

ROBOTLARIN MEKANİK TASARIMI VE ROBOT ELLERİ ANALIZI

SELÇUK CİMTALAY

Anadolu Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca
Makina Mühendisliği Anabilim Dalı
Konstrüksiyon ve İmalat Bilim Dalında
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır.

Danışman : Doç. Dr. Soner ALANYALI

Şubat - 1990

SELÇUK CİMTALAY 'ın "YÜKSEK LİSANS" tezi olarak hazır-
ladığı "ROBOTLARIN MEKANİK TASARIMI VE ROBOT ELLERİ ANALİZİ"
başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğinin
ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiş-
tir.

.27 / .3 / .1990

Üye : Prof. Dr. Battal KUŞHAN

Üye : Doç. Dr. Soner ALANYALI

Üye : Yrd. Doç. Dr. Cengiz MALKOÇ

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun .28.3.1990..
gün ve 239./1.. sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Rüstem KAYA
Enstitü Müdürü

TEŞEKKÜR

Robotların Mekanik Tasarımı ve Robot Elleri Analizi başlıklı bu çalışmayı hazırlamamda beni destekleyen sayın hocam Doç.Dr. Soner ALANYALI'ya teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca tezimin yazım aşamasında bana destek veren Araştırma Görevlisi arkadaşlarıma şükran ve teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
İÇİNDEKİLER	iii
ÖZET	v
SUMMARY	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
1. GİRİŞ	1
2. ENDÜSTRİ ROBOTLARININ TANIMI	3
2.1. Robotların Fiziksel Yapısı	3
2.1.1. Polar koordinat yapısı	4
2.1.2. Silindirik koordinat yapısı	4
2.1.3. Mafsallı kol yapısı	4
2.1.4. Kartezyen koordinat yapısı	5
2.2. Temel Robot Hareketleri	5
2.2.1. Altı derece serbestlik	5
2.2.2. Hareket sistemleri	6
2.3. Robotun Programlanması ve Programlama Dilleri	7
2.4. Robot Algılayıcıları	8
2.4.1. Görme algılayıcıları	8
2.4.2. Dokunma algılayıcıları	9
2.4.3. Ses algılayıcıları	9
3. ROBOT SİSTEMLERİNİN MEKANİK TASARIMI	10
3.1. Tasarım Kısıtları	10
3.1.1. Sistem özellikleri	10
3.1.2. Sistemin yapısı	10
3.1.3. Sistem performansı	11
3.2. Robot Sistemlerinin Mekanik Tasarımı	12
3.2.1. Kinematik	12
3.3. Tasarım Yönteminde Organizasyon ve Adımlar	15
3.3.1. Organizasyon	15
3.3.2. Tasarım adımları	16

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
3.4. Robot Sistemleri için Performans Özellikleri	16
3.5. Tüm Tasarım Çiziminin Hazırlanması	17
3.5.1. Geometrik beceri	17
3.5.2. Robot yapısında kuvvetler ve momentler	17
3.5.3. Malzemenin seçimi	18
3.6. Tasarımın Elemanlarına Ayrılması	18
3.6.1. Tahrik sisteminin seçimi	18
3.6.1.1. Pnömatik tahrik sistemi ...	19
3.6.1.2. Hidrolik tahrik sistemi ...	19
3.6.1.3. Elektrik tahrik sistemi ...	19
3.6.2. Güç iletim sistemleri	20
3.7. Elemanların Dizaynda Birleştirilmesi	20
4. ROBOT ELLERİNİN ANALİZİ	23
4.1. Tutucunun Fonksiyonları ve İlgili Faktörler	23
4.2. Tutucuların Sınıflandırılması	24
4.3. Tutucular için Tahrik Sistemi	25
4.4. Mekanik Tutucular	28
4.4.1. Salınım tutucu mekanizması	28
4.4.2. Öteleme tutucu mekanizmaları	31
4.4.3. Parmak geometrisinin irdelenmesi	33
4.4.4. Kavrama kuvveti ve burulma momentinin hesabı	40
5. SONUÇ	44
KAYNAKLAR DİZİNİ	45
EKLER	46

ÖZET

Bu çalışmada amaç, ülkemizde yeni bir konu olan robotların mekanik tasarımı yaklaşımını ve ellerin analizini içeren bir araştırma sunmaktır.

Öncelikle, endüstri robotları tanıtılmış ve daha sonra robotların mekanik tasarımı, özellikler, kriterler, robot sistem yapıları ve önemli mekanik elemanlar yönünden incelenmiştir. Son olarak; robot elleri şekil, sistem ve amaçları da kapsayan bir ok yönden analiz edilmiştir.

SUMMARY

In this study, the aim is to give a research about robotics, which is a new subject in our country, concerning mechanical design approach and their gripper analysis.

First, industrial robots have been introduced and then mechanical design of robotics with respect to specifications, criteria, configuration of robots and main machine elements has been investigated. Finally, robots hands have been analysed in several aspects including shape, system, and task.

SEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1 En Yaygın Dört Robot Yapısı	3
2.2 Robot Hareketinde Altı Serbestlik Derecesi	5
3.1 Endüstri Robotları için VDI Sembolleri.....	13
3.2 Kinematik Zincirlerin Olusturulması.....	13
3.3 Endüstri Robotlarının bilek ve Kol Yapıları	14
3.4 Geometrik Beceri Örneği.....	17
3.5 Güç iletim Sistemiyle Hitachi Proses Robotunun Genel Görünümü	21
3.6 Hitachi Proses Robotunun İki Derece Serbestlikli Bilek Sekli	22
4.1 Elin Değişik Sekilde Kavrama İşlevi.....	23
4.2 Çok Tutuculu Sistem.....	25
4.3 Dıştan ve İçten Kavramalı Tutucular.....	25
4.4 Yay Mekanizmalı Tutucu.....	27
4.5 Elektromagnetik Tutucu.....	28
4.6 Salınım Tutucusuna Bir Örnek.....	29
4.7 Bir Çift Krank Biyel Mekanizması.....	30
4.8 Salınım Blok Mekanizması.....	30
4.9 Döner Hareketlendirici Kullanan Tutucu.....	31
4.10 a. Döner Mafsallı Mekanizma	
b. Döner Mafsallı ve Piston Silindirli Tutucu	32
c. Kam ve Piston Silindir kullanan Tutucu .	
4.11 a. Dört Çubuk Mekanizması	
b. Dört Çubuk Mekanizmasını kullanan bir parmak	32
4.12 Silindir Piston Kullanan Öteleme Tutucusu	33
4.13 Dişli Mekanizmalı Öteleme Tutucusu.....	34

SEKİLLER DİZİNİ (Devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.14 Döner Hareketlendirici ve Dişlilerle Çalışan Paralel Kapama Elemanlarına Sahip Öteleme Tutucusu	34
4.15 a. Parça Uyumlu Parmak b. Çok Amaçlı Parça Uyumlu Parmak	35
4.16 a. V Şekli İki Parmaklı Tutucularda Geometrik yapı b. Kavranan Parçanın Merkez Sapması	38
4.17 Kavranan Parçanın D Çapı ile Dev=X-L sapma değeri arasındaki ilişki	39
4.18 Yumuşak Tutucu.....	39
4.19 Yumuşak Tutucu Mekanizmasının Elemanları	40
4.20 a. Salınım Mekanizmasının, Parçanın Ağırlık Merkezini Parmakların Arasında Olacak Şekilde Kavraması b. Öteleme Mekanizmasının Parçanın Ağırlık Merkezini Parmakların Dışında Olacak Şekilde Kavrama	41

1. GİRİŞ

Otomasyonla ilgili en önemli adımlar 17. ve 18. yüzyıl-
da atılmıştır. Avrupa halkları robot benzeri makineleri
kullanmalarına rağmen, robot sözcüğünü ilk kullanan Çekoslo-
vak oyun yazarı Karel Čapek olmuştur. 1921'de yazdığı
"Rossum's Universal Robots" adlı oyununda kullandığı
"robot", Leh dilinde "işçi" anlamına gelmektedir.

Endüstri robotları şu andaki anlamda 1950'li yılların
ortalarında George Devol ve Joseph F. Erdelberger tarafından
geliştirilmiştir.

Endüstri robotu genel amaçlı, insana benzer özelliklere
sahip programlanabilir bir makinedir. Bir robotun, insana
öğü en önemli özelliği onun koludur. Bu kol, robotun prog-
ramlama kapasitesiyle beraber parça yükleme, nokta kaynağı,
püskürterek boyama ve montaj da dahil olmak üzere çeşitli
üretim amaçlarını kolaylıkla gerçekleştirebilir. Robot bir
seri mekanik hareketi yapmak için programlanabilir ve bu
hareket dizisini başka bir iş için programlanıncaya dek
sürdürür.

Robot için "Amerika Robot Enstitüsü" izleyen tanımı
geliştirmiştir; "Bir robot programlanabilir, parça ve takım-
ları taşımak için tasarılan çok fonksiyonlu manipulatör-
dür veya birçok farklı amacın gerçekleştirilmesi için
çeşitli programlanmış hareketleri yapan özel araçtır."

Robot terminolojisinde çok sık geçen manipulatör teri-
minin anlamı, birçok serbestlik derecesine sahip mekanizma-
dır. Genellikle robotun mekanik yönünü ifade etmektedir.

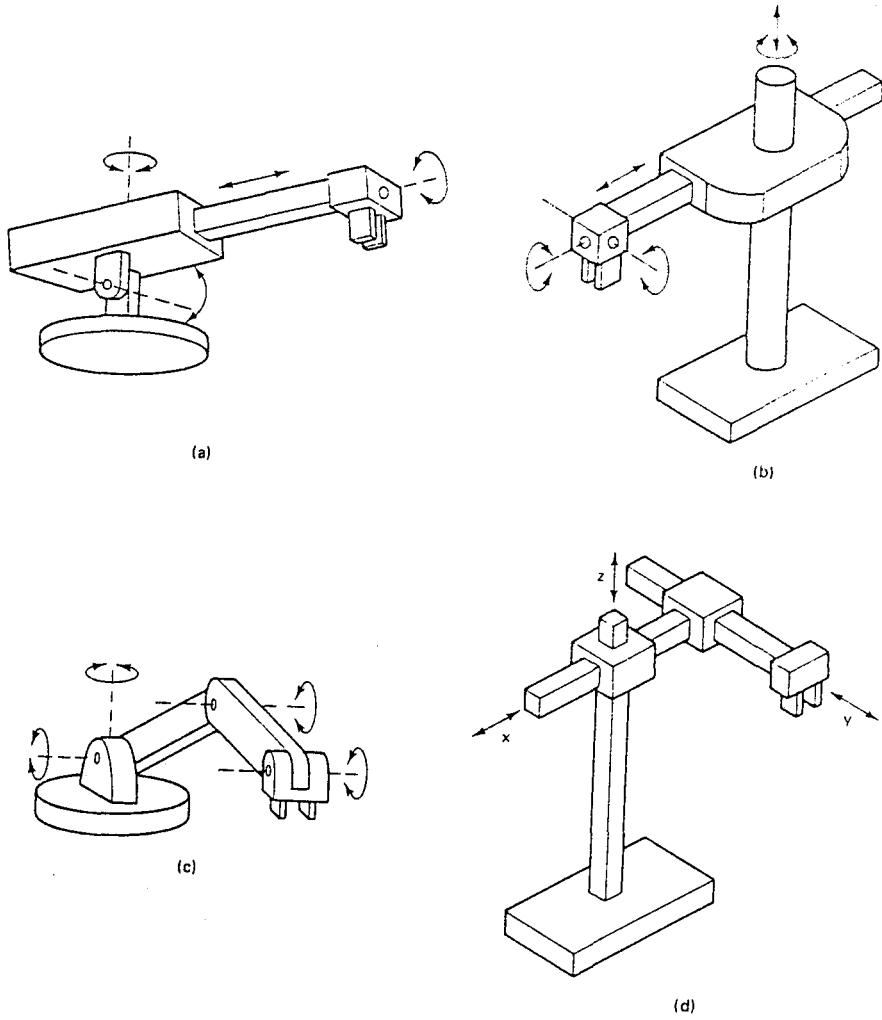
"Robotların Mekanik Tasarımı ve Robot Elleri Analizi"
başlığı altında yapılan bu çalışmada amaç, robotların meka-
nik tasarım yaklaşımını incelemek ve robot ellerinin anali-
zini yapmaktır. Çalışma beş ana bölümden oluşmaktadır. Giriş
hariç, ikinci bölümde endüstriyel robotlar genel hatlarıyla

şekil, serbestlik derecesi, programlama ve ilgili diller, robot sensörleri açısından tanıtılmıştır. Üçüncü bölümde robotun mekanik tasarımı, dikkat edilmesi gerekli hususlar değişik yönlerden incelenmiştir. Dördüncü bölümde ise iki parmaklı robot ellerinin analizi yapılmıştır.

2. ENDÜSTRİ ROBOTLARININ TANITIMI

2.1. Robotların Fiziksel Yapısı

Robotlar endüstriyel gelişim içerisinde çeşitli şekil ve boyutlara ulaşmışlardır. Farklı kol hareketlerine ve hareket sistemlerine sahip olabilirler.



Sekil 2.1:En yaygın dört robot yapısı

- a. Polar koordinat
- b. Silindirik koordinat
- c. Mafsallı kol
- d. Kartezyen koordinat

Robotlar biçim olarak aşağıdaki dört kategoriden birinin içindedir;

1. Polar koordinat yapısı,
2. Silindirik koordinat yapısı,
3. Mafsallı kol yapısı,
4. Kartezyen koordinat yapısı.

Dört tip şematik olarak şekil 2.1'de gösterilmiştir.

