

## 1.1 Otomasyon Sisteminin Doğuşu

Makinelerin, ağırlıklı işlemleri yapmak için kullanılmaya başlanması "sanayi devrimini" ni getirmiştir. İnsanların yemi makinelerin alması ve işçilerin işsiz kalması sebebiyle sanayi devrimi döneminde makinelere saldırma ve parçalama gibi olaylar yaşanmıştır.

Bilim adamları ve yazarlar, makinelere gelişen sanayi devrimini "yeni uygarlıkların oluşturan dalgalar" olarak nitelendirmiştir.

Tarımın uygulamaya başlaması "birinci dalga", makinelerin kullanılmaya başlaması "ikinci dalgayı" oluşturmuş ve insan gibi karar verebilen makinelerin kullanılmaya başladığı günümüze kadar gelmiştir. Yeni çağı sınırlayacak kadar güçlü ve becerikli makinelere bugün robot adı verilir.

Robot kelimesi, Çek dilinde "zorunlu işçilik" anlamına gelen "robota" kelimesinden türemiştir. İlk kez Karel Čapek tarafından 1921 yılında yazılan bir tiyatro oyununda kullanılmıştır.

Elektronikğin gelişimi ve kullanılmaya başlamasıyla canlı varlıklarda olduğu gibi geri merkezle sağlanan bilgi alış-verişi yoluyla kendiliğinden işleyen bir sistemin kurulması; mekanik hareket, makine hareketi veya otomatik hareket yerine "otomasyon" adıyla alınan yepyeni bir hareket sistemini ortaya çıkarmıştır.

Otomasyon kelimesini, 1947 yılında D.S. Harder, "Otomobil imalatında ham maddelerin insan eli kışmadan, makine operatörleri tarafından işlenmesi" olarak kullanmıştır.

Her işlem ve süreç için "kati otomasyon" adı verilen özgen sistemler kullanılır. Ancak kati otomasyon tek bir ürün elde etmek için iktisatlıdır. Bir başka ürün için farklı bir kati otomasyon sistemine ihtiyaç vardır. Bu da büyük yatırım gerektirir (sistemin kendisi, üretimin yapıldığı tesis alanının büyüklüğü gibi.)

Fakat daha ucuz mal olan ve kolaylıkla farklı bir işlem dizisine uyarılabilen otomatik anahtar daha avantajlıdır ve "esnek otomasyon" olarak anılır. Böylece robot bilimi ortaya çıkmıştır.

"Köle" kelimesinden türeyen "servo-mekaniizma" yapısı bir yada birden fazla işlemi bir sistem içinde mekanik hareketlere dönüştüren geri beslemeli bir sistemdir.

Sibernetik ve elektronik teknolojiler önce 1928 yılında "Eric", 1932 yılında "Alfa" ve 1939 yılında yapılan "Elektro" ilginç üç ayrı robottur.

## 1.2. Robotlar.

Robotlar yaygın olarak ağır sanayide özellikle otomobil endüstrisinde kullanılmaktadır. Bu sanayi kolunda asıl amaç imalat hattının hatasız ve daha hızlı kaymasını sağlayarak daha fazla üretim yapmaktır.

Firmaların arasındaki rekabet bu amacı pekiştirmiş ve endüstri alanında otomatikleşmeyi yarıştan kopmamak amacıyla zorunlu kılmuştur. Böylece 1947 yılında ilk kez dilenen "otomasyon" tanımlaması ortaya çıkmıştır.

Önceleri, imalat hattı yanında duran ve o hat üzerinde kayarak önüne gelen gövdelere mekanik hareketlerle bazı parçaları monte eden robotlar geri besleme işlemi kullanılmak kapasiteleri artırılmıştır. Bu robotlar montajdan sonra parçayı kontrol eder hatalı işlemi tespit ayırarak sorunu giderilmesi için geri gönderir. Bu yapıdaki sisteme bazı yerlerde "imalat hattı" (Assembly line) yerine "Feed Back Hattı" (Feed-Back Path) - (geri besleme hattı) adı verilir.

Robot sözcüğü işçi anlamına gelse de Webster sözlüğü<sup>+</sup> robotu "insanlara özgü işleri yapan otomatik makine" olarak tanımlar.

(RPA) Amerikan robot enstitüsü'nün tanımı, "Programlı hareketlerle değişik görevleri için malzeme, alet ya da özel parçaları taşımak için tasarlanmış, yeniden programlanabilen çok yönlü kol (manipülatör)" şeklindedir.

+ 19 yy'da ilk kez Noah Webster tarafından geliştirilen "İngiliz dilinin Amerikan sözlüğü" olarak anılan sözlüktür.

RAI'nın tanımı, robotun kabul edilmiş tanımıdır ve önemli nokta robotun yeniden programlanabilir olmasıdır.

