



OTOMASYON ve ROBOTİK

Ders Notları



Dr. Öğr. Üyesi SaİM KURAL

OTOMASYONA GİRİŞ

Otomasyonun Tanımı ve Gelişimi

- Çeşitli bilimsel, sınaî, tarımsal ve idarî işlerin yürütülmesinde, insan müdahalesini tamamen ya da kısmen ortadan kaldırmaya ve işlemlerin otomatik olarak yürütülmesine, otomasyon denilmektedir.
- Endüstriyel anlamda ise; işlem ve üretim kontrolünde mekanik, elektronik ve bilgisayar tabanlı sistemlerin birlikte kullanılması olarak da tanımlayabiliriz.
- Bir elektrikli fırının veya otomatik çamaşır yıkama makinesinin ısı ve yıkama programının ayarlanması, lüks bir markete veya otele girerken kapının otomatik olarak açılması örneklerinde olduğu gibi basit işlere uygulanabildiği gibi, kimyasal üretim amaçlı bir fabrikadaki işlemleri bilgisayarla ya da bir bankayı otomatik olarak yönetme (Bankamatik) veya Mars gezegeni üzerinde robot aracı dolaştırma gibi en karmaşık işlere de uygulanabilir.
- Sürekli olarak yeni tekniklerin kullanılması sonucunda gelişme gösteren otomasyon kavramı esas olarak üç ana gruba ayrılabilir:
 - Sabit Otomasyon,
 - Programlanabilir Otomasyon,
 - Esnek Otomasyon.

a. Sabit Otomasyon

- Sabit Otomasyon, sistemleri üretim hacminin çok olduğu, bir üretim veya otomasyon hattından sürekli tek bir ürün ya da işlem beklendiği durumlar için uygulanmaktadır.
- Bir sisteme müdahale etmeden çalıştırılan otomasyondur. Örneğin otomatik kapı açma, asansör, koridor lambaları vs.
- Bu tip otomasyon hatları, ara üründe hep aynı tür işlemlerin yapıldığı veya nihai ürünün konveyörlerle taşındığı, sıralandığı, paketlenildiği değişmeyen işlemler olarak diğer iki tip otomasyon sisteminin bir ara birimi de olabilmektedir.
- Bu tip uygulamalarda, üretim kapasitesi ve standardını artırmak amacıyla robotlar yaygın olarak kullanılmaktadır.

b. Programlanabilir Otomasyon

- Programlanabilir otomasyon sistemlerinde, daha sık olarak ürün veya işlem değiştirilebilmekte, her yeni değişime programlanabilen cihazların sağlamış olduğu program avantajı ile uyum sağlanabilmektedir.
- Bu tip uygulamalarda otomasyon sistemleri, birden fazla programı hafızalarında bulundurabilmeleri ve gerektiğinde bu programlar arasında geçiş yapabilmeleri sebebiyle, oldukça büyük görevler yapabilmektedir.

c. Esnek Otomasyon

- Günümüzde popüler çalışma gruplarından biri olan esnek üretim sistemlerinin kısa adı, FMS, (Flexible Manufacturing System)'dir.
- Birçok iş istasyonunun materyal işleme ve depolama sistemine bağlandığı, veri işleme ve değerlendirme işlemlerinin ağırlık kazandığı karmaşık algoritmaların etkin olduğu sistemlerdir.
- Burada ürün çeşitliliğindeki artışa kolay ve çabuk uyarlanabilme esası ön plandadır
- Bir otomasyon sistemine yüklü bulunan programlar, sistemi denetlemekte olan programlanabilir cihazlarla otomatik olarak aktif hale getirilebilmektedir.

Otomasyonun Tarihçesi

- M.Ö. 3200 Tekerleğin bulunması
- M.S. 650 Yel değirmeni
- 1100 yıllarında Cizreli Eb-ül-iz (**El-Cezeri**) (2000 yılına doğru sibernetik, Toygar Akman)
- 1787 Buharlı tekne
- 1800 Programlamanın ilk örneği Jacquard loom dokuma makinesi
- 1803 Buharlı tren
- 1881 Elektrik
- 1913 Hareketli montaj hattı
- 1930 -1940 Kontrol sistem teorisinin geliştirilmesi
- 1944 MARK I elektromekanik bilgisayar (Harvard Üniversitesi)
- 1946 Del Harder'ın otomasyon kelimesini kullanması
- 1946 İlk dijital bilgisayar (Pennsylvania Üniversitesi, ENIAC)
- 1952 İlk sayısal kontrol makine (MIT'de)