2.1.1. Polar koordinat yapısı

Bu biçim aynı zamanda "küresel koordinat" olarakta isimlendirilir. Çünkü robot kolunun hareket ettiği çalışma hacmi kısmi küredir. Şekil 2.1-a'da görüldüğü gibi robot döner bir gövde ve teleskobik kolu yukarı aşağı hareket ettiren parçadan oluşur. Bu türün en yaygın robotlarından Unimate-2000 serisi bu tür çerçevesinde tasarlanmıştır. (Bkz. Ek1)

2.1.2. Silindirik koordinat yapısı

Bu tip, robot gövdesi dikey ekseninde dönen bir kolondan ibaret olup birbirine dik kızaklar üzerinde gövdeye göre aşağı-yukarı, içe-dışa hareket eden kola sahiptir. Prab Vesatan modeli silindirik koordinattakilere bir örnektir. (Bkz. Ek1)

2.1.3. Mafsallı kol yapısı

Mafsallı kol yapısı şekil 2.1-c'de görüldüğü gibi görünüş olarak insan koluna benzemektedir. Kol birçok düzgün elemandan oluşur, öyle ki bu elemanlar mafsallarla birbirine insana benzer olarak omuz, dirsek ve bilek şeklinde bağlanırlar. Robot kolu döner gövdeye kolun yarım kürede hareketine olanak sağlayacak şekilde monte edilir. Cincinnati Milacton T³ ve Unimate Puma modeli bu genel tipin örnekleridir. (Bkz. Ek1)

2.1.4. Kartezyen koordinat yapısı

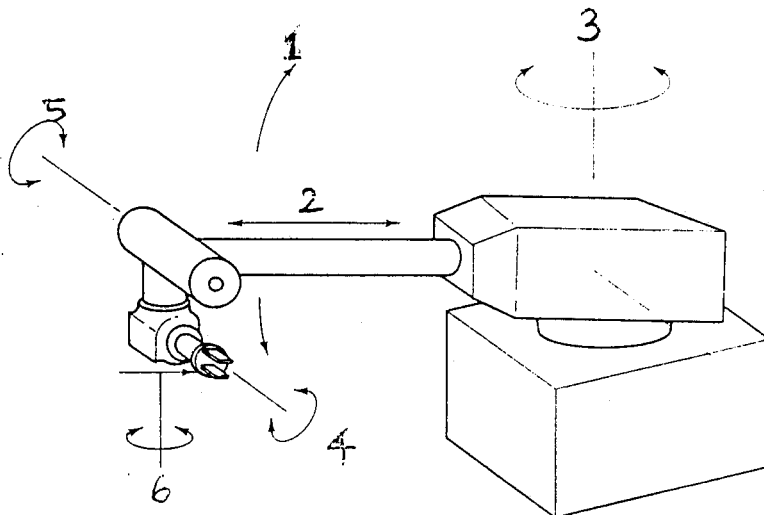
Sekil 2.1'de görüldüğü gibi bu tip birbirine dik üç kızaktan oluşur. Bu üç kızak kartezyen sistemin x,y,z eksenlerine paraleldir. Bu kızakların uygun hareketleriyle, robot üç boyutlu çalışma hacminin herhangi bir yerine kolu hareket ettirme özelliğine sahiptir.

2.2. Temel Robot Hareketleri

Şekli ne olursa olsun, robotun amacı yararlı bir işi gerçekleştirmektir. İşi başarmak için el, robot kolunun sonuna eklenmiştir ve eli bir dizi hareket sonucu istenen yere getirir.

2.2.1. Altı derece serbestlik

Gerekli bir dizi hareketi yapmak için robotun elini istenen yere götürmek üzere altı temel hareket veya serbestlik derecesi vardır. Bu altı serbestlik derecesi insan kol ve elinin serbestliğini sağlamak üzere planlanmıştır. Fakat tüm robotların hepsi altı serbestlik derecesine sahip olacak şekilde tasarlanmamıştır. Altı temel hareket üç kol artı gövde hareketi ve üç bilek hareketi şeklinde polar tip robot üzerinde örneklendirilmiştir.



Sekil 2.2: Robot hareketinde altı serbestlik derecesi

Kol ve gövde hareketleri;

1.Dikey hareket: Yatay ekseninde tüm kolun aşağı-yukarı doğru hareketi veya düşey kızak üzerinde kolun aşağı yukarı hareketi.

2.Radyal strok: Kolun uzama veya kısılması (İçeri veya dışarı hareket.)

3.Döner hareket: Dikey ekseninde dönme (robot kolunun sağa veya sola dönmesi.)

Bilek hareketleri;

4.Bilek dönüşü: Bileğin düşey düzlemde sağa sola dönüşü.

5.Bilek bükümü: Bileğin aşağı yukarı hareketi olup aynı zamanda dönme hareketinide içerir.

6.Bilek dönüşü: Bileğin yatay düzlemde sağa sola dönüşü.

Ek hareket eksenleri mümkündür; Örneğin, robotu bir ray veya kızak üzerinde hareket ettirmek. Kızak, taban veya tavana monte edilerek altı serbestlik derecesine bir tahe daha ilave edilir. El genellikle ek hareket eksenini olarak düşünülmez.

2.2.2. Hareket sistemleri

NC (Numeric Control) makina sistemlerindeki benzer olarak hareket sistemleri ya noktadan noktaya (PTP) ya da sürekli yol (CP) olarak sınıflandırılır.

PTP'de, robotun hareketi bir noktadan öbürüne kontrol edilir. Her nokta, robotun kontrol hafızasına programlanır ve daha sonra çevrimde tekrarlanır. Noktalar arasında robot tarafından takip edilen yolun önemi yoktur. Fakat sürenin azlığı önemli bir kriterdir. PTP robotları üretimde sıklıkla kullanılmaktadır. Örneğin; makina yükleme boşaltma, tut yerleştir sistemlerinde ve nokta kaynağında kullanılmaktadır.

Sürekli yol takip eden robotlar birbirine çok yakın noktaların birleşmesiyle bütün egrileri izleme yeteneğine sahiptir. Sürekli yol robotları için hafıza kontrol gerek-

sinmesi PTP'ye göre daha fazladır. Çünkü tüm noktaların robot tarafından hatırlanması gerekmektedir. Noktadan noktaya sisteminde yalnız başlangıç ve bitiş noktaları yeterlidir. Sürekli yol robot operasyonlarına örnek olarak boya püskürtme, sürekli kaynak işlemleri ve konveyör üzerindeki hareket eden cisimlerin tutulması verilebilir.

2.3. Robotun Programlanması ve Programlama Dilleri

Robotun istenen işi gerçekleştirmesi için çeşitli programlama yöntemleri mevcuttur. Bu programlamalar dört kategoride incelenebilir;

1. El metodu
2. İzleme metodu
3. Öncü metodu
4. Devre dışı programlama

1.El metodu: Bu metod, aslında programlamadan çok makinayı hazırlama işlemidir. Basit robotlar için kullanılır ve mekanik stoperler, kamlar, kontrol ünitelerindeki röle ve elektronik aç-kapa düğmelerini içerir.

2. İzleme metodu: Bu metotta, programlamacı el ile robot eli ve kolunu iş çevriminde işlem sırasına göre hareket ettirir. Her hareket hafızaya depo edilir. Programlamanın hızı, normal çalışma sırasında robotun hızından bağımsız olduğundan programlamada iz takibi doğru yolu vermek şartıyla yavaş yapılabilir.

3. Öncü metodu: Bu yöntemde hareket sırası robotun fiziksel hareketlerini kontrol için elektronik el cihazını kullanarak gerçekleştirilir. Robotun takip edeceği yol önceden programlanır.

4. Devre dışı programlama: NC'lerin paket programına benzer şekilde hazırlanmaktadır. Devre dışı programlama bir bilgisayar terminalinde gerçekleştirildikten sonra robotun hafızasına yerleştirilir. Bu yöntemin avantajı robot zamanının yeni operasyon için programlanmasıyla kaybedilmesini önlemesinden gelir.

Bilgisayar kontrolü olmayan robotlar el izleme veya öncü metodlarıyla programlanır. Robotların bilgisayarla tanışmasıyla program dilleride geliştirilmiştir. Bunlar arasında VAL ve MCL yaygın olarak kullanılmaktadır.

VAL (Versatile Assembly Language) devre dışı hazırlanan bir programı içermekle beraber öncü sistemi bazı noktalarda kullanılmaktadır. VAL terimleri monitör emirleri ve programlama talimatları olmak üzere iki gruptan oluşur.

MCL (Machine Control Language) APT NC diline dayanmaktadır ve ek olarak görme, kontrol ve çeşitli cihazlardan gelen kontrol sinyallerini değerlendirme yeteneğine sahiptir. (Groover, 1984)

2.4. Robot Algılayıcıları

Bazı üst düzey amaçları gerçekleştirmek için robotun insana özgü duyu organlarına gereksinmesi vardır. Bu duyular, görmeyi, görme ve el koordinasyonunu, dokunmayı ve duymayı içerir. Robotlarda kullanılan algılayıcı tipleri üç kategoride düşünülebilir.

1. Görme algılayıcıları
2. Dokunma algılayıcıları
3. Ses algılayıcıları

2.4.1. Görme algılayıcıları

Robotlarda görme, uygun bir video kamera, yeterli ışık kaynağı ve görüntü verisini işleyen bir bilgisayar programıyla gerçekleştirilir. Kamera, robot veya sabit bir yere monte edilir. Böylece kamera çalışma alanını görme sahası içerisine alır. Bilgisayar görme sistemi bir parçanın varlığını, yerini ve pozisyonunu algılama yeteneği sağlar.

Görme, robotta;

- * Banta rassal yerleşmiş parçaları tanıma,
- * Diğer parçalarla karışmış partikülleri tanıma,
- * Görsel kontrolü gerçekleştirme, olanağı verir.

2.4.2. Dokunma algılayıcıları

Bu tür algılayıcılar robota çalışma hacminde, kendisi ve diğer cisimlere dokunma ve kuvvetlerini tanımlama olanağı sağlar. Dokunma algılayıcıları iki tipe ayrılır,

1. Dokunma algılayıcıları
2. Gerilim (kuvvet) algılayıcıları

Dokunma algılayıcıları parçayla temasın yapılıp yapılmadığını anlamak için kullanılır. Temas kuvvetini ölçmek için kuvvet ölçüm aracı olarak strain-gage'ler kullanılır.

Bu türlerin en fazla kullanım alanları montaj ve kontrol operasyonlarıdır. Robotlarda dokunma sensörleri elin yakınına yerleştirilir. Temas, duyarlı optik, eddy-akım dedektör ve magnetik akım kullanan cihazlarla bulunur. Ayrıca insan güvenliği açısından da önemlidir.

2.4.3. Ses algılayıcıları

Robotları araştırmada bir alanda ses tanıma ve ses programlamadır. Ses programlaması, konuşmayla robot veya başka bir makinaya talimatların verilmesidir. Robot kontrolü ses tanıma cihazları ile sesi analiz ederek depolanmış kelimelerle karşılaştırır. İlgili kelime söylendiğinde kelimeye karşılık gelen operasyonu gerçekleştirir. Programlamayı kısaltması bakımından çok kolaylık gösterir.

3. ROBOT SİSTEMLERİNİN MEKANİK TASARIMI

İlk robotlar eğer amaçları sağlarlar ise, pazarda en iyi satışı sağlayacakları varsayımı ile en genel hareketleri yapma kabiliyetlerine göre tasarlanmıştır. Bu esnekliğin hem maliyet açısından hem de performans açısından pahalı olduğu kanıtlanmıştır. Günümüzde robotlar amacı karşılayacak özelliklere göre tasarlanmaktadır (Seeing, 1985).

Bir robotun tasarlanma prosesinde ilk ve en önemli adım, yapılacak robotun amacını belirlemektir. Hiç bir robot tek başına her türlü amacı gerçekleştiremez. Bu yüzden robotlar, kısıtlarının el verdiği kadar iş gerçekleştirebilecek esnekliğe göre tasarlanmalıdır.

3.1. Tasarım Kısıtları

3.1.1. Sistem özellikleri

Yayıma ve Çalışma Hacmi : Manipulatör çalışma hacmi belirli bölgelerde çalışmaya olanak sağlar. Buna neden olan kısıtlar mafsallık hareketinin, çubuk uzunluklarının ve eksenler arası açıların belirli değerlerde olmasıdır. Döner mafsallar çalışma hacminin ortalarında uçlara göre daha iyi çalışır.

Yük Kapasitesi : Yük kapasitesi, ivme ve hız performansı ile yakından ilgilidir. Yük kapasitesi bir değişken olarak görülmelidir. Kullanılabilir yük kapasitesini performansın bir fonksiyonu olarak düşünmek gereklidir. Çünkü yük seçimi ataleti, yerçekimi ivmesini ve tutucularda salınım torkunu içerir. Montaj robotlarında, ivme ve sağlamlık maksimum hız ve maksimum yükten daha önemlidir. Bunlarda önemli olan zamanı enaza çekmektir. Ark kaynağında, düşük hız ve izlenen yolun doğruluğu önemlidir.

3.1.2. Sistemin yapısı

Mafsallık yapısı: Manipulatör yapısı hareket, kontrol, engellerden kaçınma ve konstrüktif gereksinimlere göre karar

verilir. Kartezyen manipulatörleri en basit iletim ve kontrol denklem çözümlerine sahiptir. Döner mafsalların kontrolünün daha zor olmasına karşın daha az hacim kaplarlar.

Serbestlik Derecesi : Manipulatörün ucunu kontrol hacminde herhangi bir noktaya ulaştırmak için, altı serbestlik derecesine sahip olmakla beraber, bazı eksenleri eleyerek veya işi belirli hareketlerle yaparak serbestlik derecesi düşürülebilir. Serbestlik derecesi süreyi arttırır, yük kapasitesini ve hassasiyeti düşürür.