Sanayi robotunun en kapsamlı tanımı ve robot tiplerinin sınıflandırılması ISO 8373 standardında belirlenmiştir. ISO 8373 standardında robot tanımı: Endüstriyel uygulamalarda kullanılan, sabit veya hareketli olabilen, üç veya daha fazla programlanabilir eksenle sahip, otomatik kontrollü, yeniden programlanabilir çok amaçlı manipulatördür.

Tanım ait özellikler:

**yeniden programlanabilir:** Fiziksel değişiklik olmadan programlanmış hareketleri veya yardımcı fonksiyonları değiştirebilme özelliğidir.

**çok amaçlı:** fiziksel değişiklik yapılarak farklı bir uygulamaya uygun hale getirilebilme özelliğidir.

**Eksen:** Doğrusal veya dönmeye modunda robotun hareketini belirlemek için kullanılan doğrultü özelliğidir.

**Tamlık:** Çalışma hacmi içinde istenen bir noktaya, robotun bilek sorunu götürebilme yeteneğidir.

Uzaysal çözüm; robotun çalışma hacmini bölünebileceği en küçük hareket ortasıdır.

Robotun tamlığı uzaysal çözüm açısından ifade edilebilir. Hedef noktaya ulaşabilme yeteneği, her ekleme hareketi için robotun kontrol artırımlarını ne derece tanımlayabildiğine bağlıdır. Tamlık verilen bir hedef noktaya erişebilmek için robotun programlanabilme kapasitesiyle ilişkilidir.

**Tekrarlanabilirlik:**

Uzayda robota önceden öğretilen bir noktaya, robotun, bileğini veya bileğine eklenen uc elemanlarını götürebilme yeteneğidir. Robotun, öğretilen bir noktaya göre tekrarlanan hareketlerinin sırasında, robot uc noktası ile öğretilen nokta arasında oluşabilecek maksimum hatadır.

Genel amaçlı robotlarda tekrarlanabilirlik değeri 0,1 mm ile 0,2 mm arasında olması istenir. Ark kaynağı uygulamasında kullanılan bir robot için tekrarlanabilirlik değeri teliin yarıyağı mertebesinde küçük olması istenir.

**Yük taşıma kabiliyeti ve hızı:**

Maksimum yük taşıma kapasitesi robotun minimum hızında tekrarlanabilirlik değerini koruyarak taşıyabileceği maksimum yük değeridir. Nominal yük taşıma (düşük) kapasitesi de robotun maksimum hızda tekrarlanabilirlik değerini koruyarak taşıyabileceği maksimum yük miktarıdır. Yük taşıma kapasitesi taşınan malzemenin boyut ve şekline bağlıdır.

Japon Robot Birliği (JIRA) ve Japon Endüstri Standartları Komitesi ise robotu;

**manipülator:** İnsan koluna benzer işlemleri olan ve bir nesneyi (kol) bir yerden bir yere hareket ettiren makinedir.

**Playback robot:** Ardisık (peşpeşe) işlemler için hafızasındaki kayıtlı bilgileri okuyarak işlem gerçekleştirilen manipulatordür.

**Zeki robot:** Tanıma ve algılama yardımıyla kendi hareket veya davranışına karar verebilen robotlardır.

Robotların daha önceden kullanılan Otomatik Makinelerden farkları.

\* Mafsal hareketleri çok daha fazladır.

**mafsal** (dipe- adıyla eklem) hareket eden iki parçanın hareket özelliklerini kaybetmeden birbirine bağlanmasını sağlayan mekanik sistemdir. Hareket yönü ve doğrultusuna göre çeşitlidir. En yaygın bilinenleri silindirik ve küresel mafsallardır.

Silindirik mafsalda hareket iki boyuttadır.

Küresel mafsalda hareket üç boyuttadır.

\* Daha hızlı iş görür.

\* Yönleş işlem yapma gibi yönleş hareketle bulunmaz. (vidaları yönleş yere takma gibi)

\* Kendi işlemlerinin doğruluğunu kontrol edebilir.

\* Gerçekten ara sisteme bağlı olmadan kendi bölmeleriyle ilgili çalışmalarını kendi başına sürdürebilir. Üretilen parçaları kendi başına tasnif edip, yükler. Her parçayı ait olduğu bölüme götürerek yerleştirebilir.

Berçek olarak ilk sanayi robotu, ABD'li bir mühendis olan G.C. Devci tarafından tasarlanmıştır. 1961'de H.A. Ernst mikroişlemci kontrollü mekanik bir el geliştirmiştir. 1968'de Pieper, manipülasyon kinematiği üzerinde, Kahn ve Roth ise dinamiği üzerinde çalışmıştır.

