakları ince kavrama ile bir parçayı tutmuş, tutulan bu parçaya askıyla parçalar ilave edilerek en son kaç gramlık bir cismi parmak uçlarında taşıyabileceği ölçülmüştür. Bu deney için robot elin konumu değiştirilerek Şekil 4.1'de de görüldüğü gibi yerdeki bir parçayı yukarı çekebilecek duruma getirilmiştir. 250 gramdan itibaren parça ağırlığı 250 gramlık parçalarla adım artırılarak robot-elin en son kaç gramlık bir ağırlığı parmak uçlarında taşıyabileceği görülmüştür. Şekil 4.1'de bu deneyin nasıl yapıldığı gösterilmiştir.

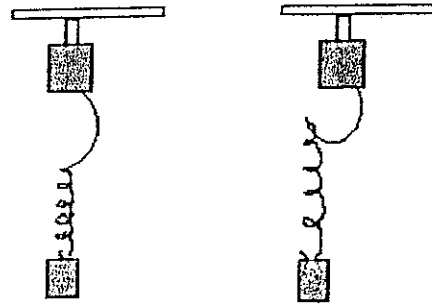


Şekil 4.1. İnce kavrama ile ağırlık kaldırılması

SMA Robot El parmak uçlarında 1750 grama kadar olan parçaları taşıyabilmiş yüklemeye devam edildiğinde parmak aralarına konulan parça kaymaya başlamıştır.

4.5. Robot El Parmaklarının Uygulayabileceği En Yüksek Kuvvet

SMA Robot El parmaklarının uygulayabileceği en yüksek kuvveti tespit etmek amacıyla, robot elin bir parmağı kullanılarak gerekli deneyler yapılmıştır. Deney için öncelikle bir yayın k sabiti tespit edilmiş ($k:0.59$) daha sonra k sabiti belli olan bu yay bir parmak altına takılarak parmağın kapanmasıyla birlikte parmağın yaya uyguladığı en yüksek kuvvet tespit edilmiştir. Şekil 4.2’de deneyin nasıl yapıldığı gösterilmiştir. Parmak ısıtıldığında 2250 grama kadar olan ağırlıkları çekebildiği görülmüştür.



Şekil 4.2. Tek parmağın uygulayabileceği en yüksek kuvvet tespiti

4.6. SMA Robot Elin METUHAND İle Performans Karşılaştırılması

Bu bölümde SMA Robot Elin tespit edilen deney sonuçlarıyla METUHAND'e ait daha önceden tespit edilmiş performans analiz sonuçları karşılaştırılmaktadır. SMA Robot El için yukarıda elde edilen performans deneylerine karşılık METUHAND'de taşınabilecek en küçük ve en büyük parça hacmi, kaldırılacak en büyük parça ağırlığı ve tekrar analiz ölçümleri yapılmıştır.

Robot elle kaldırılacak en büyük parça ağırlığı tespiti için METUHAND ile yapılan kuvvet analizinde 22 gramlık silindirik parçanın ağırlığı 32 grama kadar 2 gram 2 gram adım adım artırılarak parçanın kontrolünü kaybetmeden tutması sağlanmıştır (Zergeroğlu,1996). SMA Robot El ile yapılan aynı testte robot el 1750 grama kadar olan parçaları taşıyabilmiştir.

Taşınabilecek en küçük ve en büyük parça hacmini tespit maksadıyla Metuhand ile yapılan testlerde prizmatik parçanın boyutları büyütülerek ölçümler yapılmıştır (3.5 X 2 X 5.5 cm., 5 X 2 X 8 cm., 2 X 5 X 10 cm.).

Sonuçta METUHAND ile 2 X 5 X 10 cm. büyüklüğüne sahip ve daha küçük parçaların tutulabileceği görülmüştür. SMA Robot Elle yapılan aynı testte ise parmak uçları kullanılarak 4.5 cm. genişliğinden daha küçük parçaları, parmak içinde ise 2.5 cm.den 7.5 cm. çapına kadar olan bütün cisimleri uygun kavrayabileceği görülmüştür.