Mafsal Hacmi : Döner mafsallar için omuz ve bilek mafsalları çalışma hacmini belirler. Kontrol - yol veya senkronize (örneğin konveyör takibi) için bileğin 360 derece dönmesi yararlılık sağlar.

Tahrik Sistem Yapısı: Manipulatör mafsalı en az dört ana bileşenden oluşur: Mekanik güç kaynağı, mafsal pozisyon geri besleme cihazı, transmisyon ve mafsal yapısı.

3.1.3. Sistem performansı

Sistem Hızı : Maksimum mafsal hızı bağımsız değildir. Genellikle voltaj veya maksimum motor hızıyla sınırlıdır. Yüksek ivmeli manipulatörler, hatta PTP hareketleri için bile hız sınırlıdır.

Sistem ivmesi : Modern manipulatörlerde, yük genellikle manipulatörün kütlelerinden küçük olduğundan, manipulatörü ivmelendirmek için gerekli güç, yükü ivmelendirmek için gerekli güçten çok fazladır. Bu yüzden yüksek ivmeli manipulatörlerde daha sağlam konstrüksiyona gerek vardır.

Tekrarlanabilirlik : Bu özellik manipulatörün aynı noktaya dönme yeteneğini gösterir. Seri çalışmalarda bunun çok önemi vardır. + 0.005 mm - + 2 mm arasında değişir.

Hassasiyet : Bu özellik robot elinin daha önceden tanımlanmış bir noktaya hangi hassasiyetle yaklaşıldığının bir göstergesidir. (Seeing, 1985).

3.2. Robot Sistemlerinin Mekanik Tasarımı

3.2.1. Kinematik

Genel olarak endüstri robotunun amacı robot elini çalışma hacminde istenen noktaya maksimum altı serbestlik derecesinde ulaştırmasıdır. (3 öteleme, 3 dönme). Amacın karışıklığı gerekli kinematik yapıyı ortaya çıkarır.

VDI 2861'e göre endüstriyel robotlar birçok çubuk ve eklemden oluşan kinematik zincirdir. Sistemin serbestlik derecesi, ne kadar tahrik sistemi ve kontrol edilen eksen olduğuna karar verir.

Robotun kinematik tanımında;

Kol : Bilek ve eli hareket ettiren veya destekleyen birbirine bağlı çubuk kümesi ve tahrik mekanizmasına sahip mafsallardan oluşur.

Bilek : Kol ve el arasında elin istenen noktaya ulaşmasını sağlayan bir grup mafsaldır. Bilek son yerleştirme ve pozisyondaki küçük değişimler içindir.

Eksenler için de bir sınıflama yapılabilir; bir döner eksen, biri diğerine göre sabit bir eksende dönen rijit elemanları birleştiren bağlantıdır. Bir öteleme eksenini biri diğerine göre lineer hareket eden rijit elemanlardan oluşan bağlantıdır. Bir karışık eksen hareketli bir eksen, diğeri buna göre dönen bir bağlantıdan oluşur. Şekil 3.1 de kullanılan semboller görülmektedir. Kinematik zincirlerin VDI terim ve sembolleriyle hazırlanmasına örnek şekil 3.2'de verilmiştir.

Bir endüstri robotunun uygun değişim sayısı;

$$V = 6^{DF}$$

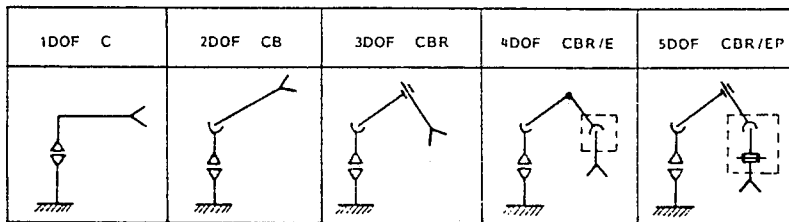
şeklinde verilir.

V : Değişim sayısı

DF: Serbestlik derecesi (Hans, 1982).

SİSTEM	EKSEN TAKIMI	SEMBOL
Öteleme eksen [Teleskobik]	X, Y, Z	
Öteleme eksen	U, V, W	
Döner eksen	A, B, C	
Menteşe	D, E, P	
tutucu		
Takım		
Kol ve Bilek ayrımı	/	
Robot sistemlerinde bağımsız kinematik zincirler	Başlangıç Bitiş	

Şekil 3.1: Endüstri robotları için VDI sembolleri.



DOF: Serbestlik derecesi

Şekil 3.2: Kinematik zincirlerin oluşturulması.

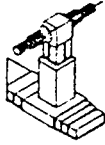
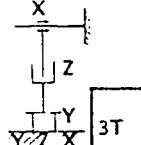
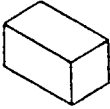
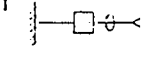

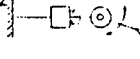
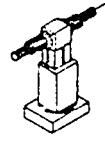
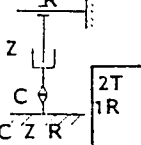

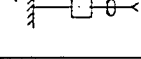
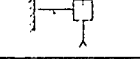
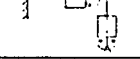

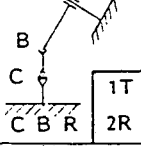


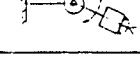
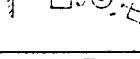
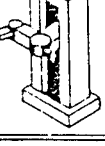
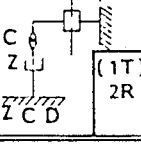
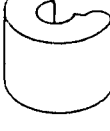
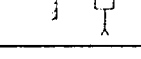
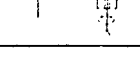


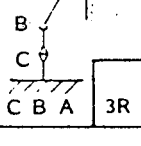

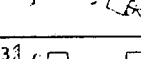
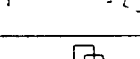
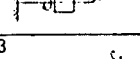
Bu koşullarda çok sayıda farklı zincirler elde etmek mümkündür. Örneğin 6 DF için 46656 zincir mümkündür. Bununla beraber, birçoğunun kinematik nedenlerle gerçekleşmesi mümkün değildir.

Diğer faktörler aşağıda şu şekilde açıklanır.

Eksen sayısı ile yerleştirme hassasiyeti azalır, eksen sayısı ile beraber sürekli kontrol için hesaplama zamanı artar, her bir eksen ek maliyet yaratır (güç iletim sistemi,

fren, motor, ölçüm sistemi, sürücü kontrolü, hafıza) ve güç iletimi eksen sayısı arttıkça daha güç olur.

Günümüzde eksen sayısı sınırlıdır. Endüstri robotları genel olarak 4 ana kol eksen ve 3 bilek ekseninden oluşur. Sekil 3.3 'de günümüzün en önemli kinematik zincirleri görülmektedir.

Eksenler			Bilek		
Prensip	Kinematik zincir	Çalışma Hacmi			
	 X Z Y X 3T		1 	1 	2 
	 R Z C Z R 2T 1R		1 	1 	2 
	 R B C C B R 1T 2R		1 	2 	3 
	 D C Z Z C D (1T) 2R		1 	2 	2 
	 A B C C B A 3R		2 	3 	3 

T:Üteleme, R:Dönme

Sekil 3.3: Endüstri robotlarının bilek ve kol yapıları.

Kinematik zincir seçiminde, robot, kontrol türüne (CP,PTP) ve programlanabilir eksen sayısına bağlıdır.

Tablo 3.1'de kolun düzenlenmesinin bir fonksiyonu olarak amaç, programlanabilir eksen ve robot kontrolü gösterilmiştir.

Kinematik zincir seçimi mekanik tasarım ve kontrol sistemi açısından en önemli kararlardandır.

Tablo 3.1: Kol tipinin fonksiyonu olarak amaç, programlanabilir eksen ve robot kontrolü arasındaki fonksiyonel ilişki.

Amaç		Kinematik Zincir		3T		2T 1R		1T 2R		1T 2R		3R		>3R	
		Hareket	Konum	PTP	CP	PTP	CP	PTP	CP	PTP	CP	PTP	CP	PTP	CP
	Z	—	1	1	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	
	dx	dx	2	2	3	3	2	3	3	3	3	3	3	3	
	dx, dy	dx, dy	3	3	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	
	dx, dy, dz	dx, dy, dz	4	4	5	5	4	5	5	5	5	5	5	5	
			[2]	2			CP	CP					3	3	
	dx	dx	[3]	3			3	2	3	2			4	4	
	dx, dy	dx, dy	[4]	4			4	B	4	A	B		5	5	
	dx, dy, dz	dx, dy, dz	[5]	5			5	5	5	5	5		6	6	
				3		3		3		3		3		3	
	dx	dx		4		4		4		4		4		4	
	dx, dy	dx, dy		5		5		5		5		5		5	
	dx, dy, dz	dx, dy, dz		6		6		6		6		6		6	



Gereksiz

Çözumsuz/Hantal

3.3. Tasarım Yönteminde Organizasyon ve Adımlar

Bu bölümde tasarım yönteminde gerekli adımlar genel olarak sunulmuştur.

3.3.1. Organizasyon

A.) Grup 1 : Mekanik sistemlerin tasarımı

1. Kinematik zincirlerin seçimi, momentlerin ve kuvvetlerin hesaplanması.
2. Tahrik sistemi, öteleme sistemi ve frenler.
3. Eksenlerin konstrüksiyonu.
4. Pasif algılayıcı sistemleri.

B.) Grup 2 : Robot kontrolü ve dili

1. Robot kontrolünün geliştirilmesi, tahrik sisteminin kontrolü, bilgi işleme.
2. İşletim sistemi ve program yazımlayıcı, dil geliştirme.
3. Mekanik sisteme ana giriş, dış PC ve algılayıcılar.

C.) Grup 3 : Algılayıcıların gelişmesi ve dış veri işleme

3.3.2. Tasarım adımları

Robot sistemlerinin gelişmesi, kavramı ve denenmesine metodik yaklaşmak gerekir. Böyle bir projenin başlangıç noktasında tüm adımları açıkça belirlemek yararlıdır. Mekanik sistem tasarımları için gerekli adımlar şunlardır.

1. Pazardaki mümkün boşlukların, rekabetçi firmaların ve ürünlerinin araştırılması.
 2. Pazar etüdü ve talep analiziyle ihtiyaçların belirlenmesi ve teknolojinin seçimi.
 3. Performans özelliklerinin verilmesi, bu aşamaya dayalı olarak ana planı içerecek zaman çizelgesinin hazırlanması.
 4. Genel tasarım çiziminin hazırlanması.
 5. Değer analizi vasıtasıyla seçim.
 6. Tasarımın parçalara ayrılması ve uygun çözümlerin seçimi.
 7. Parçaların tüm tasarıma doğru birleştirilmesi.
- Alternatifler için maliyet hesabı. Temel tasarımın seçimi

ve tasarımın başlaması.

8. Yeni parçaların test edilmesi.

9. Tüm sistemin performans testinin yapılması ve hataların düzeltilmesi.

10. Dökümantasyon ve bakım için sistemin kağıda geçirilmesi.

11. Üretime başlama.

3.4. Robot Sistemleri İçin Performans Özellikleri

Bu ihtiyaçlar en azından tasarım çalışmasına başlamadan önce performans özelliklerine göre hazırlanmalıdır.

1. Hareket ve kinematik zincir tipi

2. Geometrik boyutlar

3. Eksenle ilgili hızlar ve ivmeler

4. Tahrik sistemi ve kontrol

5. Yaklaşım hassasiyeti.

Artan sayıdaki özellikler uygun çözüm sayısında düşüş gösterir.

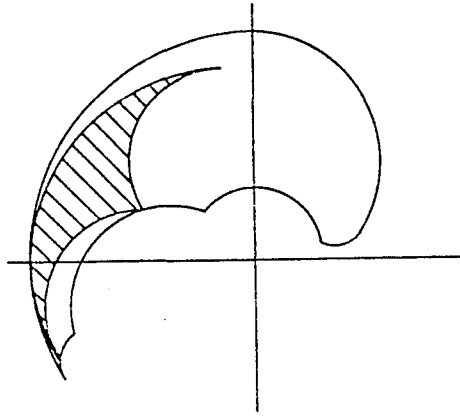
3.5. Tüm Tasarım Çiziminin Hazırlanması

Tüm tasarıma ilk aşamada detaylı yaklaşmak yararlı değildir. Çünkü geniş sayıdaki uygun çözüm tasarımı farklı yönlerde kaydırabilir.

3.5.1. Geometrik beceri

Bir geometrik hacimde, geometrik beceri robotun elini geniş yerleşim aralığında istenen pozisyonlara götürebilme yeteneğini ifade eder (Jou, 1983)

Şekil 3.4'de bir 3 - çubuk robotunun çalışma hacminin (dış çizgiler) göstermektedir. Çizgili bölge yatay yerleştirilmiş bir elin varabileceği yerleri göstermektedir.



Şekil 3.4: Geometrik beceri örneği.

Tasarımcı farklı kinematik zincirleri karşılaştırma şansına sahiptir. Bunlar, kol uzunluklarının ve performans özelliklerinin kontrolünü içerir.

3.5.2. Robotun yapısında kuvvetler ve momentler

Robot yapısı tasarımı için, en önemlisi mafsallardaki kuvvet ve momentleri çeşitli kinematik zincirlerin ve kol hareketlerinin fonksiyonu olarak belirlemektir. En yaygın iki hesap yöntemi;

1. 4 mafsaldan az sistemler için Lagrange denklemleri.
2. Daha genel modeller için Newton - Euler formülasyonudur.

Belirli varsayımlar altında, bu modelle sürtünmeyi ilave etmek mümkündür. Bu veri ölçüm yöntemleriyle sağlanır. Kinematik zincire ve rulman tipine bağlı olarak, sürtünme kayda değer bir faktör olarak alınabilir.

Diğer faktör ise kinematik zincirin fonksiyonu olarak kuvvet ve moment etkisidir. Döner eksenlerde, korioli, cetripetal ve gravite terimleri etkin olup lineer olmayan birleşime neden olur. Bu parametrelerin etkisi Duelen ve Wendt'de açıklanır. (Horn, 1977).