1970'lerde araştırmalar, sensörler üzerinde yoğunlaşmıştır. 1972'de P. Well ve ortakları, marital görevi yapan kuvvet ve dokunma sensörleriyle donatılmış yapı üzerinde çalıştılar.

1974'te Bedezy, uzay araştırmalarında kullanılmak üzere kontrol teknikleri geliştirdi.

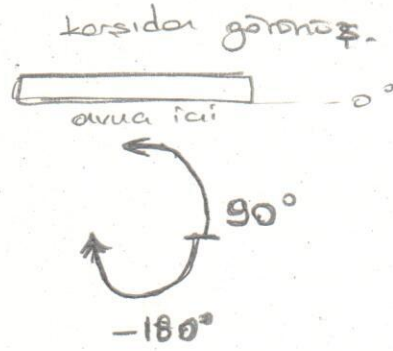
### 1.3 İnsan Kolunun Özellikleri

Robotun, verilen görevi yerine getirmesi için eğilme ve bükülme sistemlerine sahip olması gerekir, insandaki gibi.

Bu açıdan robot kolu (manipülasyonu) insan koluna oldukça benzerdir. Bu nedenle insan kolunun özelliklerine kısaca değinmekte fayda vardır.

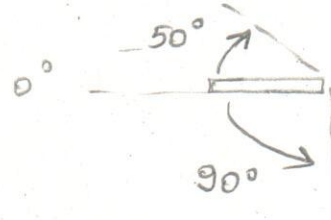
İnsan kolu; üç küçük mafsallı (eklemli) bilek kısmı ve dirsek ile omuzun oluşturduğu kısım olmak üzere ikiye ayrılır. Bilek, el ile tutulan bir cisme yön verir.

Avuç içi aşağıya bakacak şekilde kolunuzu yer düzlemine paralel olacak şekilde kaldırınız. Bir referans noktası olarak bu  $0^\circ$  konumudur. Saat yönünde ya da tersi yönde bileğinizi döndürünüz. Bu dönme hareketi (Roll)'dir ve sınırları  $-180^\circ$  ile  $90^\circ$ 'dir.



$$\text{Dönme} : 180^\circ + 90^\circ = 270^\circ$$

Kolunuzu tekrar  $0^\circ$  yani avuç içiniz yere batabacak şekilde yere paralel olduğu konuma getiriniz. Eliniz döndürmeden bileği mümkün olduğunca aşağı ve yukarı yönde hareket ettiriniz. Bu eğilme (Pitch) hareketidir. ve sınırları  $+90^\circ$  ile  $+50^\circ$  'dir.



$$\text{Eğilme} : 90^\circ + 50^\circ = 140^\circ$$

Kolu düz olarak tutup bileğe dönme ya da eğilme hareketi yaptırmadan parmaklarınızı açıp kapatınız. Bu sapma (Yaw) hareketidir ve sınırları  $-45^\circ$  ile  $+15^\circ$  'dir.

$$\text{Sapma} : 45^\circ + 15^\circ = 60^\circ$$

Dönme, eğilme ve sapma birbirinden bağımsız hareketler olduklarından serbestlik derecesi olarak kabul edilir.

İnsan kolunun ikinci bölümünde üç serbestlik dereceli iki bağlantı vardır. Bunlar iki serbestlik dereceli omuz ve bir serbestlik dereceli dirsektir.

Robotun omuz kısmı tek serbestlik derecelidir, bel kısmı insan omuzunun ikinci hareketini üstlenir.

Tasima işlemleri yapan robotlarda sadece başparmak, birinci ve orta parmak kullanılır.

Kol yapısının önemli özelliklerinden biri üst kolun ön kolle oranıdır. Bu  $1:1 \sim 1:2$  civarındadır. Bu oran robotun ön kolünün üst kolda eşit ya da daha kısa olacağı anlamındadır. Bu oran karşılanmazsa robotun hareketinde dengesizlikler oluşur.