Otomasyonun Tarihçesi

- 1954 İlk endüstriyel robot (George Devol)
- 1955 FORTRAN bilgisayar programlama dili
- 1960lar İlk esnek üretim sistemi (Ingersoll Rand Company)
- 1969 İlk Programlanabilir Kontrolör
- 1969 UNIX işletim sistemi
- 1971 Mikroişlemci
- 1978 İlk ticari bilgisayar PC (Apple Computer)
- 1984 RAM (rasgele erişim bellek)
- 1985 Microsoft Windows
- 1990 MB kapasitesinde bellek ve World Wide Web
- 1993 Pentium işlemci
- 1995 Java programlama dili, Mars Pahfinder, Web araması
- 2000ler Segway kişisel taşıyıcı, robotik ev süpürgesi, iPod, akıllı telefonlar, Mars Lander, sosyal robotlar...

El-Cezeri Kimdir?

- El-Cezeri, çağımızdan yüzlerce yıl önce keskin zekası ile elektrik kullanmadan sadece su ve mekanik parçalarla çalışan makineler yapmış ve günlük hayata geçirmiş olağanüstü bir bilim insanıdır.
- Tam ismi, Cizreli Ebul-iz (Ebû'l İz İbni İsmail İbni Rezzaz El Cezerî) ya da Avrupa'nın bildiği ismiyle El-Cezeri / al-Jazari (Ibn İsmail ibn al-Razzaz al-Jazari Arapça: أَبُو الْعِزْرِ بْنِ إِسْمَاعِيلِ بْنِ الرَّزَّازِ) olan bu mucit bundan 800 küsur yıl önce (1136-1206) yılları arasında yaşadı.
- Her zamanki gibi biz kendi bilim adamımızı tanımazken yurtdışında bilimsel kürsülerde ve tüm bilgisayar / siberetik kitaplarında su mekaniği referanslarında yer alıyor.
- Artukoğulları Güneydoğu Anadoluyu fethederler. Şimdiki Cizre'de buluşlar yapan Abdülaziz İsmail bin Razzaz başkent Diyarbakır'a çağrılır. Yirmi beş yıl boyunca üretir ve üretir. Hükümdarların büyük takdirini toplar ve hükümdar (Eb'ül Feth Mahmut İbn-i Mahmet İbn-i Karaaslan) tarafından bu kitabı yazmakla görevlendirilir.
- Verimli hayatının büyük başarılarına karşın son derece alçakgönüllü bir üslubu olan Eb-ül-iz 1183 yılında başlayıp 25 yıl süren icatlar kataloğunu o zamanlar resmi dil olan Arapça ile yazar. Bu kitabın üç nüshası kütüphanelerimizde 800 yıl durur ama bir kişi çıkıp uygulayıp teknoloji çağına hem bizim hem dünyanın belki 500 yıl önce girmesini sağlayamaz. Geçte olsa Avrupalılar tarafından yine de bizden önce keşfedilir. Otomatik Makineler tarihinde "Çağın Doruğuna Erişmiş Büyük Mühendis İbni Rezzaz El Cezerî adıyla saygıyla anılır.

- Neden buluşları bu kadar önemlidir? İlk olarak mekanizmalar zamanının çok ötesindedirler. Enerji kaynağı , yönetim mekanizması ve feedback (geribesleme) sistemlerinin tümünün su, buhar gücü ve havanın itiş gücü ile yapılmış olması çağı için mucize gibidir.
- Üstelik tüm buluşlar insanımsı , estetik değerlere sahiptir. Ayrıca buluşları hayal ürünü değildir. Alman Profesörü Widemann tarafından tekrar üretilip çalıştırılmışlardır. (Erlangen Üniversitesi)
- Çağın Harika Bilgini (Bedi-ül Zaman Abdulaziz İbn-i al-Razzaz al Cesari.) lakaplı Eb-ül-iz 'in kitabının kendisi kayıptır ama kopyaları, Topkapı Sarayı Üçüncü Ahmet Kütüphanesi (iki elyazması) ile Ayasofya Kütüphanesinde bulunur. (66 sayfası çalınmış olarak)
- Daha sonra Kültür Bakanlığı bu kopyadan “Olağanüstü Mekanik Araçların Bilgisi Hakkında Kitap” adında 3000 adet tıpkıbasım kitap basmıştır. (ISBN 975-17-0698-X Kültür Bakanlığı - 1990). Kitabın Türkçe çevirisi ise Sevim Tekeli tarafından hazırlanarak Türk Tarih Kurumu Yayınları başlığında 9751614473 numara ile basıldı.