3.5.3. Malzemenin seçimi

Kolun tasarımı, kullanılacak malzemenin erken seçimini

içerir. Konstrüksiyon sağlam ve hafif olmalıdır. Bu noktada, çelik ve aliminyum alaşımlarına karşı CFRP (karbon fiberleri) alternatiftir.

Bu malzemelerin pozitif özellikleri,

- Yüksek çekme mukavemeti
- Yüksek damperleme etkisi
- Düşük ağırlık (1/4 çelik, 2/3 aliminyum alaşımlar ağırlığında)

Negatif tarafta CFRP şu özelliklere sahiptir.

Sıcaklık ve nem etkilerine karşı mukavemette azalma, karışık yüzeylerin kalıplanmasındaki problemler, çubukların zor bağlanması ve yüksek maliyet. (Hans, 1985).

3.6. Tasarımın Elemanlarına Ayrılması

Varolan komponentlerin seçimi tüm mekanik tasarımda önemli bir adımdır.

3.6.1. Tahrik sisteminin seçimi

Tahrik, sisteminin seçimi kontrolüde içeren robot sisteminin karakteristik özelliğidir. Sistem aşağıdaki şekilde ayrılabilir.

3.6.1.1. Pnömatik tahrik sistemi

Bunlar ucuz, basit, dinamik sistemlerdir ve hızlı hareketler için düşük ağırlığa sahiptir. Bununla beraber, kapalı pozisyon konstrüksiyonu sağlamak zordur. Uygulama alanı mekanik durdurucularla yönlendirilen Tut - Yerleştir robotları ile kısa strok eksenli montaj robotlarıdır.

3.6.1.2. Hidrolik tahrik sistemi

En önemli avantajları geniş hız kontrol olanakları, yüksek güvenilirlik ve enerji kesilmesinden sonra basitçe hazırlanmasıdır.

3.6.1.3. Elektrik tahrik sistemi

En önemli elektrik motorları karakteristiklerine göre,

a. DC Motor : Bir dişli ile yüksek moment ve düşük hızlarda kullanılır aynı zamanda ölçüm sistemi ve pozisyon kontrolü gerekir. Dezavantajı güç iletiminde meydana gelen boşluklardır. Dişlisiz direkt tahrik için, yüksek tork motorları kullanılabilir. Bu sistemler henüz gelişme aşamasındadır.

b. Step Motoru : İstenen pozisyon için belirli sayıda yol adımlarının ilerlemesini sağlayarak kontrol edilir. Ölçüm sistemi gerekmediğinden ucuzdur. Yüksek momentlerde ve engellerle çarpışmada step motoru adım kaybedebilir. Geri besleme gerekirse, fiyat artar.

c. Üç Faz Motoru : Hız frekansı değişerek kontrol edilir. Pahalı bir teknolojidir. Fakat hız düşürmeye gerek yoktur. Redüktörlü DC ve step motoru elektrik tahrik sistemleri şu kriterlere göre seçilir.

1. Tüm sistemin güvenilirliği
2. Yüksek başlama torku
3. Düşük atalet momenti
4. Mekanik tasarımın basitleşmesinden dolayı maliyetteki düşüş
5. Düşük ısı meydana çıkarması ve beklenen ısı kaybı
6. Hız kontrolü

Kol tahriki, güvenlik nedenlerinden dolayı frenle donatılabilir.

3.6.2. Güç iletim sistemleri

1. Öteleme Hareketleri : Ötelenmeden dönmeye (D/D) veya dönmeden ötelenmeye (D/D).

2. Hız İndirgeme : Dönmeden dönmeye, ötelemeden öteleme.

Uygulama çeşidine bağlı olarak şu kriterler göz önünde bulundurulmalıdır.

1. Düşük atalet momenti ve yüksek iletim oranı.
2. Düşük rulman boşluğu

3. Düşük ağırlık
4. Uzun ömür ve kolay bakım
5. Uzaklıkta güç iletimi.

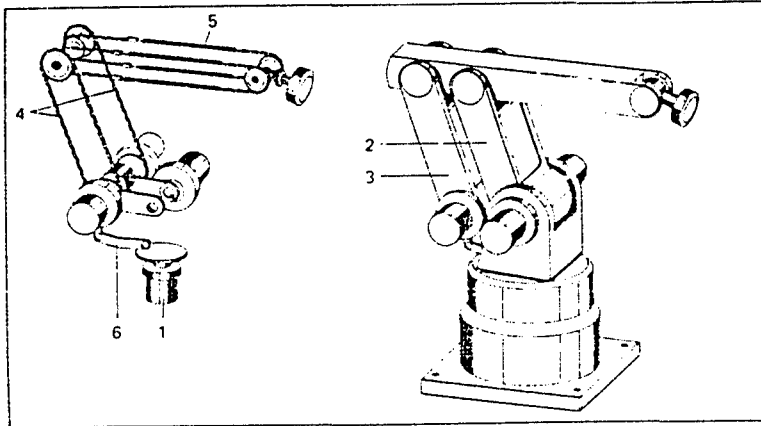
3.7. Elemanların Dizaynda Birleştirilmesi

Dizaynı iki grupta (kol ve bilek olmak üzere) incelemek mümkündür.

Bilek için aşağıdaki parametreleri dikkate almak gerekir; serbestlik derecesi, ek eksen olanağı ve tutma tercihleri, robot kontrolü için gerekli iletimin engellenmemesi, bilek ve tutucunun hareketliliği, kol ile koordinasyonu, güç iletim sisteminin tipi ve eksenler boyunca kılavuz milleri, tahrik sisteminin düzenlenmesi, bakım kolaylığı.

Bir veya iki eksenli bir bilek üç eksenliye göre daha az problemlidir. Kol içinde şunları gözönünde bulundurmak gereklidir; rulman boşluğu, sürtünme ve tahrik sisteminde aşınmanın eksenlerin sağlamlığıyla ilişkisi, kol için (bilek ve eli içermek üzere) gerçek kullanılabilir alan, denge problemini ilgilendiren aktif ve pasif etkenlerin kontrolü, tahrik sisteminin düzenlenmesi.

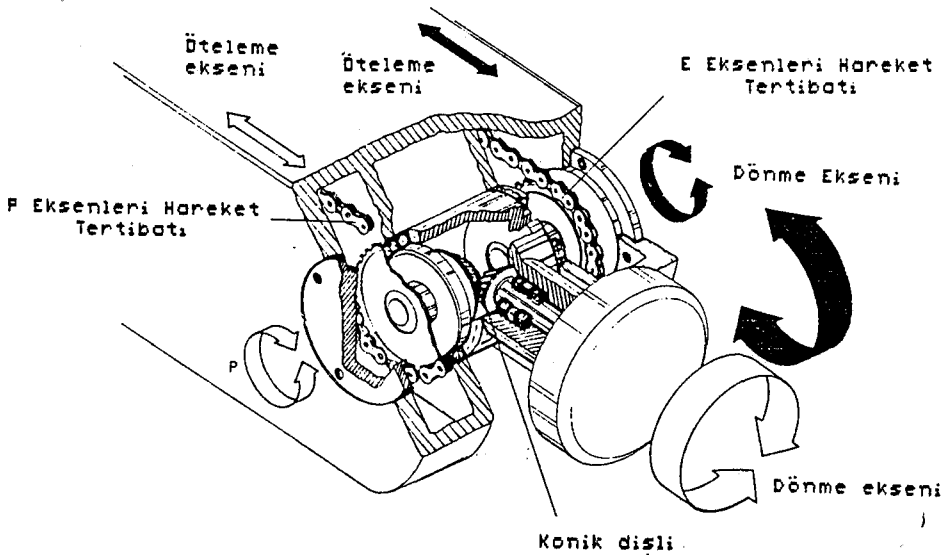
Sekil 3.5'de tasarım gösterilmektedir. Döner eksen C(1) gövdeye yerleştirilmiştir. Diğer iki kol elemanları (2 ve 3) paralelogram şeklinde birleştirilmiştir. 6 elemanı 3 elemanının paralelligi sağlaması için onu destekler. Bilek zincirlerle hareket ettirilir. Kolun bu paralelogram durumunu ve birleştirilmiş zincir tertibatı E ekseninin pozisyonunu belirler(5). Kontrolör için bir diğer basitleştirme simetrik mekanik tasarımla gerçekleştirilmiştir. Kolun tüm eksenleri bir düzlemde ve bileginki ise bir noktada kesişmiştir.



Şekil 3.5: Güç iletim sistemiyle Hitachi proses robotunun genel görünümü.

Zincir tertibatındaki şok zincirler ve tahrik sisteminde elastik kaplinlerin kullanımı hataları azaltmıştır. Tasarımı titreşime duyarsız hale getirmek için, kol iletim sisteminde şok-absorberleri(5) kullanılmıştır.

Bilek (2) serbestlik derecesini sağlar. Şekil 3.6'da E(1) bir zincirle ötelemeden dönme hareketine çevrilir. P (2) zinciriyle ve mahruti dişlisiyle (3) ile P ekseninde hareket sağlanır.

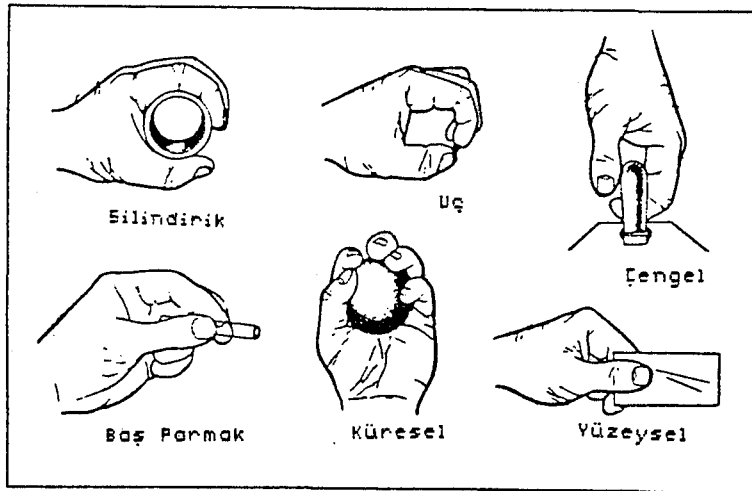


Şekil 3.6: Hitachi proses robotunun iki derece serbestlikli bilek şekli.

4. ROBOT ELLERİNİN ANALİZİ

4.1 Tutucunun Fonksiyonları ve İlgili Faktörler

Genellikle, endüstri robotları için tutucular özel amaçlar için kullanılır. İnsan elinin kavraması altı farklı türde incelenir: Baş parmak, yüzeysel tutuş, silindirik tutuş, uç ve çengel tutuş ve küresel tutuş.



Sekil 4.1: Elin değişik şekilde kavrama işlevi (Schlesinger)

Crosley insan elinin mekanik hareketini şu şekilde sınıflamıştır: Tetik tutuşu, kalem transferi, kesici kullanma, vidalama, sigara yuvarlama, daktilo yazısı ve kalem tutuşu. Fonksiyonların değişimini ilgilendiren birçok faktör vardır. Önemli faktörler parmak sayısı, her bir parmak için eklem sayısı ve elin serbestlik derecesidir. İnsan kolu yirmiyedi serbestlik derecesine sahip olup bunun yirmisi elindir. Baş parmak hariç diğer parmaklar üç eklemden oluşur ve herbiri dört serbestlik derecesi yaratır. Baş parmak iki eklemden oluşup üç serbestlik derecesine sahiptir. Bir serbestlik derecesi de baş parmağın bağlandığı aya eklemi içindir (Crossley, 1977).

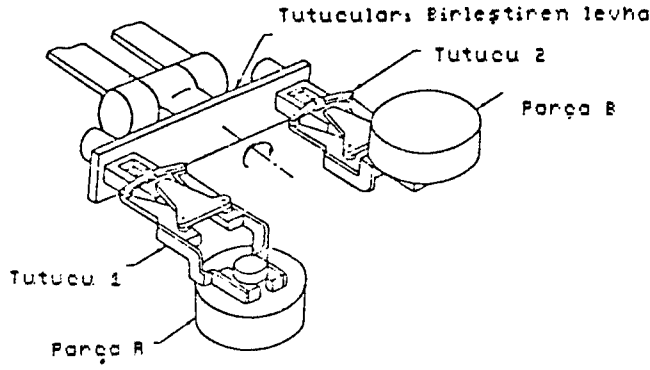
Minumum tutma fonksiyonunu sağlamak için bir tutucu birbirine bağılı iki parmakla açıp kapama hareketi gerçekleştiren bir serbestlik dereceli mafsal dan oluşur. Eger tutucu iki rijit parmağa sahipse, yalnız sınırlı sayıdaki cisimleri tutma yeteneğine sahiptir. Aynı zamanda, bu tip tutucu hareket fonksiyonunu yerine getiremezler. Çünkü tüm serbestlik derecesi tutma için kullanılır. Parçaların şekil değişimlerine uyum göstermenin iki yolu vardır. İlk çözüm her bir parmağa mafsal koymak, diğeri parmak sayısını arttırmaktır. Cisimleri hareket ettirmek için gerekli mafsal ve parmak sayısı kavrama için gerekli olanlardan daha fazladır. Fazla sayıda parmak, mafsal ve serbestlik derecesi tutmayı daha yararlı ve rahat çalışabilir kılar. Fakat kontrolünün zor olması pratikte uygulamayı engellemiştir.