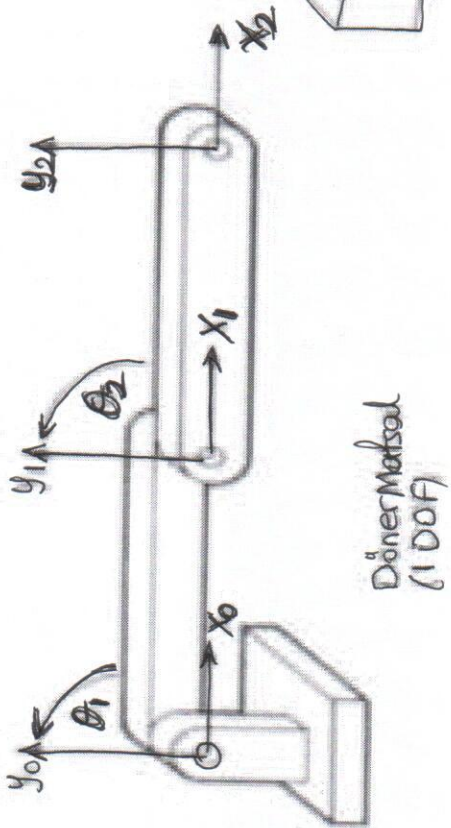
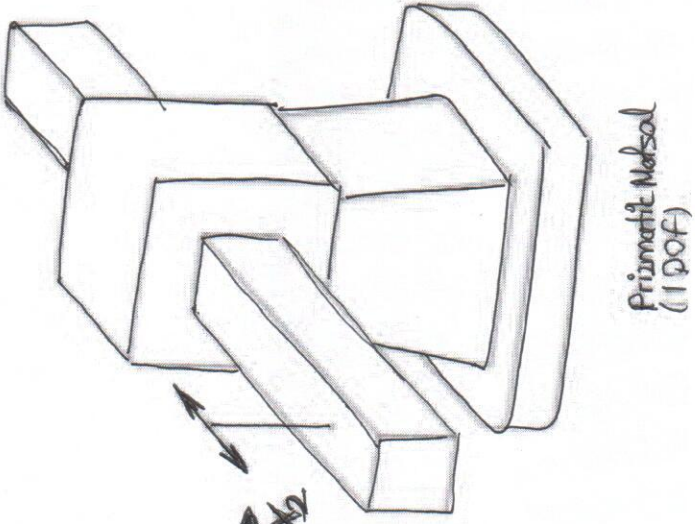
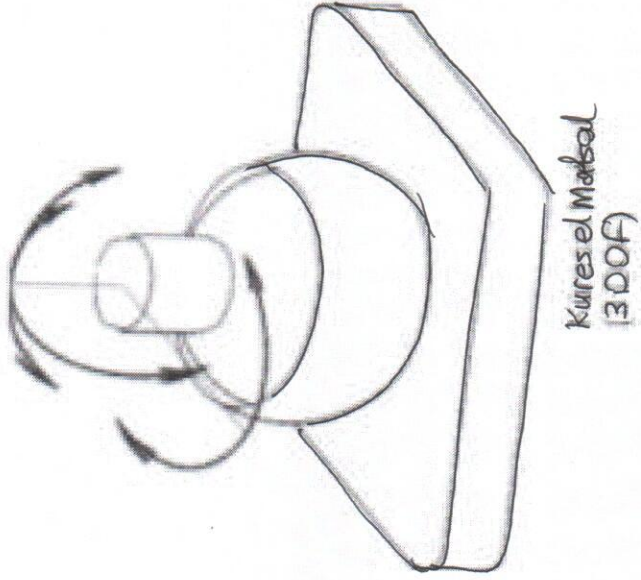
#### 1.4 Robotların Sınıflandırılması

##### 1. Yapısal Sınıflandırma.

Robotların yapısal sınıflandırılması, uzuvlar arasındaki bağlantı hareketi sağlayan mafsallar yönü verir. Bu mafsallar-

- Salınım hareketi yapabilen iki mafsala, bir bağlam eksen etrafında dönmesi (döner mafsala) 'dir. Ayakta duran bir insanın belini düşey eksen etrafında sola ve sağa döndürmesi gibi.
- Eğilme hareketi (bending rotation) olarak anılan, mafsaldaki çapraz eksen etrafında bir dönme hareketi (döner mafsala) 'dir. İnsan omuzunun ileri-geri oynaması gibi.
- Bağlamasına, bir eksen doğrultusunda, uzama yapan doğrusal hareket, prizmatik mafsala-
- Kontrolü zor olan, çok yönlü hareket edebilen küresel mafsala-

(10)



Robot Mafsölleri-

## Matsal Hareketlerine Göre Robot Şekilleri

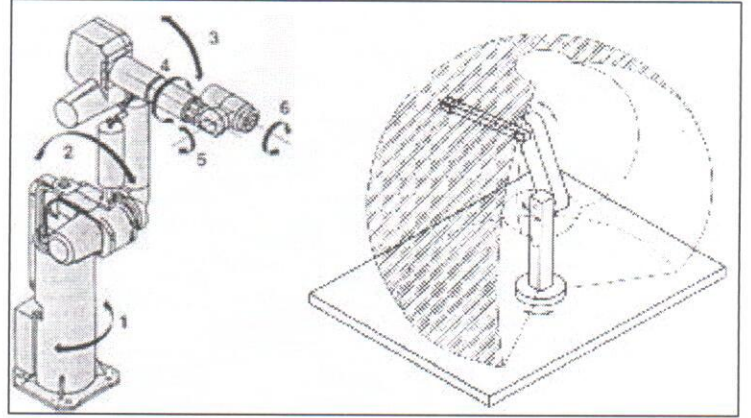
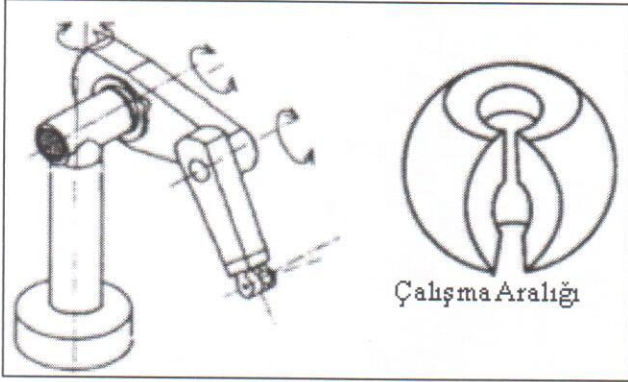
### Döner (Revolute) Robot