Yapılan performans analizleri sonucunda SMA Robot Elin METUHAND ile yaklaşık aynı kavrama alanına sahip olduğu görülmüştür. Ancak parça taşıma kapasitesinin SMA Robot Elde METUHAND'e göre oldukça yüksek olduğu tespit edilmiştir.

SMA Robot Elde yapılan gözlemlerde yaklaşık 1000 tekrara kadar parmak hareketinde herhangi bir hata olmamakla birlikte ilerleyen tekrarlarda parmak kavrama eksenlerinde % 1 oranında bellek kaybetme olduğu görülmüştür. Tekrar analizlerinde, SMA Robot Elin yaklaşık 1 000 tekrardan daha önceki uygulamalarında pozisyonlama hatalarının uygun kavramayı etkilemeyecek kadar düşük olduğu görülmüştür. METUHAND Robot Elinde parmaklara hareket iletimi sağlayan makara-ip sisteminde kullanılan kabloların kaçınıcı tekrardan sonra hata verdiğine ilişkin üst sınır belirtilmemiştir.

Çizelge 4.3. Metuhand ile tekrar analizi (Zergeroğlu; 1996)

	İLK HATA	ŞEKİL KARIŞTIRMA	İLK HATA	ŞEKİL KARIŞTIRMA	İLK HATA	ŞEKİL KARIŞTIRMA
YÜKLENMEMİŞ EL	6nci tekrarda	8nci tekrarda	5nci tekrarda	7nci tekrarda	5nci tekrarda	6nci tekrarda
SİLİNDİRİK PARÇAYI TAŞIMA	----	----	3ncü tekrarda	4ncü tekrarda	3ncü tekrarda	4ncü tekrarda
PRİZMATİK PARÇAYI TAŞIMA	----	----	4ncü tekrarda	4ncü tekrarda	3ncü tekrarda	5nci tekrarda

Fakat METUHAND Robot Elin kanca tutuşu, güçlü kavrama ve ince kavrama esnasında ilk hata yapmasının kaçınıcı tekrardan sonra olduğu belirtilmiştir. Robot elin tekrar hataları ile ilgili veriler Çizelge 4.3’de gösterilmiştir.

SMA Robot Elde Ni-Ti parmaklardaki yorulma sonucu (yaklaşık 1 000 tekrar üstü) parmaklarda hareket kısıtının oluşması problemi, parmakların çok kısa bir anda değiştirilmesi ile kolayca halledilebilmektedir. Metuhand’de de daha hassas adım motorlarının ve daha yüksek güç aktarımı sağlayabilecek makaralı sistemlerinin kullanılması durumunda sonuçlar daha da iyileştirilebilir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Hünerli robot el tasarımlarında en uygun antropomorfik kavramayı sağlamak, endüstriyel robotun görev alanını genişletmek açısından önemli bir çalışma alanını oluşturmaktadır. Günümüzde artık endüstriyel robotların işletme içerisinde hemen her bölümde kullanıldığı düşünülürse, geleceğin işletmelerinin tamamiyle bilgisayarla bütünleşik üretim ve onun alt sistemlerinin modernizasyonu ile şekil alacağını görmek hiç de zor değildir. Artık yapılan çalışmalarda bir iş için en uygun robotun seçiminde robot sistem simülasyonu kullanılmaya başlanmıştır.

Robotik alanında şekil bellekli alaşımların kullanılması oldukça yenidir. Özellikle geleneksel hareketlendirici sistemlerden başka şekil bellekli alaşımları da robotik alanında kullanmak bu alanda yapılacak çalışmalara bir başlangıç oluşturması bakımından oldukça önemlidir.