4.2 Tutucuların sınıflandırılması

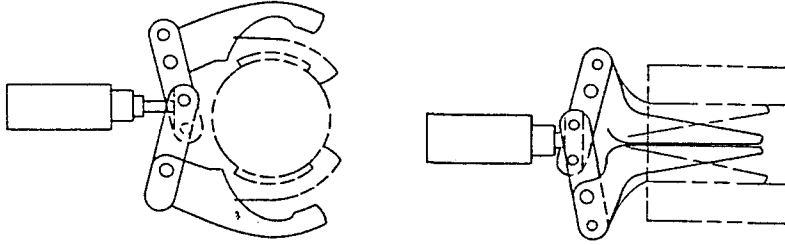
Parmak, eklem ve serbestlik derecesinin değişik düzenlenmesi tutucuların farklı fonksiyonları yerine getirmesini sağlar. Genel olarak tutucular kavrama özelliğine göre sınıflandırılır: Mekanik parmak, özel takım ve üniversal parmak.

Birinci durum özel amaç için tasarlanmış parmakları içerir. Bu tür daha az mafsalla, sınırlı olanak sağlar. Fakat maliyeti düşüktür. Endüstriyel uygulamalar için, iki parmak tutucular en yaygın olanlarıdır. Üç ve beş parmak tutucuları pek yaygın olmamakla beraber özel durumlarda kullanılır.

Diğeri bir sınıflama da tutucu sayısı, tekil veya çoğul olmak üzere robot kolunun bileğine monte edilir (Şekil 4.2) Çok tutuculu sistem farklı iki amacı aynı anda gerçekleştirebilir. Ayrıca parçaları tutmak için içten ve dıştan kavramaya ait örnekler şekil 4.3'de verilmiştir. Buna ek olarak, iki parmak hareketi ya öteleme ya da salınım tutucularıyla sağlanır.



Sekil 4.2: Çok tutuculu sistem



Sekil 4.3: Dıştan ve içten kavramalı tutucular

İkinci tip özel amaçlı tutucular vakumla tutmayı ve elektro mıknatısları içerir. Bu tutucular çok ince ve hafif parçalarda yaygın olarak kullanılır.

4.3 Tutucular İçin Tahrik Sistemi

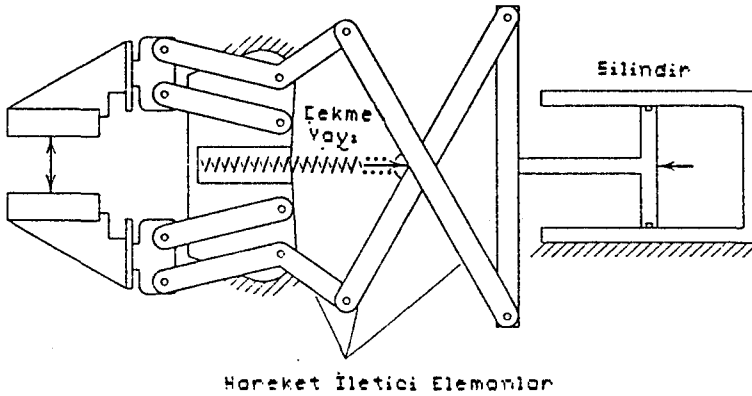
Ellerin tahrik sistemi de temel olarak pnömatik, elektrik ve hidrolik olarak yönetilir. Pnömatik sistemlerde ana hareketi sağlayan silindir ile motordur ve bunlar hareket yönünün elektriksiz sinyallerle kontrol edildiği çift yönlü selenoid valflere bağlanır. Hareket hızını ayarlamak için, hava akış regülasyon valfleri kullanılır. Bir kompresör en az 10 kg/cm² basınçta valflerle hava vererek mekanik hareket sağlanır (Kazuo, 1985)

Pnömatik sistemin diğerlerinden ucuz olması tahrik sistemleri arasında onu üstün kılmıştır. Bununla beraber sistemin sınırlı dayanımı hassas pozisyon kontrolünü güçleştirir.

Elektrik tahrik sistemlerinde DC ve step motorlar kullanılır. Direk tork motorları pahalı olması nedeniyle pek yaygın değildir. Sistemi elektrikle çalıştırmanın ve kontrol etmenin bir çok avantajı vardır. Birincisi çok çeşitli ürünleri mümkündür. İkincisi esnek işlem ve kontrol sistemlerinin yapımı kolay olduğundan elektrik sinyalleri ile kontrol edilebilir. Bu da, bilgisayarın bir kontrol aracı olarak kullanılmasına olanak sağlar. Üçüncüsü, elektrik tahrik sistemleri hem kuvvet hem de pozisyon kontrolü için kullanılabilir. Bununla beraber, sistemin dezavantajları arasında pnömatik sisteme göre daha pahalı olması, hidrolik sistemden daha az dayanıklı olması ve patlayıcı bir ortamda kullanma tehlikesi vardır. Elektrohidrolik tahrik sistemi pnömatik sisteme benzer. Sistemdeki hareketlendiriciler piston-silindir, salınım motoru ve hidrolik motordur. Pozisyon kontrolünü gerçekleştirmek için elektrohidrolik çevirici kullanılır. Elektrohidrolik servo valfleri sürekli pozisyon kontrolü için kullanılır. Bu tür tahrik sistemi hassas pozisyon kontrolü ve sistemin yüksek dayanımından dolayı bağımsız kontrole olanak sağlar. Hidrolik sistemin diğer bir avantajı basınç sağlanırsa ağırlık başına düşen çıkış gücünün yüksek olmasıdır.

Bu üç sistemin dışındaki bir metod, elastik eleman kullanmaktır. Yay genellikle hidrolik ve pnömatik tahrik sistemleri ile çalışan tutucularda otomatik salıvermeyi garantilemek için kullanılır. Şekil 4.4.'de yay kullanılarak pnömatik silindiri geri çekme mekanizması görülmektedir.

Tutma eylemi tek yönlü pnömatik hareketle sağlanıp yay kuvveti parmakların otomatik olarak bırakılması için kullanılır. Yay kuvvetinin tek yönlü pnömatik ve hidrolik sistemlerde kullanılmasının nedeni pistonun kolaylıkla hareket ettirilebilmesidir. Yay ve elektrik motoru beraber kullanılmaz. Çünkü elektrik motoru redüktör kullandığından yay kuvvetinin bir etkisi olmaz.

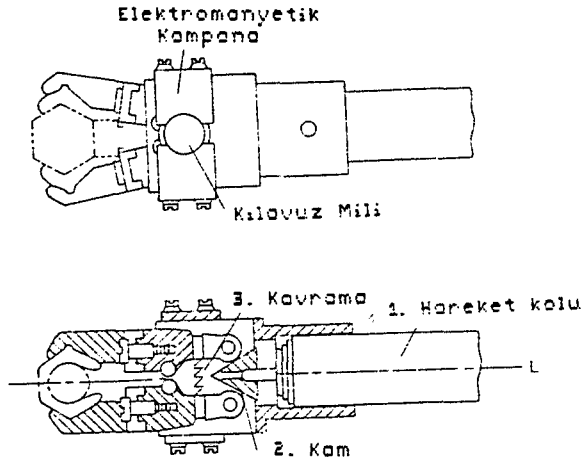


Sekil 4.4: Yay mekanizmalı tutucu

Diğer bir yöntemde elektromıknatis kullanılmaktadır. Elektromıknatis ferromanyetik çekirdekten oluşan mıknatis kafası, iletken sargı ve metalden yapılan hareket kolundan oluşur. İletken sargı devreye girdiğinde mıknatis kafası hareket kolunu çeker ve kol belirlenen noktaya hareket eder. Sargı devre dışı kaldığında kol serbest hareket eder. Bu tür hareketlendirici genellikle yayla beraber kullanılır. Sekil 4.5'de elektromıknatis tahrik sistemli bir tutucu görülmektedir. Elektromıknatis hareketlendirici (1) L-L eksenini boyunca sola doğru lineer hareket oluşturur. Hareket bir kam vasıtasıyla kavrama hareketine çevrilir. Salıverme ise bir yay (3) ile sağlanır. Hareketlendiricinin bu tip elektromıknatis sistemlerinde etki alanı dardır. Çünkü mesafe arttıkça hareket koluna etkiyen kuvvet azalır. Bu yüzden bu tür tutucular küçük parçalar için kullanılır.

Kullanıcı tasarımında tahrik sistemi çok önemlidir. Seçim robotun gerçekleştirmek istediği amaca bağlıdır. Üzette, eğer tutucu pozisyon kontrolü gerekli mafsallara sahipse hidrolik ve elektrik sistem daha iyi seçimdir. Değilse pnömatik sistemin seçilmesi maliyet açısından öngörülür. Eğer yanıcı ortamda çalışmak gerekiyorsa, örneğin boya püskürtme o zaman pnömatik veya hidrolik sistemi kullanmak gerekir. Eğer bazı eklemlerde kuvvet kontrolü

gerekiyorsa, örneğin kavrama kuvvetinin kontrolü o zaman elektrik veya pnömatik sistemler önerilir (Kazuo, 1985).



Şekil 4.5: Elektromagnetik tutucu

4.4. Mekanik Tutucular

Tutuculardaki elemanların gözlemlerinden, aşağıdaki tipler belirlenmiştir :

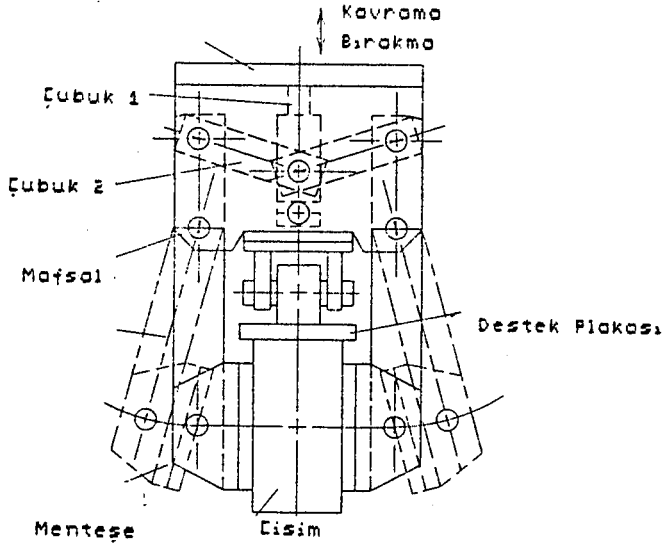
1. Mafsallı bağlantı
2. Kramayer dişli
3. Kam
4. Vida
5. Kablo ve makara

Mekanizma seçimi, hareketlendirici ve tutma şekli tarafından belirlenir. Birçok mekanizma önerilmesine rağmen çok azı pratikte kullanılmaktadır. En çok kullanılanlar şunlardır : (Chen, 1982).

4.4.1. Salınım tutucu mekanizması

Bu tip en yaygın kullanılan mekanizmadır. Sınırlı tipteki parçalar, özellikle silindirik parçalar için kullanılır. Şekil 4.6 bu tipe bir örnektir. Eger hareketlendirici hidrolik ve pnömatik tahrikli piston-silindirler gibi

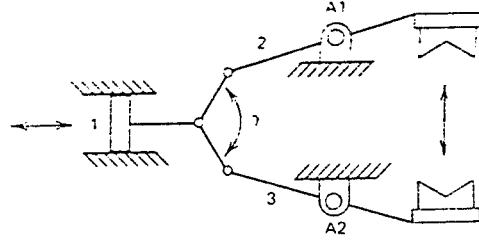
lineer hareket sağlıyorsa, sistem krank-biyel mekanizması içerir.



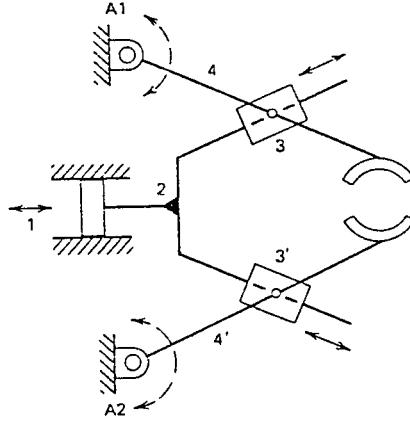
Sekil 4.6: Salınım tutucusuna bir örnek.

Şekil 4.7 bir silindir kullanarak bir çift krank-biyel mekanizmasının tutuculara uyarlanmasını göstermektedir. Piston 1 hidrolik veya pnömatik basınçla sağa doğru itilirken, kranktaki 2 ve 3 elemanları sırasıyla A1 mafsalı çevresinde saat yönünde, A2 mafsalı çevresinde ise saat yönü tersine dönerler. Bırakma hareketi pistonu sola doğru hareket ettirerek sağlanır. Etkin kavramayı sağlamak için $\tau = 180^\circ$ den kaçınmak gerekir. τ açısı 160° ve 170° arasında en çok kullanılmaktadır (Kauzo, 1985).

Şekil 4.8 piston-silindir ve salınım-blok mekanizmasının kullanıldığı, salınım mekanizmasına başka bir örnektir. Kayar-çubuk, pnömatik veya hidrolik pistonla hareketlendirilir ve böylece simetrik olarak düzenlenmiş 1-2-3-4 ve 1-2-3-4' salınım blok çubuklarına A1 ve A2'deki döner mafsallarda 4 ve 4' 'nün dönmesiyle kavrama ve bırakma hareketi sağlanmış olur.



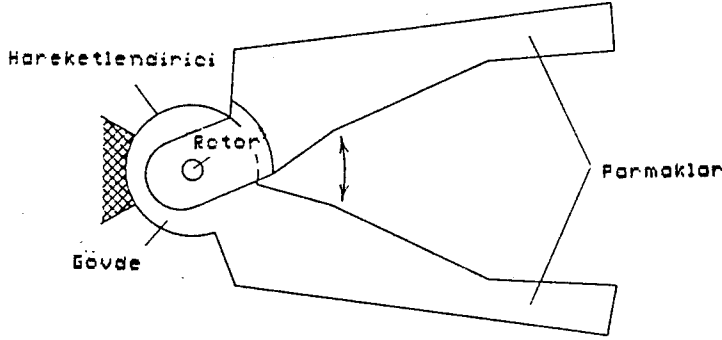
Şekil 4.7: Bir çift krank-biyel mekanizması.