İnsan hareketlerini en iyi taklit edebilen robot tipidir. Bu tip robotta "anthropomorphic robot" da denir. Üç temel döner mattsaldan oluşmuştur: Bel kısmı, bel kısmı üzerinde bulunan omuz kısmı, omuz üzerinde bulunan dirsek kısmı. Mekanik kollar tipteki insanın dirsek ve eklemleri gibi kullanılır. ( ' ' ' )  
(Şekil aşağıda)

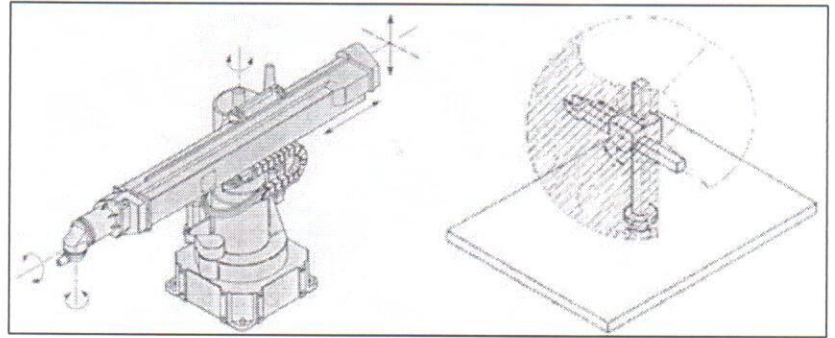
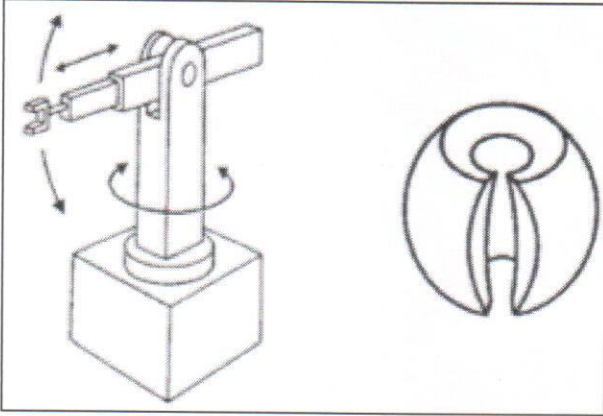
### Küresel Robot

Bu robot, taban üzerindeki bel kısmı etrafında (düşey eksen) etrafında döner. İkinci eksen yatay eksene göre yukarı - aşağı dönebilen mattsaldır. Bu iki kol bir küre tanımlar. Üçüncü serbestlik derecesi, kol iame yerleştirilen ve içeri - dışarı hareket etmeyi sağlayan prizmatik mattsal ile sağlanır. Kürenin yarıçapını prizmatik mattsal belirler. ( ' ' ' )  
(Şekil aşağıda)

Kutup koordinatları boyunca sağlanan hareket, birşeyi yakalamak isteyen robotta büyük bir üstünlük sağlar. Yükselip alçaklanarak (çok küçük ölçüde olsada) bilek hareketi yapabilmeyi başarır. İnsanda omuz ve kolları ile sağlanan hareketler ise robot kolunun yükselip alçaklanmasıyla sağlanır.



Döner Robot



Küresel Robot

## Silindirik Robot

Bu robot, bir taban üstünde düşey eksen etrafında dönebilen bir parça, bu parça üstünde bulunan prizmatik mafsala sahip bir yatay koldan oluşur. Yatay kol, düşey eksen etrafında dönerek bir silindirik tırmık. Robota silindirik dermesinin sebebi budur. Yatay kol üzerindeki prizmatik mafsala, tabana paralel olarak ileri-geri (içeri-dışarı) hareket edebilir. (Şekil aşağıda)