Bu çalışmada, şekil bellekli alaşımların robot uç etkileyicisi kısmında, hünerli bir robot el tasarımlarında etkin bir şekilde kullanılabileceği kanıtlanmıştır. Şekil bellekli alaşımlar kullanılarak gerçekleştirilen üç parmaklı SMA Robot El prototipinin geliştirilerek endüstriyel alanda montaj hattında esnek bir şekilde kullanılacağı ve robot elle kavrama sistemine yeni bir bakış açısı getireceği değerlendirilmektedir.

Diğer robot el sistemleriyle karşılaştırıldığında SMA Robot El sisteminin hangi avantajlar sağladığı şöyle sıralanabilir: Robot el parmaklarında kullanılan Ni-Ti alaşımlarının insan eli kas yapısına benzer davranışlar göstermesi parmakların daha esnek hareketini sağlamaktadır. Böylece diğer robot-el parmakları için geçerli olan serbestlik derecesini artırma problemi

SMA Robot Elde yaşanmaktadır. Ni-Ti alaşımının güç/ağırlık oranının yüksek olması dolayısıyla daha etkin ve güçlü bir kavrama sağlanabilmektedir. Robot el ile yapılan parça taşıma, tutma/bırakma tekrarlarında hata oranının düşük olması ve yaklaşık 1000 tekrara kadar uygun kavramayı engellememesi endüstriyel alanda kullanılabilmesini kolaylaştırmaktadır.

Oluşturulan prototip robot elin kavrama yeteneğinin geliştirilmesi Ni-Ti alaşımının alternatif şekillerde kullanılması ile mümkündür. Robot elde parmaklarda, levha halinde Ni-Ti alaşımı kullanılması yerine tel şeklinde Ni-Ti alaşımının kullanılması, sistemin daha esnek bir şekilde çalışmasını sağlayacaktır. Ayrıca robot el parmaklarında daha düşük sıcaklıklarda şekil bellek etkisi gösteren Nikel-Titanyum alaşımlarının kullanılması robot el alt sistemlerinden ısıtma ve soğutma sistemlerinin çalışma hızını artıracak ve enerji tasarrufu sağlayacaktır. SMA Robot Elde kullanılan soğutma alt sisteminin kapalı bir sistem haline getirilmesiyle sistemin daha ekonomik işlemesi sağlanabilir. Robot el soğutma alt sistemi üzerinde yapılan deneylerde sistemin su ile soğutulması ile freon gazı ile soğutulması arasında 1 saniyelik bir fark olduğundan sistemin daha yavaş çalışmasının istenildiği durumlarda sisteme su ile soğutma alt sisteminin de eklenmesi ayrıca bir tasarruf sağlayacaktır.

SMA robot elde basınç şalterinden alınan, taşınacak olan parçanın parmaklara uyguladığı basınç ile ilgili verilerin sayısal olarak alınması sağlanarak, oluşturulacak bilgisayar programına veri olarak girilmesiyle robot elin bilgisayarla kontrolü yapılabilir. Bu konuda çalışmalarımız devam etmektedir.

METUHAND Robot Elinde adım motorlarının hacimsel olarak büyük yer kaplaması en büyük problemlerden birini oluşturmaktadır. Bunun aksine SMA Robot el sistemindeki basitlik ve daha küçük yer kaplama bu robot elin bir avantajı olarak görülmektedir.

Ayrıca, şekil bellekli alaşımlarla yapılan sistemlerin çalışma mekanizmasının basitliği, sessiz, etrafa gürültü yaymadan, temiz çalışması, uzaktan komuta edilebilme özelliği, alaşımın hafifliği, korozyona karşı dayanıklılığının yüksek olması gibi özellikleri dolayısıyla, ileriki yıllarda robotikte ve diğer mühendislik çalışmalarında yapılacak tasarımlarda kullanılma oranının daha da artacağı değerlendirilmektedir.

KAYNAKLAR

Bergamasco, B., Salsedo, F. ve Dario, P. 1989, A Linear SMA Motor as Direct-Drive Robotic Actuator, **IEEE Robotic and Automation**, pp. 618-623.

✓ Critchlow, A.J. 1985, **Introduction to Robotics**, Mac Millan, pp. 108-112.