Şekil 4.8: Salınım blok mekanizması.

Şekil 4.9 ise iki parmağın kesiştiği yere yerleştirilen döner tahrikli tutuculara bir örnek teşkil etmektedir. Her bir parmak rotora ve hareketlendiricinin yuvasına monte edilir. Doğrudan hareketlendirici kavrama ve bırakma hareketi sağlar. Bu tutucu mekanizması şekil 4.10-a'da görüldüğü gibi döner mafsalla sağlanmıştır. Uygun kavrama ve bırakma hareketi için, döner hareketlendirici yerine piston-silindir kullanılması şekil 4.10-b'de ve piston hareketinin kam kullanarak kavrama ve bırakma hareketi şekil 4.10-c'de örneklenmiştir. Şekil 4.11-a ise dört çubuk mekanizmasını göstermektedir. Bu hareket bazen parmağı bükmek için kullanılır. Şekil 4.11-b dört çubuk mekanizmasıyla kullanılan

parmak kullanımına bir örnektir. Bir döner hareketlendirici, A veya B'de AD ve BC elemanını döndürmek için kullanılır ve hareketlendirici CD elemanının (parmağın) dönmesini sağlar. İkinci yol ise piston-silindirle tahrik edilen bir krank-biyel mekanizmasının AD veya BC elemanını döndürmek için kullanılmasıdır. Parmağın bükülme hareketi döner maf-saldakine benzer yolla sağlanır.



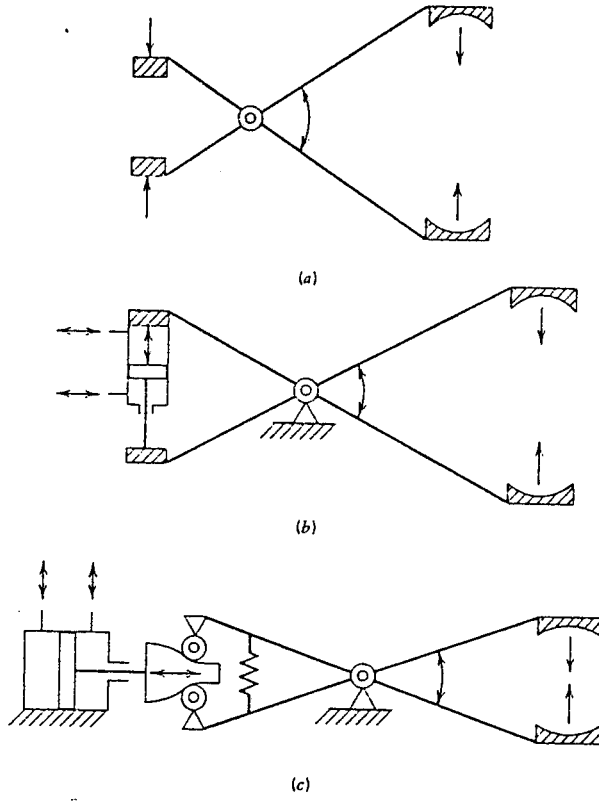
Şekil 4.9:Döner hareketlendirici kullanılan tutucu.

4.4.2. Öteleme tutucu mekanizmaları

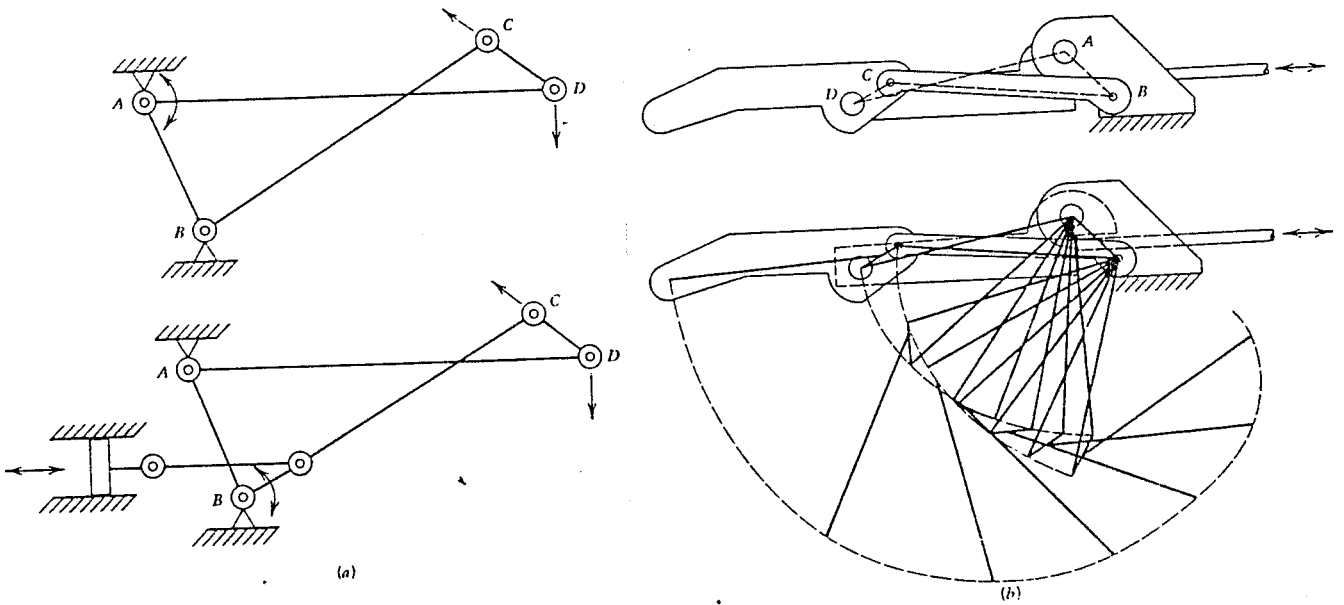
Öteleme mekanizmaları'da endüstri robotlarının parça kavramasında sıklıkla kullanılır. Bu mekanizmalar salınım mekanizmalarına göre biraz daha karışıktır.

Şekil 4.12'de görülen en basit öteleme tutucularında kavrama direkt hareketle sağlanır. Bu yöntemin bir dezavantajı tahrik sisteminin boyutu olup, tutucu boyutunu da belirler.

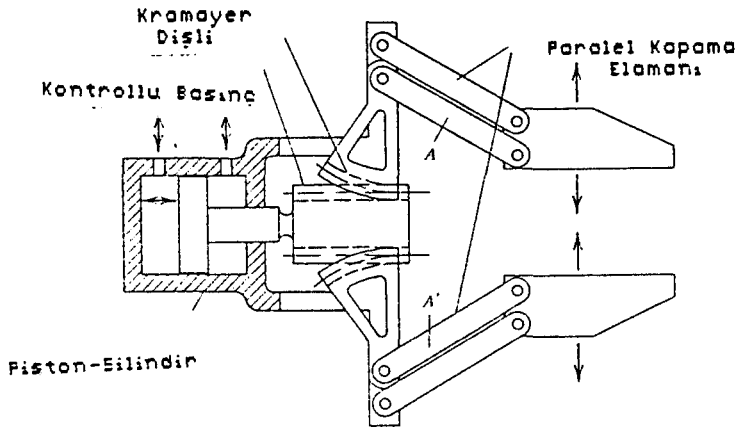
Çift Tesirli Silindir
Pnömatik [veya hidrolik]
Giriş ve Çıkış Bağlantıları



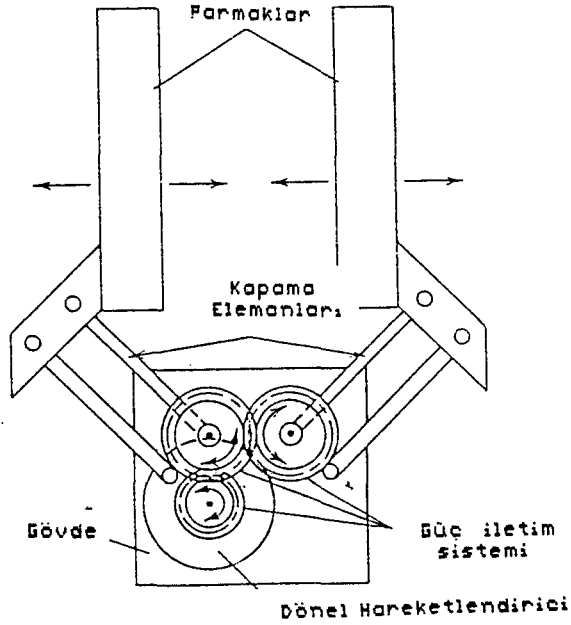
Sekil 4.10: a)Döner mafsallı mekanizma, b)Döner mafsal ve piston-silindirli tutucu, c)Kam ve piston-silindir kullanan tutucu.



Sekil 4.11: a)Dört çubuk mekanizması, b)Dört çubuk mekanizmasını kullanan bir parmak.

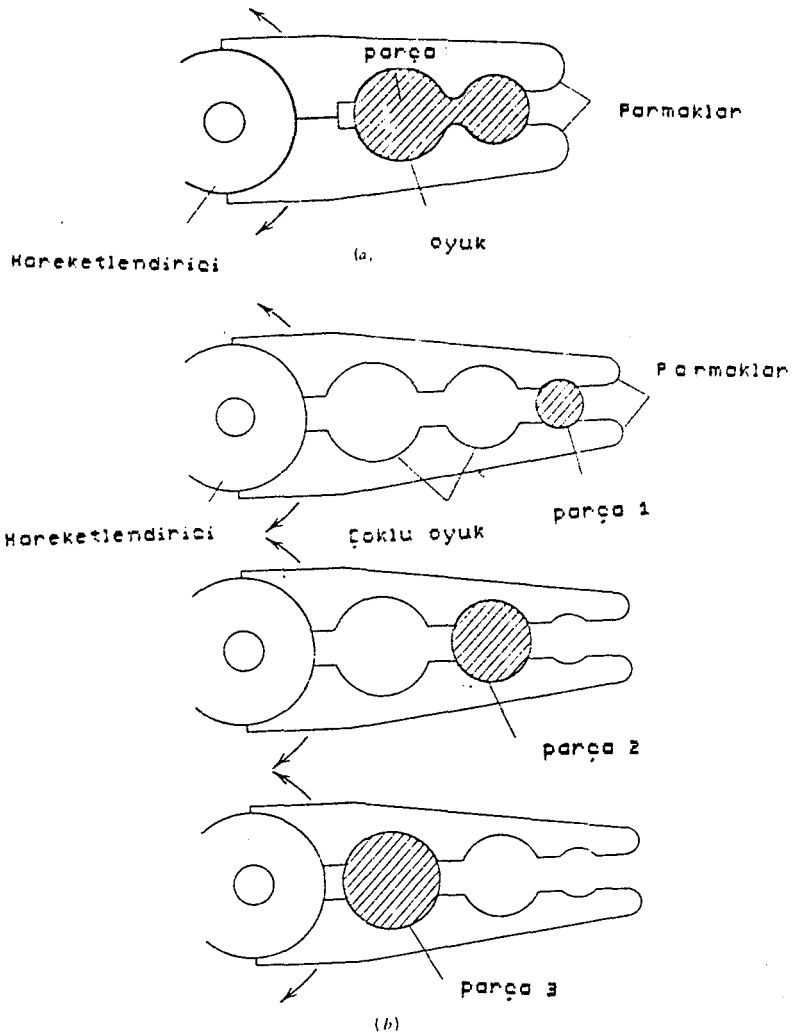


Sekil 4.13: Dişli mekanizmalı öteleme tutucusu



Sekil 4.14: Döner hareketlendirici ve dişlilerle çalışan paralel kapama elemanlarına sahip öteleme tutucusu

Parmak şekilleri tasarımında farklı şekil ve ölçüdeki parçaları tutmak için parmaklarda değişik geometriler geliştirilebilir.



Sekil 4.15: a. Parça uyumlu parmak
b. Çok amaçlı parça uyumlu parmak

Üretimde, bir çok işte silindirik parçalar kullanılır. Silindirik parçaların tutulmasında parmak V şeklinde düzenlenebilir. Her bir parmak kavrama sırasında parçaya oyukta, temas yüzeyinin iki noktasında değeri. İki nokta teması, parçanın yüzeyine daha fazla kavrama kuvveti uygular ve bazen parçayı aşındırır. Bununla beraber, bir çok işte bu problem önemli değildir ve parça şekilli tutuculara karşı avantajlara sahiptirler. Bir avantajı silindirik parçaların çap değişikliklerine uyum göstermeleridir. Diğer avantajı ise işlenmesinin, üretiminin kolay olmasıdır. Sekil.4.16 a silindirik parçalar için V şekilli iki parmağa

sahip bir tutucunun geometrik yapısını göstermektedir. V şekilli oyuk konfigirasyon parametreleri ile kavranacak silindirik parçalar arasında bazı ilişkiler vardır. Şekil 4.16'da $\alpha, \beta, R, R', L, l, a$ ve b parametreleriyle B, C, Q, B', C', Q' ve O sembolleri ve X-Y koordinat sistemi görülmektedir.

Geometrik koşullardan, silindirik parça ve tutucu kesişmemelidir. Bu ; $X-R > \Delta S$ (1) ilişkisini gerektirir. ΔS tutucunun genişliğidir.

Orijin O ile silindirik parçanın merkezi arasındaki mesafe Cosinüs ve pisagor teoremlerinden aşağıdaki denklemlerle açıklanır. (Şekil 4.16).

$$X = \sqrt{[L^2 + (\frac{R}{\sin\tau} + a)^2 - 2L(\frac{R}{\sin\tau} + a)\cos\beta] - l^2} \quad ..(2)$$

Salınım tipi tutucularda , β kavrama sırasında sabittir.