## Kartezyen Robot

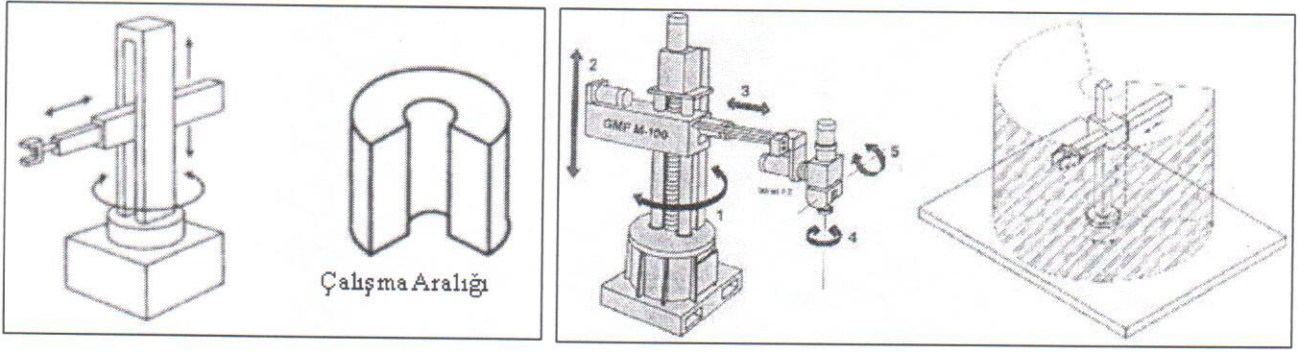
Yukarı-aşağı, sola-sağa ve ileri-geri olmak üzere kartezyen koordinatlarda hareket edebilir. Fazla tercih edilmez. (Şekil aşağıda)

## SCARA tipi Robot

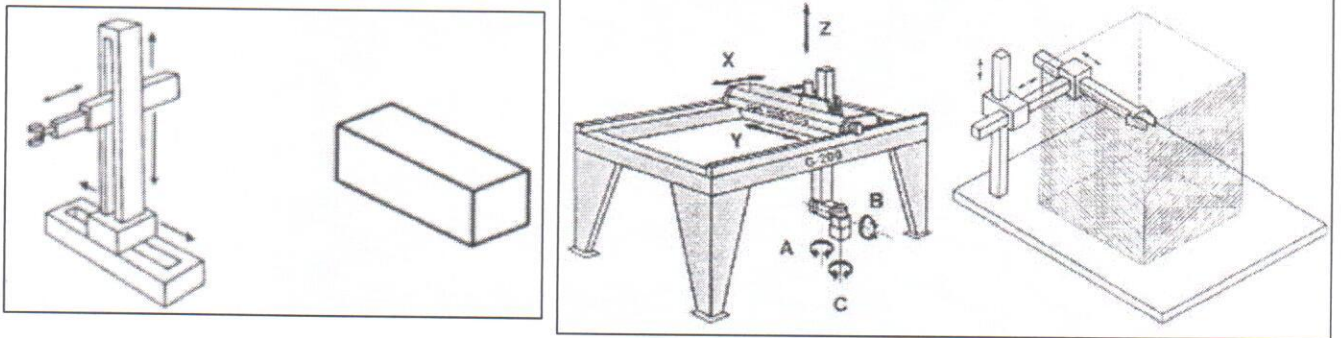
Yeni bir robot türüdür. (Selective Compliance Assembly Robot Arm - SCARA)

Yukarıda anlatılan robot türlerinin birleşmesiyle elde edilir. Döner ve silindirik robotun birleşiminden oluşur. Robotun döner mafsalları yatay düzlemde hareket sağlayan düşey eksenlere sahiptir. Mekanik yapıyı zorlamadığı için düşey eksenlerde kolayca dönebilme özelliğine sahiptir. Bu özellik yüksek hız ve hassasiyet açısından önemlidir.

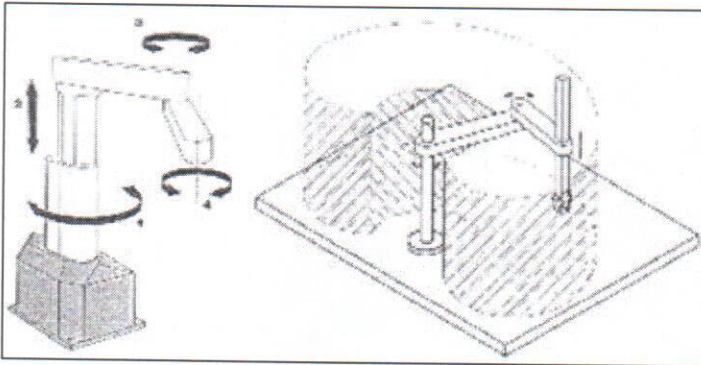
(Şekil aşağıda)