✓ Erkmen, A., 1993, Robot elle kavrama planlaması, **Elektrik Mühendisliği**, Sayı: 393 sf. 25-30.

Erzincanlı, F., 1995, A non-contact end effector for robotic handling of non-Rigid materials, **Ph.D. Thesis**, University of Salford, UK.

Focus Dergisi, 1998, **Metallurji, Unutmayan Metaller**, yıl: 4 , sayı: 5.

Heilala, J., Ropponen, T., Airila, M., 1992, Mechatronics design for industrial grippers, **Mechatronics**, Vol.2 no:3, pp.239-255.

Ikuta, K., 1990, Micro/miniature shape memory alloy actuator, **International Conference in Robotic and Automation**, pp. 2156, 2161.

Jackson, C.M., Wacner, H.J. and Wasilewski, R.J., 1972 , Nitinol-The Alloy with memory: Its Physical Metallurgy, Properties and Applications, **A Report**.

Kauffman, G., Mayo, I., 1993, Memory Metal, **Chem. Matters**, pp. 4-7.

Kerr, J. and Roth, B., 1986, Analysis of multifingered hands **International Journal Robotics Research**, Vol. 4, no: 4, pp 3-17.

Kıral, Ç., 1996, Esnek Üretim / Esnek Otomasyon Sistem ve Teknolojileri, **TÜBİTAK-BTP**.

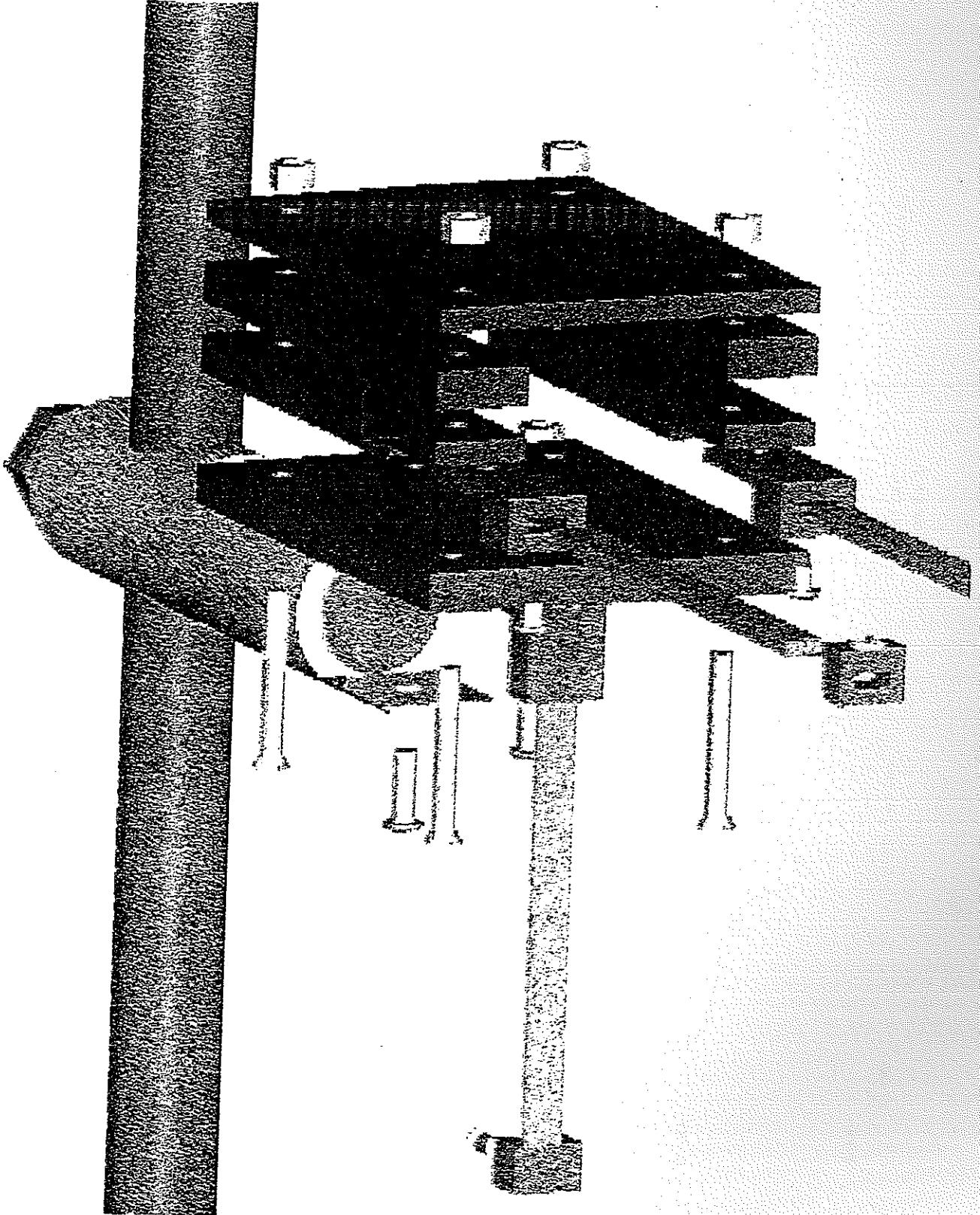
Koren, Y., 1985, **Robotics For Engineers**, McGraw Hill Book Company, USA.