Kitabın online versiyonu için «<http://www.ebuliz.com/ebuliz22.swf>» adresini ziyaret edebilirsiniz

- Kitapta yer alan çalışmalar ise şu şekilde sıralanabilir:
 - Kesilip akan fıskiyeler, otomatik olarak saz ve düdük alan makineler,
 - Su saatleri,
 - Otomatik kaplar, insan ve hayvan şeklindeki makineler,
 - Su akıtan makineler,
 - Akarsu ve kuyulardan su çıkaran makineler,
 - Sarayda çeşitli hizmetlerde kullanılan makineler,
 - şifreli kilitler.
- El-Cezeri için TRT tarafından hazırlanan kısa belgesele göz atalım,



- Otomasyonun başlıca bileşenleri; bilgi vericiler ve algılayıcılar, etkileyiciler, bunların güç yükselteçleri ve bilgi işlem organlarıdır.
- Burada bahsi geçen bilgi işlem organlarından anlatılmak istenen, bilgisayarlar ve mikroişlemcilerdir. Bu bileşenlerin yapısı, göz önüne alınan otomatik denetim sisteminin yapısına bağlıdır.
- Günümüzde yarı iletken teknolojisindeki sürekli gelişim, otomasyon sektöründe de kendini göstermektedir.
- Programlanabilir kontrol modüllerinin boyutları küçülürken, işlem fonksiyonlarının hızları artmakta ve çok kullanışlı program paketleri ile desteklenmektedir.
- Her çeşit programlama parçalarının ve sistemlerin artarak kullanımı, Bilgisayar Kontrollü Takım Tezgahlarının (CNC- Computer Numerical Control), robotların, bilgisayarların, Bilgisayar destekli tasarım / Bilgisayar destekli üretim sistemlerinin, esnek üretim sistemlerinin (FMS) ve bilgisayar-entegreli üretim sistemlerinin (CIMS - Computer Integrated Manufacturing Systems) birleşmesiyle, üretim tamamen ve köklü olarak değişmiştir.

- Otomasyonun insan gücü istihdamı üzerindeki etkileri olumsuzdur.
- Hayatımızı kolaylaştıran, üretimi artıran, tehlikeli ve pis işlerimizi üstlenen otomasyon sistemleri, yüzyılımızın en önemli kavramlarından birisi haline gelmiştir.
- Ancak işlerin otomatik olarak yürütülmesi, o iş sahasında çalışan işçilerin sayısının azaltılmasına neden olabilmektedir.
- Örneğın Fransa'da sentetik tekstilde kullanılan otomasyondan ötürü, üretimde herhangi bir düşüş olmadığı halde, ücretli işçi sayısı birkaç yılda %300 oranında azalmıştır.
- Fakat bu olaydan işsizliğin önüne geçmek için, otomasyon sistemlerinden vazgeçilmesi çıkartılmamalıdır.. İşsizlik problemine, yeni iş alanları geliştirilerek çözümler getirilmelidir.

Grup Teknolojisi

- Bilgisayar ağlarının geliştirilmesi sonucunda, yapılan işlemler yalnız bir bilgisayara değil, birden çok bilgisayara yaptırılmaya başlanmıştır.
- Bilim adamları, arılar ve karıncalar arasında gerçekleştirilen iş bölümünü otomasyona uyarlamaya çalışmışlardır.
- Bilgisayar ağlarında olduğu gibi birbirleriyle de haberleşebilen otomasyon ağları kurulmaya başlanmıştır.
- Birden fazla otomasyon sistemlerinin bir arada çalıştırılmasıyla grup teknolojileri oluşturulmuştur.
- İlk kullanılan otomasyon sistemlerinde veriler, denetim birimlerinde hesaplanırken, oluşturulan yeni yapıda, farklı işlerden sorumlu denetim birimleri mevcuttur.

Otomasyon Sistemlerini Oluşturacak Parçaların Genel Özellikleri

- Bugüne kadar geliştirilen otomasyon sistemlerini iki başlık altında toplamak mümkündür. Bunlar; heterojen ve homojen sistemlerdir.

a. Heterojen Sistemler

- Heterojen sistemler, birbirinden farklı yapıdaki elemanlardan oluşur.
- Bu sistemi, hareket edebilen birden fazla otomasyon işlemlerinden oluşan bir bütün olarak düşünebiliriz. Yani parçalar tek bir gövde oluşturmamaktadır.
- Heterojen sistemlerinde otomasyonu oluşturan parçalar birbirinden bağımsız olarak hareket ederler ve kendilerine verilen görevi yaparlar.