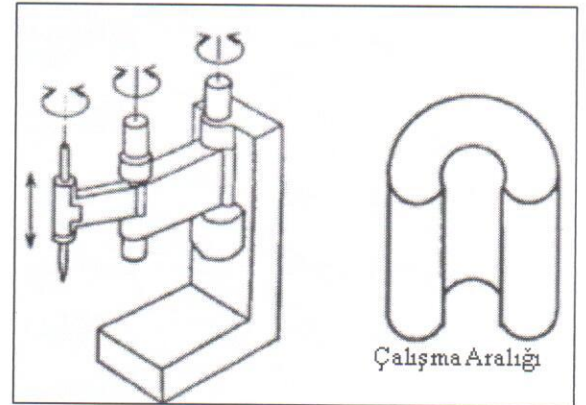
Silindirik Robot



Kartezyen Robot



SCARA Robot



## 2. Yol kontrolüne göre sınıflandırma

Robot yol kontrolünün iki temel türü vardır:

- Noktadan noktaya kontrol (point to point PTP)
- Sürekli kontrol (Continuous Path - CP)

Noktadan noktaya kontrolde, robot önceden karar verildiği şekilde her bir noktada, bir sonraki noktaya varabilmesi için duracak şekilde programlanır. Hareketin nokta grupları arasında kontrol edilmemesine rağmen robotun kinematik geometresine göre olarak hareket, robotun yolu boyunca kontrol edilir.

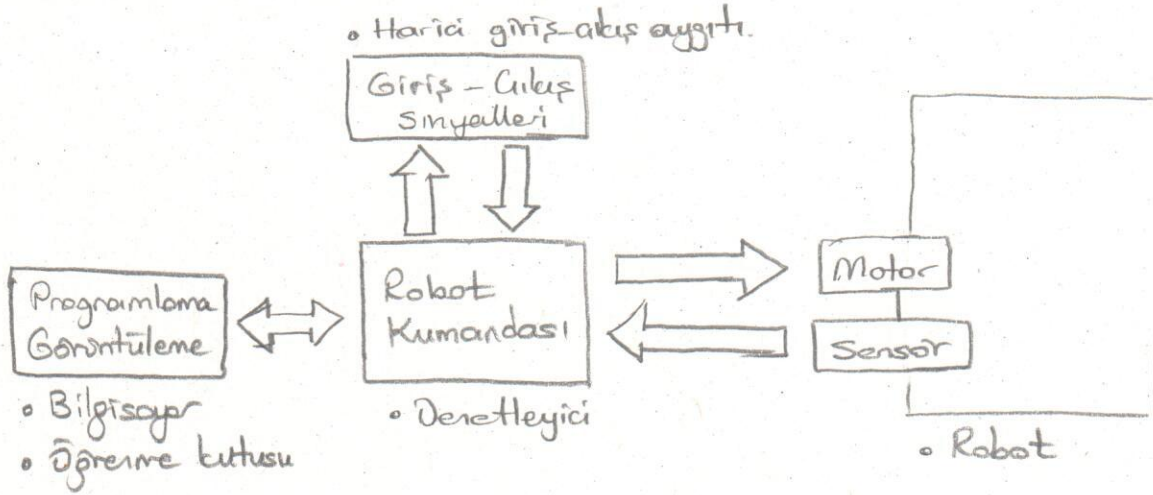
Sürekli kontrol altındaki robot, herhangi bir yolu doğru olarak izleyebilir. Noktadan noktaya kontrol edilen robot tekrar edilebilirlik ve doğruluk bakımından hassasiyetle kontrol edilir. Sürekli kontrol, programla tarif edilen yörünge boyunca düzgün bir hareket şeklinde yapılır. Fakat adım ölçümlerinin hesaplanmasında hata olduğundan %15-25 oranında hızda bir düşme olur. Bunda ekoremik olmasını engeller.

## 1.5 Robotun Sistem Organizasyonu ve Çalışması

Bir robotun hangi yapıya sahip olacağı, nasıl çalışacağı, uygun çalışma hacmi için nasıl bir robotun uygun olacağı; makine ve kontrol mühendisliği, analog ve dijital elektronik, bilgisayar bilimi, imalat işlemleri ve idari bilim gibi dallar ile ilgilidir.

Örneğin çevre ile ilgili elde edilen bilgilere dayalı olarak yapılacak işlemler uygulamalara uygun işlem biçiminin seçilmesi, süreç boyunca izlenmesi gereken yolların belirlenmesi ve planlanması endüstri mühendisliği ile ilgili bazı bilim dallarının alanına girer.

## 1.6 Robotun Bölümleri



Robotik sistem örneği

**Mekanik Yapı:** Ana gövdeyi, mekanik kolları ve iaine yerleştirilen aletleri kapsar. Mekanik yapı, robot kolları iain genelde beş ya da altı parçadan oluşur. ve insandaki karşılığına benzer. Koldaki parçalar iki eklemin arasında yer alan metal yapılardır. Robotikte bu metal yapılar "bağlantı parçaları" olarak adlandırılır.