Eğer β çok sık kullanılan $\beta=90^\circ$ ise (2) denklemi;

$$X = \sqrt{[L^2 + (\frac{R}{\sin\tau} + a)^2] - l^2} \quad \dots\dots\dots(3)$$

denklemine dönüşür.

Oyuk bloklarının paralel olduğu öteleme tutucularını kullanırken aşağıdaki denklem elde edilmiştir.

$$\cos\beta = \frac{(R' - l)}{L} \quad \text{öyle ki; } (R' = \frac{R}{\sin\tau} + a) \quad ..(4)$$

(4) denklemini (2)'de yerine koyarsak,

$$X = \sqrt{L^2 - [\frac{R}{\sin\tau} + a - l]^2} \quad \dots\dots\dots(5)$$

Parça için her parmakta oyuk yüzeyinde iki noktada teması sağlaması için D, τ ve b aşağıdaki eşitsizliği gerçekleştirmelidir.

$$D < 2b \tan \tau \dots\dots\dots (6)$$

D : silindirik parçanın çapıdır ve 2R'ye eşittir.

Eğer salınım hareketi varsa, her bir parmağın boyuna yönü, parçaların boyutuyla değiştiğinden farklı koşullara dikkate alınmalıdır. Kaymaksızın kavramada bir parçayı tutmak için, uzatılmış QC çizgisiyle Q'C' çizgisi tutumun önündeki P noktasında kesişmelidir. Verilen parametrelerle bir parçanın kavranması için en büyük çap şu eşitsizlikle belirlenir.

$$D < 2 \sin \tau \left[L \tan \left(\frac{\pi}{2} - \tau \right) + \frac{l}{\tan(\pi/2 - \tau)} \right] \dots\dots\dots (7)$$

l'nin 0'a eşit olduğu özel durumda (Şekil 4.9.) (7)'deki eşitsizlik;

$$D < 2 \sin \tau \cdot L \tan \left(\frac{\pi}{2} - \tau \right) \dots\dots\dots (8)$$

olur.

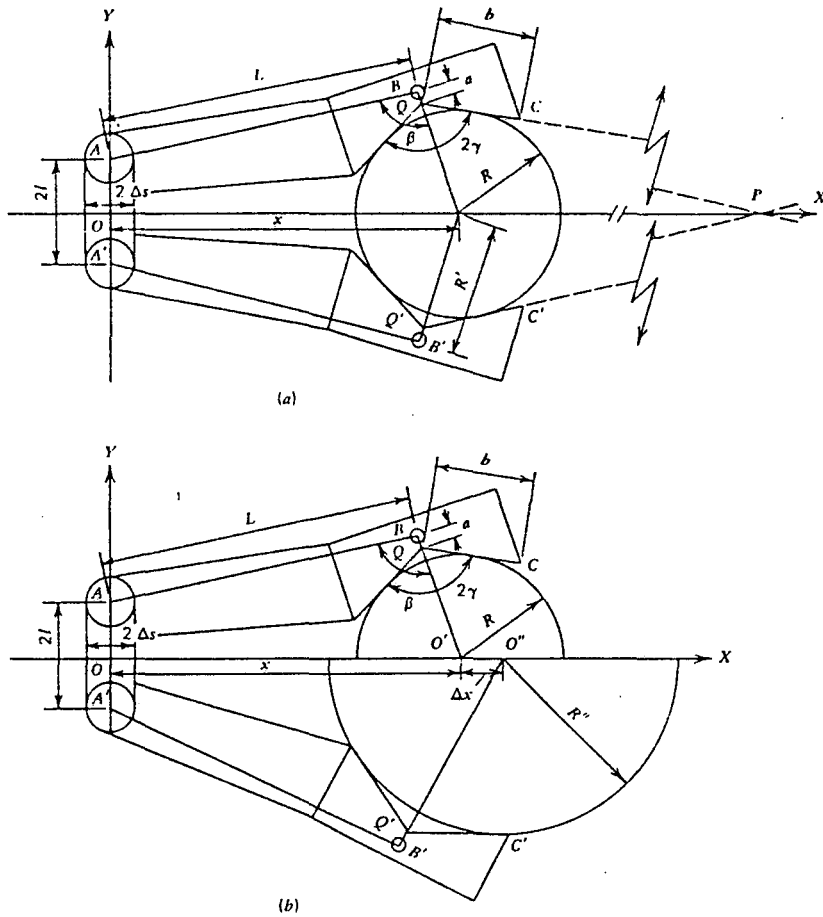
Eğer öteleme tutucuları kullanılırsa, (7) ve (8) eşitsizlikleri ihmal edilebilir. Çünkü parmağın ve V şekilli oyukun hareketi sabittir.

(1), (6), (7) ve (8) denklemleri özel oyuklu tutucular tarafından kavranacak parçanın en büyük çapını bulmada faydalanılabilir.

(2), (3) ve (5) denklemleri silindirik parçanın merkezinin X koordinatlarının çapla değişeceği görülür. Şekil 4.16 $b \Delta l = 0$ durumunda farklı çapta iki parçanın merkez pozisyonlarındaki sapmayı ($O'O'' = \Delta X$) açıklamaktadır.

Şekil 4.17. $2 \tau = 140^\circ$ olan salınım tipi tutucu kullanıldığında, kavranan parçanın çapıyla (D), sapma değeri $Dev = X - L$ arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Dev, parçanın merkez pozisyonununun sapmasına karşılık gelir ve denklem (2) kullanılarak bulunur.

Sekilde çizgili bölgeler (7) eşitsizliği ile bulunan çap sınırlarını temsil etmektedir. Sekilden görüldüğü gibi daha uzun parmaklı tutucular merkez pozisyonundan daha az sapma verir. Eğer öteleme tipi tutucular kullanılınsaydı aynı boyuttaki parmaklar kullanılmak kaydıyla sapma, salınım tipli tutuculardan daha az olurdu.

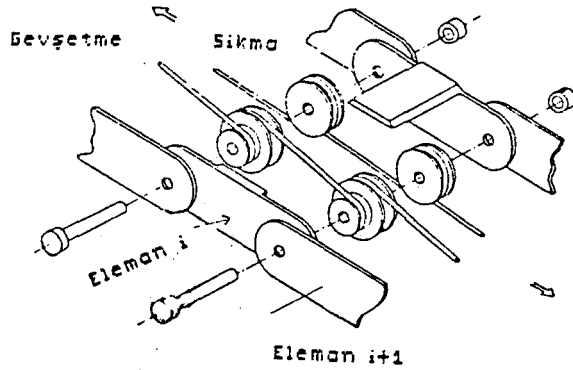


Sekil 4.16: a. V şekilli iki parmaklı tutucularda geometrik yapı
b. Kavranan parçanın merkez sapması

Herhangi şekildeki bir parçayı çepeçevre kavramayı sağlamak için şekil 4.18'deki yumuşak tutucu mekanizması önerilebilir. Şekil 4.19'de parçalar halinde mekanizma görülmektedir. Komşu çubuk ve makaralar döner eklemlerle

4.4.4. Kavrama kuvveti ve burulma momentinin hesabı

Maksimum kavrama kuvveti ve torku enaz tutucunun geometrisi kadar önemlidir. Hareketlendirici kuvvet ve tork maksimum kuvvet özelliğine göre tasarlanmıştır.



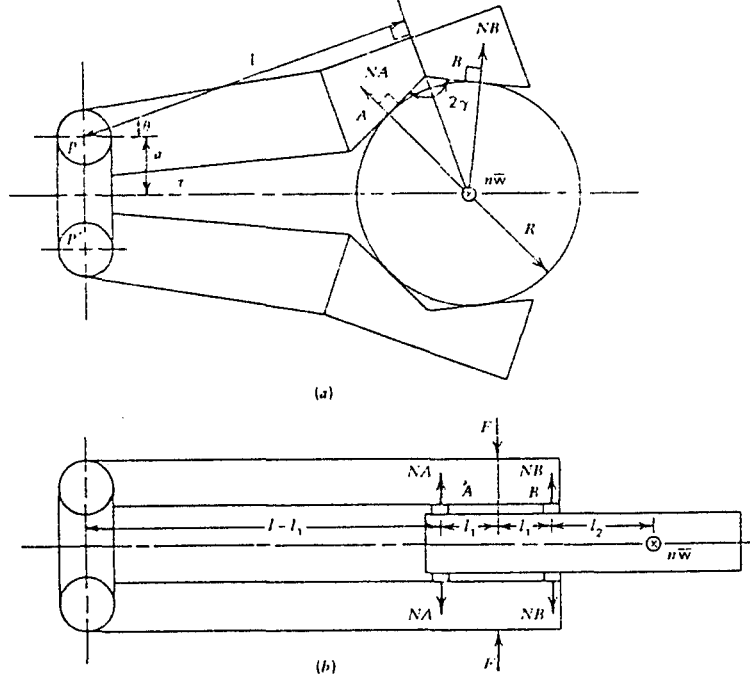
Şekil 4.19: Yumuşak tutucu mekanizmanın elemanları

Robotun parçayı sıkma kuvveti parçanın ağırlığına, parça ve parmaklar arasındaki sürtünmeye, robotun hareket hızına ve parça üzerindeki parmak pozisyonu ile hareket yönü arasındaki ilişkiye bağlıdır.

En kötü durum yerçekimi ve hareketin ivmesinin parmakların temas yüzeyine paralel olduğu durumdur. Tek başına sürtünme kuvveti parçayı itmek zorundadır. Bu yüzden, bu durum maksimum kuvvet ve kavrama torkunu hesaplamak için kullanılır.

Parçayı kavramanın birçok yolu vardır. Şekil 4.20 maksimum kavrama kuvvetinin hesaplanmasında farklı yaklaşımları içeren iki örneği göstermektedir. Şekil 4.20-a'da bir silindirik parçanın salınım tutucular kullanılarak iki noktada kavranması ve parçanın ağırlık merkezini iki parmağın birleştiği eksen içinde tutan durum örneklenmiştir. Şekil 4.20-b'de ise öteleme tutucusu kullanılarak düz yüzeyli bir parçanın iki noktasından tutacak ve ağırlık merkezi iki

parmağın dışında bulunacak parça örneklenmiştir. Şekil 4.20-a için, temas noktalarındaki normal kuvvetler N_A ve N_B , kavrama torkuyla ilişkisi P ekleminde momentlerin toplamıyla elde edilir.



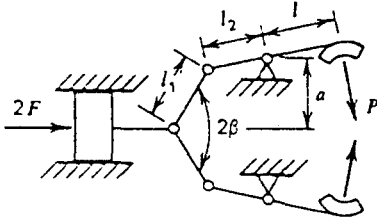
Şekil 4.20: a. salınım mekanizmasının parçanın ağırlık merkezini parmakların arasında olacak şekilde kavraması
b. Üteleme mekanizmasının ağırlık merkezini parmakların dışında olacak şekilde kavraması

$$N_A = T / ((\cos(\tau - \theta) (\tan \theta + l \cos \theta) (\tan(\tau - \theta) + \tan(\theta + \tau)))$$

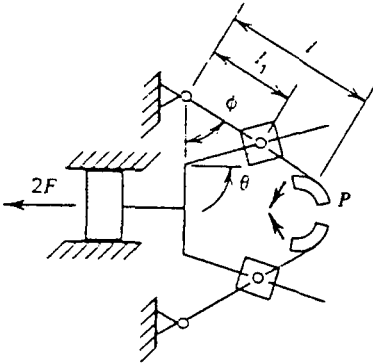
$$N_B = T / ((\cos(\tau + \theta) (\tan \theta + l \cos \theta) (\tan(\tau - \theta) + \tan(\theta + \tau)))$$

Kavrama kuvveti etkisi altında parçanın tutulmasını sağlayan sürtünme kuvvetleri μN_A ve μN_B 'dir. İvme ve yerçekiminden dolayı temas noktasındaki kuvvetler sürtünme kuvvetlerinden daha düşük olmalıdır. İvme kuvvetinin ng (yerçekimi ivmesinin n katı) olduğunu varsayarak kavranan parçanın merkezine etkiğinde A ve B temas noktalarındaki F_A ve F_B kuvvetleri sırasıyla parçanın ağırlık merkezindeki moment alınarak bulunur.

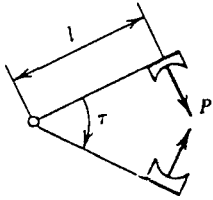
Tablo 4.1.: Tahrik kuvvet ve torku ile kavrama noktası arasındaki bağıntı



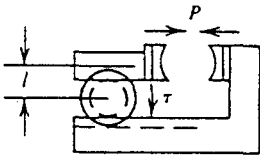
$$lP = l_2 \left[\tan \beta \sqrt{1 - \left(\frac{l_1 \sin \beta - a}{l} \right)^2} - \frac{l_1 \sin \beta - a}{l} \right] \cdot F$$



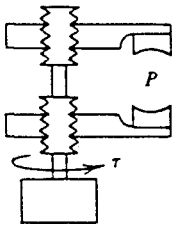
$$lP = l_1 \frac{\cos(\phi - \theta)}{\cos \theta} \cdot F$$



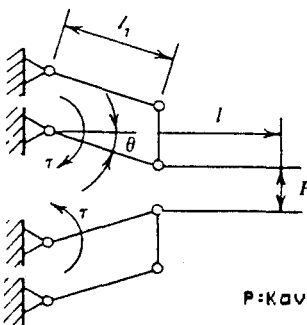
$$lP = \tau$$



$$P = \frac{\tau}{l}$$



$$P = \frac{\tau}{r \tan \alpha}$$



$$P = \frac{\tau}{l_1 \cos \theta}$$

P:Kavrama kuvveti , F:Tahrik kuvveti , l:Geometrik uzunluk , T:Moment

A noktası için;

$$F_A = (nW \cos(\tau + \theta)) / (4 \cos \tau \cos \theta)$$

B noktası için;

$$F_B = (nW \cos(\tau - \theta)) / (4 \cos \tau \cos \theta)$$

Kavrama momenti göz önünde bulundurularak eşitsizlikler aynı anda çözülür.

$$A \text{ noktası için; } F_A < \mu N_A$$

$$B \text{ noktası için; } F_B < \mu N_B$$

Şekil 4.20-b için kavrama kuvvetleri aynı şekilde hesaplanır. Temas noktalarında sürtünme ve ivme kuvvetleri ve kavrama kuvvetlerinin denklemleri şu şekildedir.

$$N_A = F/2$$

$$N_B = F/2$$

$$F_A = (1 / \epsilon l_1) nW$$

$$F_B = (1 + (1 / (2l_1))) nW$$

$$F_A < \mu N_A$$

$$F_B < \mu N_B$$

Maksimum kavrama kuvveti ve burulma momenti hesaplandıktan sonra, tahrik sisteminin yaratacağı kuvvet veya moment belirlenir. Bu değerlerin hesaplanması kuvvet ve momentin kavranması için gerekli oranlara çevrilmesiyle gerçekleşir.