b. Homojen Sistemler

- Birbirinin tıpatıp aynı parçalardan yapılması fikri, 1950 yıllarında geliştirilmiş ve günümüze kadar gelmiştir.
- Belirlenen esaslara göre kendi kendini oluşturan sistemde, elemanlar birbirinin muhakkak eşleniği olmak zorundadır.
- Bu düşüncenin sonucunda günümüzde homojen parçaların her birinde diğer parçalarla birleşme, bağlantısını koparabilme ve aynı zamanda değiştirebilme özelliği aranmaya başlanmıştır.
- Homojen parçalardan oluşan sistemlerde birbirinin aynısı olan parçalar, hata riskini azaltmaktadır.
- Heterojen parçalar, istenen her şekilde düzenlenemeyeceği için hata yapma riskleri çok fazladır.
- Homojen bir sistemde ise, parçalar birbiriyle olan bağlantılarını değiştirerek, kolayca istenen şekli almaktadır.
- Aynı zamanda homojen sistemler, istenilen ortama uygun şekilde yapılandıkları için, seri üretimde oldukça başarılı bir şekilde kullanılmaktadır.

- Johns Hopkins Üniversitesi'ndeki araştırmacılar Mekatronik (mekanik-elektronik) parçalar adını verdikleri parçaları, bir araya getirerek metamorfik robotları oluşturmuşlardır.
- Metamorfik robotların en büyük özelliği, parçalarının şekil değiştirirken bile, birbirleriyle bağlantılarını asla koparmamalarıdır.
- Diğer özelliklerini sıralayacak olursak;
 - Robotu oluşturan parçalar, aynı fiziksel özellikleri taşıyacak şekilde tasarlanmıştır. Bu şekilde, yapılacak olan işlerin planlanmasında tek bir yaklaşım yeterli olabilmektedir.
 - Parçaların şekli, bir araya geldiğinde hiçbir boşluk kalmayacak şekilde tasarlanmıştır.
 - Her parça, parçalar üstünde hareket edebilecek kinematik özgürlüğe sahiptir.
 - Parçalar, birbirlerine yapıştıklarında tek bir nesne gibi hareket ederek çalışmasını sürdürebilmektedir.





Parçalar Arası Haberleşme Sistemi ve Önemi

- Yapılarını düzenleyebilmek için, robotların parçalarını yeni oluşturulacak şekle göre düzenlemeleri gerekmektedir.
- Yani, parçalar, buldukları konumdan başka bir noktaya gidebilmek için bütün sistem hakkında bilgi sahibi olmak zorundadır.
- Parçanın sahip olduğu bilgi, yani yazılımı, canlılarda hücrelerin sahip olduğu DNA molekülleriyle aynı görevdedir.
- Ancak parçaların sistem hakkında bilgi sahibi olması yeterli bir şart değildir.
- Bulunulan ilk noktanın ve gidilecek son noktanın bilinmesi de çok önemlidir.
- Bunun yanı sıra parçaların belli bir düzen içinde hareket etmesi büyük önem taşır.
- Bu amaçla parçaların birbirleriyle sürekli iletişim halinde olması gerekmektedir.

- İletişim, haberleşme demektir. Haberleşme sistemlerinin özelliklerinden bazıları aşağıda verilmiştir

a. Uyumluluk

- Sistemin aksamadan hareket etmesidir. Hat üzerinde bir robot kolunun işini tamamladıktan sonra diğer elemana görevini yaptığına dair elektriksel veya farklı yöntemlerle işaret gönderilir, buradaki farklı işaretler mekanik, görüntü, ses şeklinde olabilir.

b. Zaman

- Her parçanın yapabileceği görev süresidir, bir elektromekanik sistemde motorun dönme hızı frekans ile değiştirilebilir veya bir algılayıcının bir sürücüye işaret gönderme süresi yapıya bağlı olarak değişebilir, sistemin uyumlu çalışabilmesi işaret sürelerine ve yapının çalışma süresine bağlıdır.

c. Güvenilirlik

- Sistemin güvenli olarak çalışmasıdır, robotların güvenli çalışabilmeleri için geri besleme bildirimlerinden faydalanılır. Sistemde uyumlu çalışmanın aksadığı durumlarda güvenilirlikten bahsetmek mümkün değildir. Geri beslemeden elde edilen işaretler ile sistemin istenilen düzeyde çalışıp çalışmadığı denetlenebilir.

d. Boyutların Değiştirilebilmesi

- İletişim ağı, diğer bilgi ağlarıyla bağlantı kurabilecek ve onları kesecek özelliklere sahip olmalıdır. Örneğin, sistemin belli bir bölümü zarar gördüğünde o bölge ile olan iletişim kesilebilmelidir. Ayrıca bir hattın kapatılması veya bir hat ilavesi gerekebilir, bu durum göz önünde bulundurularak sabit bir yapı değil de modüler bir yapı oluşturulması uygun olacaktır.