Robotun erişebileceği tüm noktalardan oluşan uzaydaki hacme "çalışma uzayı" dır.

Robotun bağlantı parça sayısı ve dolayısıyla eklemin sayısı arttıkça fiziksel boyutları ve eklemin yapılarıyla belirlenen çalışma uzayındaki herhangi bir noktaya ulaşabilmesindeki esnekliği artır.

Bu esneklik yapının serbestlik derecesi ile orantılıdır. (Serbestlik derecesine daha sonra yerinden değinilecektir.)

Robot kolun bilekleri sonraki bölüme yapılacak olan işin niteliğine göre kaynak hamlacı, boyalı tabancası gibi bir alet yerleştirilir.

Kontrol sistemi: Sayısal elektronik devrelerinde oluşur.

Güç ünitesi: Robot kolun eklem yerlerini oluşturan parçaların birbirine göre hareketini sağlayan devredir. Elektrikli, hidrolik ya da pnömatik olabilir.

Algılayıcılar: Kolun yaptığı işin programlandığı gibi yapılıp yapılmadığını anlamak için kullanılır.

## 1.7 Robot Biliminde Kavram ve Tanımlar.

Düz kinematik: Sisteme etkileyen kuvvetleri hesaba katmadan doğrusal ve acusal hareketleri inceleyen bilim dalıdır. Kinematik, konum ve zamana bağlı hız ve ivmeyi ardışık fonksiyonlar olarak inceler. Robot kinematikinde kolun verilen amaçsal açılarına bağlı olarak uç koordinat sisteminin, referans koordinat sistemine göre konumu ve yönelimi hesaplanır.

Ters kinematik: Verilen konumları göre amaçsal değişkenlerinin bulunmasını kapsar. Ters kinematik, çözüm varlığı ya da yokluğu verilen bir kolun çalışma uzayını tanımlar. Sonuç yokluğu söz konusuysa kol istenilen konuma ulaşamaz.

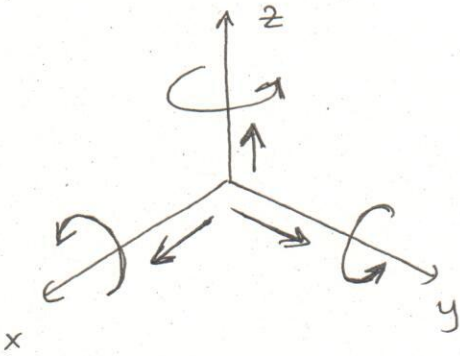
Dinamik: Hareketi sebep olan kuvvetleri hesaplar kadar. Bir kolun istenilen yolu takip edebilmesi için amaçsallara verilen momentler, dinamik denklemlerle edilir. Bu denklemlerin bir ikinci kullanım yeri simülasyon (benzetim) -dir.

Dinamik denklemler yerden düzenlenerek, kol momentlerinin uygulanması sırasında kolun nasıl hareket edeceği bilgisayar yardımıyla incelenir.

Yörünge Kontrolü: Bir kolun bir yerden bir yere, düzgün bir tarzda hareket etmesi için, hareketin zamana bağlı tanımı yapılmalıdır, değişimi bilinmelidir. Herbir maddesinin hareketinin nasıl hesaplanacağı yörünge kontrolü problemidir.

Serbestlik Derecesi:  
(DOF: Degree of Freedom)

Bir nesnenin yapabileceği bağımsız hareketlerin sayısı, serbestlik derecesidir. Serbest bir cismin uzaydaki hareketi üçü konumu ve üçü de yönelimi göstermek üzere altı serbestlik derecesi ile tanımlanır.



\* x-y-z eksenleri boyunca hareketler  $T_1, T_2$  ve  $T_3$  ötelemeleri ile

\* x-y, z eksenleri etrafında ki açısal hareketler  $R_1, R_2$  ve  $R_3$  dönme hareketleri olarak tanımlanır.

Üç dik eksen boyunca öteleme ve bu dik eksenler etrafındaki üç dönme, bir cismin durumunu; örneğin robotun ailesinin hacmindeki yeri ve yönelimini tam olarak tarif eder.

Kaldaki eklemlerin sayısı azaldıkça, kolun çalışma uzayı, bağlantı parçalarının fiziksel boyutları aynı kalsa bile, hacim olarak küçülür ve kolun uzaydaki herhangi bir noktaya ulaşabilmesindeki esnekliği azalır.

Esnekliğin yüksek seviyede olması için serbestlik derecesi sayısında yüksek olması isteriz. Bu tip durumlarda doğrusuz ya da on eklemlilik kol yapıları kullanılır. Serbestlik derecesinin artması robot kolun maliyetini artırır.