- Leathamjones, Barry, 1987, **Elements of Industrial Robotics**, Worcester Technical College Pub., UK.
- Lin, L.R. and Huang, H.P., 1998 , NTU Hand: A new design of dexterous Hands, **Journal of Mechanical Design**, Vol. 120, pp 282-292.
- Nalbant, M., 1997 , **Bilgisayarla Bütünleşik Tasarım ve İmalat**, Beta Basım, İstanbul.
- Pham, D.T. and Tacgin, E., 1992 , **İnt. J. Mach. Tools Manifact.** Vol.32 no:3 pp. 349-360.
- Russell, R.A., 1990 , **Robot Tactile Sensing**, Prentice Hall, USA.
- Scheer, A.W. 1991 , **CIM towards the factory of the futur**, Springer-Verlag Pub., Germany.
- Selimbeyoğlu, E., 1992, Design of shape memory alloy actuators, **Ph. D. Thesis**, METU.
- Spiteri, C, J, 1989, **Robotics Tecnology**, Saunders College Publishing, UK.
- Nahmias, S, 1993, **Production and Operations Analysis**, Irwin Pub., USA.
- Şarman, S, 1996, Çağdaş dünya sınıfı imalat sistemlerinde CIMS, **İnci Sistem Mühendisliği ve savunma Uygulamaları Sempozyumu**, cilt:1 sf: 634-636, Kara Harp Okulu, Ankara
- Tüz, M.A., 1994 , Design and Construction of Multipurpose Robot gripper, **M.Sc. Thesis**, METU.

Wolfram, S., 1995 , **Analytical Robotics and Mechatronics**, Mc Graw-Hill, USA.

Zergeroğlu, E., 1996, Implementation and Control of a three fingered robot hand METUHAND, **M.Sc. Thesis**, METU

EK-1
SMA ROBOT ELİN KATI MODELLEMESİ



Name: TINI.D00
Sector Type: Shimadzu DSC-50
Sample Name: Titanium Nickel
Alumina
Atmosphere: Nitrogen
Flow: 20.00[ml/min]
Comment: 24.03.99