Tablo 4.1 tahrik torku veya kuvveti ile tutuculardaki kavrama kuvveti arasındaki ilişkileri gösteren bir dizi mekanizmayı açıklamaktadır.

5. SONUC

Robotların geometrisi, mekanik yapısı; kinematik, dinamik ve dayanım özellikleri, kontrolü, programlama dilleri, algılayıcıları ve ekonomiyi içeren çok geniş bir konu olmasından dolayı elektrik, makina, endüstri gibi bir çok mühendislik alanını kapsar. Tam bir robot tasarımında mühendisler koordineli çalışmak zorundadır. Makina mühendisi tarafından yapılan tasarımın sistem kontrolü için bir elektronik uzmanına ihtiyaç duyulur.

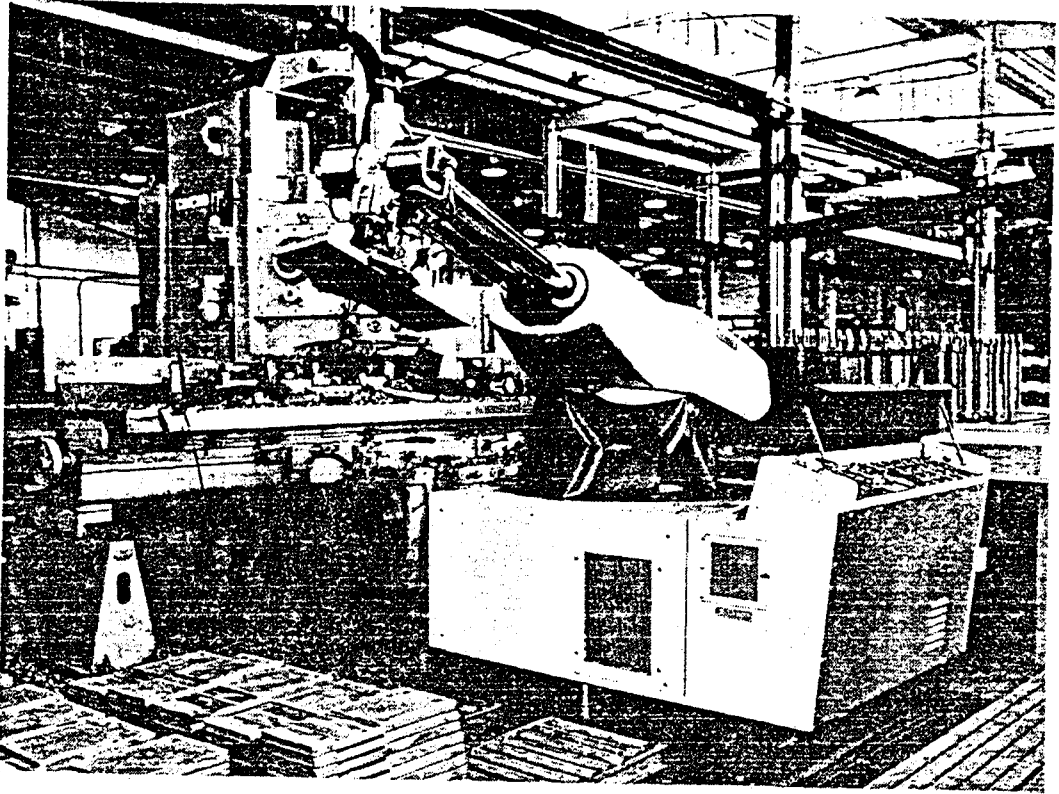
Robot konusu ülkemizde çok yenidir. Bu nedenle robotun tanıtılması ve onun değişik yönlerinin incelenip analiz edilmesi faydalıdır. Endüstri robotlarının seçiminde ve tasarımında amaç çok önemlidir. Amaca bağlı bir çok alternatifi irdeleyip en iyi çözüm bulunmalıdır. Bu aşamada, sistemin çalışma hacmi ve yük kapasitesi gibi özelliklerinin belirlenmesi, ayrıca robot konfigürasyonu ve sistem performansı birarada düşünülerek tasarım kriterleri belirlenmelidir.

Robot ellerinde birçok mekanizma analiz edildiğinde en yaygın olanların iki parmaklı tutucular olduğu görülür. Bu tutucuların tahrik sistemlerinin de tutulacak parçanın bir fonksiyonu olduğu gözlenmiştir.

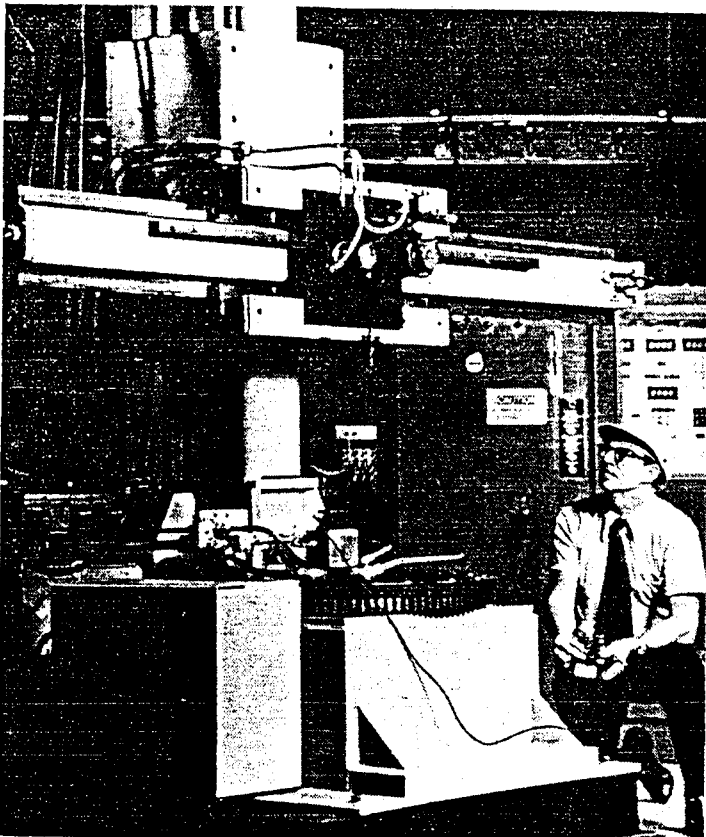
KAYNAKLAR DİZİNİ

- Albus J.S., 1981, Brains, Behaviour and Robotics, Mc Graw Hill
- Chen F.Y., 1982, Gripping Mechanism for Industrial Robotics, Mechanism and Machine Theory, 17, 5, Pergoman Pen Oxford, 299-231
- Crossley F.R.E., 1977, Design for a three-fingered hand, Robot and Manipulator Systems, Pergoman Press, Oxford, 85-93
- Groover M.P., Zimmers W.E., 1984, CAD/CAM Computer aided design and manufacturing, Prentice Hall, Int. Editions
- Hans J.Warnecke, 1985, Mechanical Design of the Robot Systems, Handbook of Industrial Robotics, John W. and Sons Inc.
- Hartley J., 1983, Robots at work, A Practical guide for engineers and managers, North-Holland publishing Co.,
- Horn K.P., 1977, Dynamics of Three Degree of Freedom Kinematic Chain, MIT p.478.
- Hunter P.R., 1987, Automated Process Control Systems, Prentice-Hall Inc.
- Jou T.M., 1983, Geometric Design of Manipulation using interactive computer graphics, Congress on Theory of Machines and Mechanisms, New Delhi
- Kazuo T., 1985, Design of Robot Hands, Handbook of Industrial Robotics, John W. and Sons Inc.
- Pekçevik S., 1988, Robot Lab., Teknik Yayınevi
- Seering W.P., 1985, Mechanical Design of an Industrial Robots, Handbook of Industrial Robotics, John W. and Sons Inc.
- Show C., 1987, Design a simplified robotic system, Engineering Materials and Design, 31, 5, 53-54
- Söylemez E., 1979, Mechanisms, Middle East Technical University
- Warnecke H.J., 1982, Industrial Robots, IFS Publications Ltd, Bedford

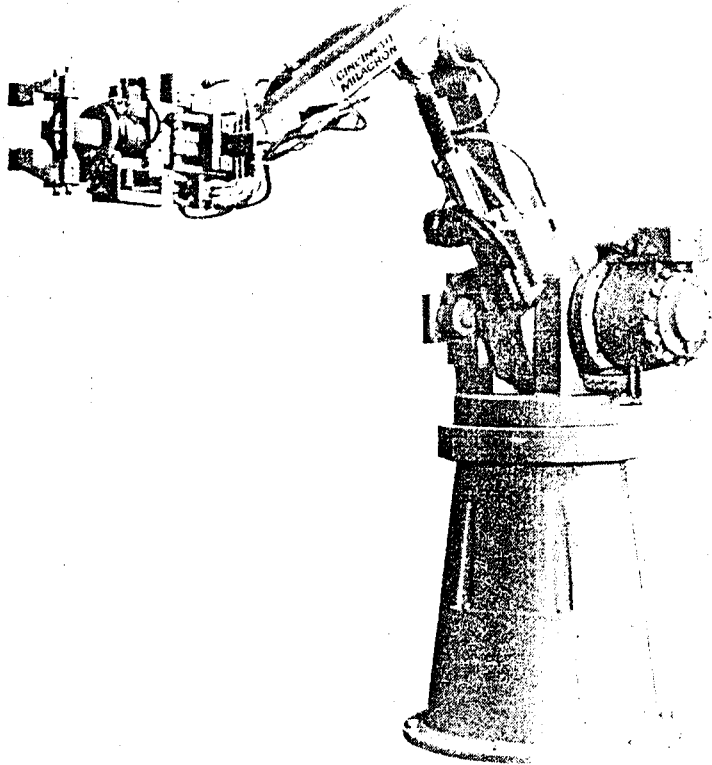
E K L E R



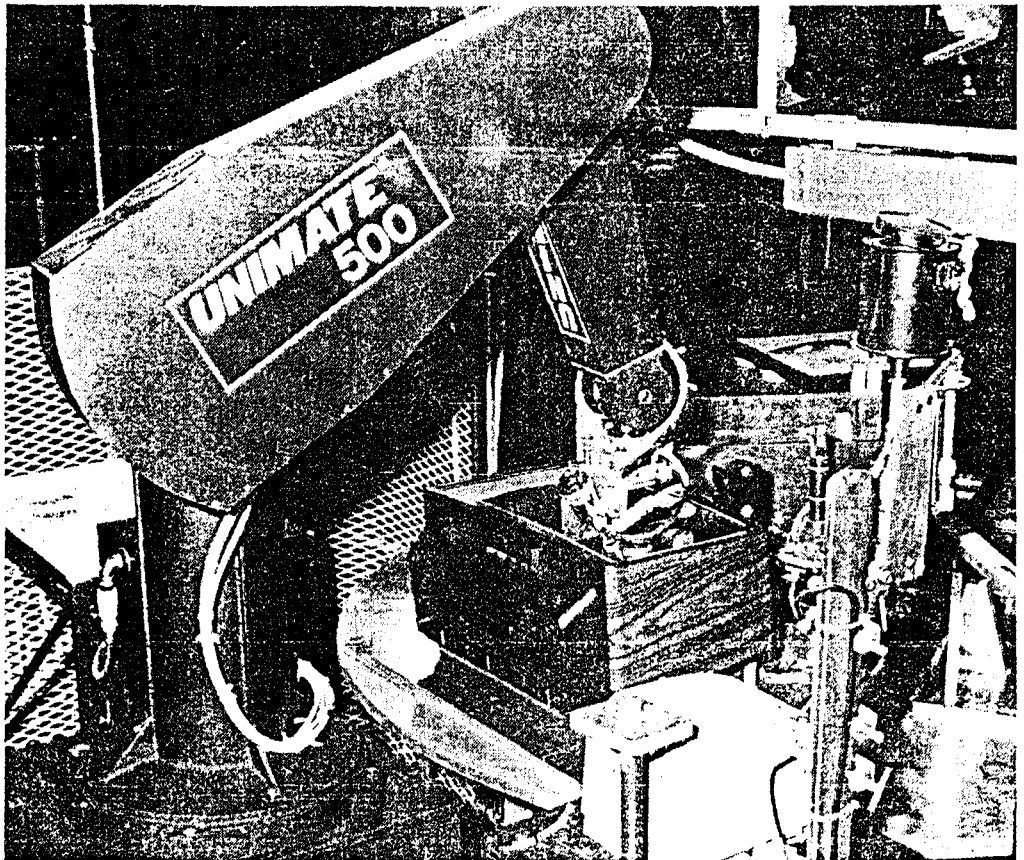
Unimate 2000 seri robot—



Prab FC model robot—



Cincinnati Milacron T³ robot—
Milacron, Inc.)



Unimation PUMA 500 robot—