Temp Program
Rate [C/min] 10.0
Hold Temp [C] 700.0
Hold Time [min] 0.0

DSC
mW
2.00

1.00

0.00

-1.00

0.000

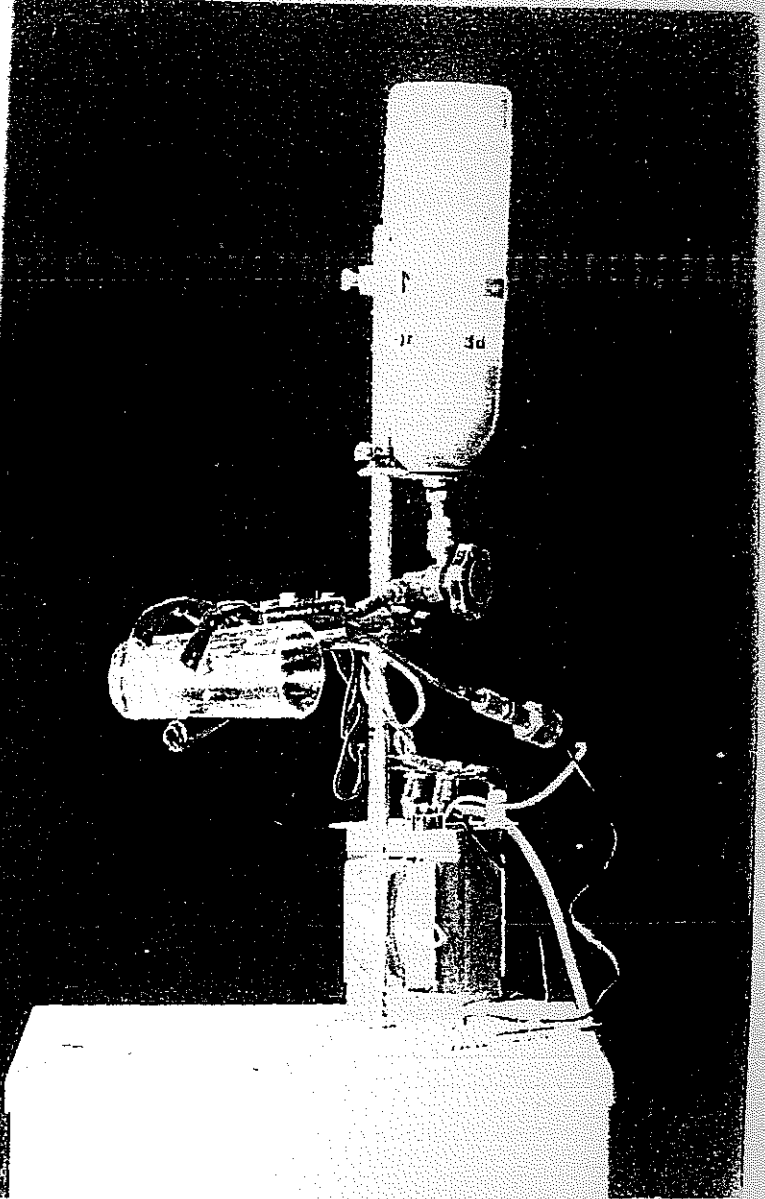
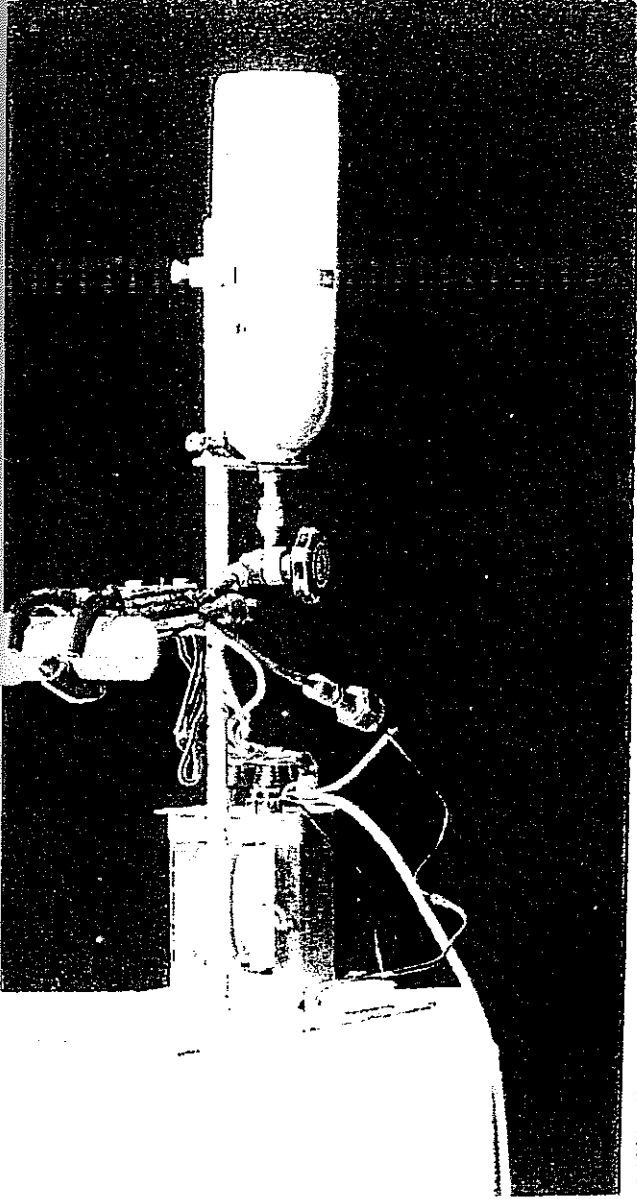
500.000

400.000
Temp[°C]

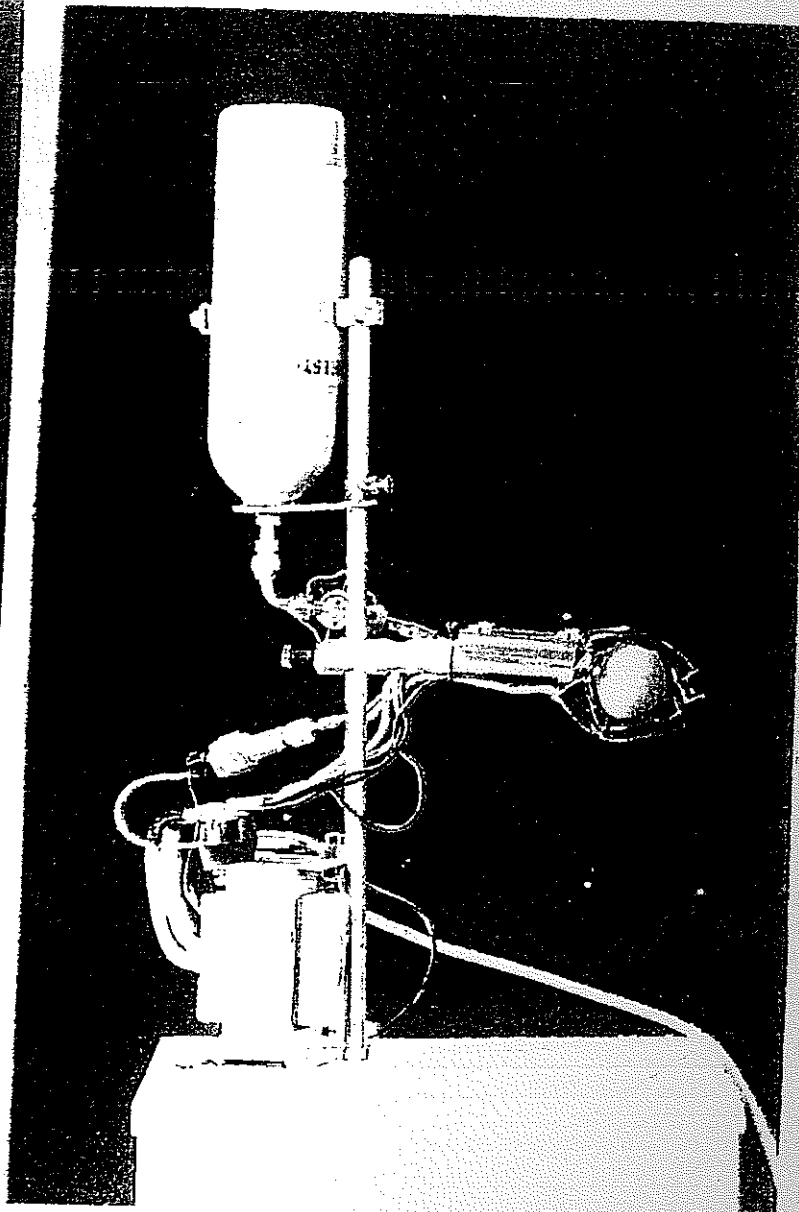
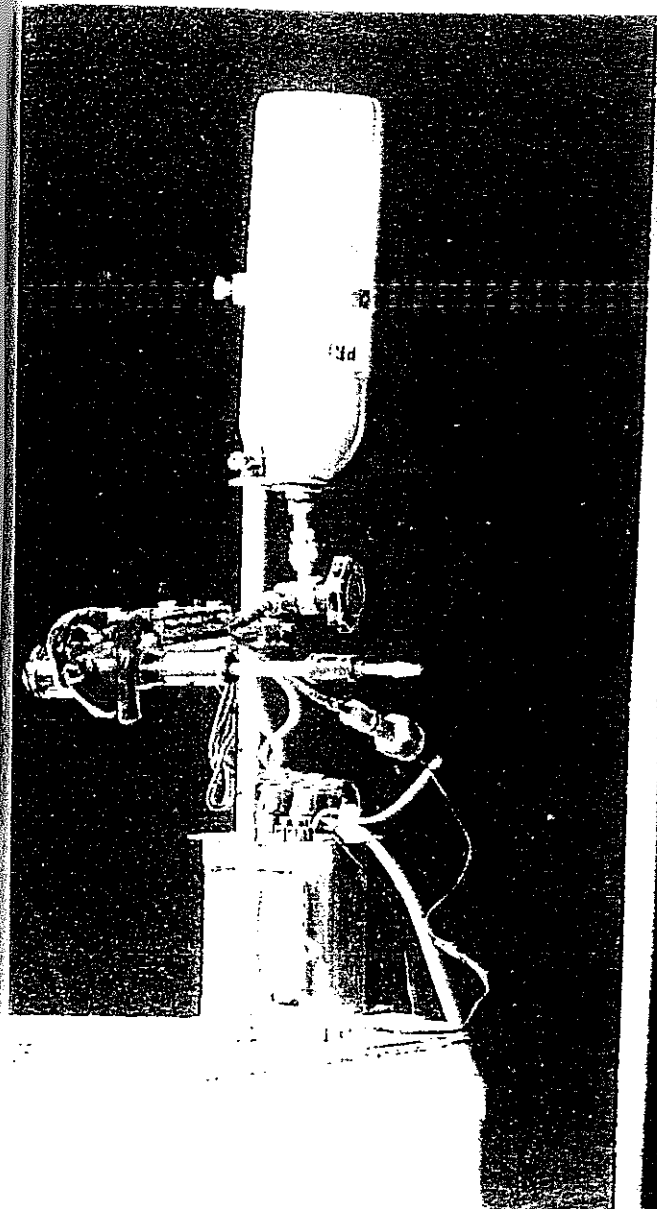
600.000

800.000

EK-2 DSC ANALIZI

EK-3**SMA ROBOT ELLE ÇEŞİTLİ PARÇALARIN KAVRANMASI**

EK-3'ÜN DEVAMI



ÖZGEÇMİŞ

Savaş DİLİBAL, 1973 yılında Tokat'ın Reşadiye ilçesinde doğdu. İlk ve orta öğrenimini tamamladıktan sonra 1991 yılında Işıklar Askeri Lisesi'nden 1995 yılında Kara Harp Okulu'ndan mezun oldu. 1996 yılında Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Bölümü Yüksek Lisans programına başladı. İngilizce ve Fransızca biliyor. Halen Topçu ve Füzeler Okulu'nda Topçu Üsteğmen olarak görev yapmaktadır.