e. Görevlerin Yerine Getirilmesi

- Yapılacak iş, bir gruba dağıtıldığında, elemanların hiçbirisi kendi görevini yerine getirirken, diğerlerinin de görevlerini yerine getirmesini engellememelidir.

f. Görevlerin Birbirini Tamamlaması

- Bir grup içinde, her eleman kendi üzerine düşen görevi yaptığında, görevlerin tümü belirli bir işin yapılmasını sağlamalıdır. Örneğin yürürken, her bacağın görevi ileri doğru atılmaktır. Ancak yapılan iş, her bacağın sırayla ileri doğru atılmasıyla oluşan uyumla belirli bir tempoda yürümektir. Yapılan iş, sabit bir merkezden yönetilmeyip, birkaç noktadan kontrol edildiğinde, her birim kendi görevini yerine getirmeye çalışacağından verimlilik artacaktır.

Otomasyon Prensipleri

- Günümüz çağdaş teknolojisi “çok üretkenlik ve ucuza üretmek” prensibini esas almaktadır. Otomasyonun temel ilkelerine değinirken bu hususları göz önünde bulunduracağız.
- Otomasyonun temel ilkelerini aşağıdaki sıra ile inceleyeceğiz:
 - Kavramlar ve Açıklamalar,
 - Seçim Kriterleri,
 - Devre Diyagramını Oluşturmak,
 - Bilgisayarın Yeri ve Programlama Teknikleri.

Kavramlar ve Açıklamalar

- Otomasyon sistemleri; hidrolik, pnömatik, elektrik vb. diğer araçlarla tahrik edilirler. Sistemin tahrik edilmesi için kullanılan araç tipi ne olursa olsun, hemen hemen tümünde en sık karşılaşılan kavramlar kuvvet, basınç, iş ve güçtür.

a. Kuvvet

- Newton'un ikinci kanununa göre kütlenin ivme ile çarpımı kütleye uygulanan kuvveti vermektedir. Bu kanundan yola çıkarak robottaki bir kola hareket sağlayan bir elektrik motorunun ne kadarlık güce ihtiyacı olacağını hesaplayabiliriz.

$$F = m.a \quad (\text{Newton}) \quad N = \frac{\text{kg}}{\frac{m}{s^2}}$$

- Bu durumda, 1 kg'lık kütleyi hareket ettirebilmek için 1 m/s²'lik ivme kazandıran kuvvet 1 Newton (N)'dur.

b. Basınç

- Kuvvetin kaynağı ne olursa olsun birim yüzeye dik olarak etki eden kuvvetin birim alana düşen miktarına basınç (P) denir

$$P = \frac{F}{S} \quad (\text{Pascal}) \qquad Pa = \frac{N}{m^2}$$

- Bu durumda, 1 m²' lik bir yüzeye 1 N'luk bir kuvvetin dikey olarak etkisiyle oluşan basınç 1 Pascal (Pa)'dır.

c. İş

- İş, bir cisme uygulanan kuvvetin cisimi hareket ettirmesidir.

$$W = F.d \quad (\text{Joule}) \qquad J = N.m$$

- Bu durumda, 1 N'luk bir cismi, kuvvet doğrultusunda 1 m öteye götürmesi için yapılan iş 1 Joule (J)'dür.

d. Güç

- Belli bir işi yapabilme hızıdır.

$$P = \frac{dW}{dt} \quad (\text{Watt}) \qquad W = \frac{N.m}{s}$$

- Bu durumda, 1 s'de yapılan 1 Joule'luk iş 1 Watt'tır.

Seçim Kriterleri

- Otomasyon sistemlerinde kuvvet, hareket miktarı, zaman ve hız, bir işlemin yerine getirilmesinde en önemli kavramlar arasında yer alır.
- Otomasyon sistemlerinin çalışması ve planlanması safhasında bu kavramlar göz önünde bulundurulmalıdır.
- Otomasyonun bir safhasında hangi seçim kriterlerinin daha öne çıkacağı ve hangilerinin ihmal edileceği, tamamen otomasyon sisteminin tasarımına bağlıdır. Bazı otomasyon sistemlerinde zaman çok önem arz ederken, diğer bir otomasyon sisteminde kuvvet ön plana çıkabilir.
- Seçim yaparken aşağıdaki 4 kriter göz önünde bulundurulur.
 - Kuvvetin değişimi (Piston hareketleri, Bir motordaki akım veya gerilim değişimi),
 - Hareket miktarının değişimi (Sistemin hızlanması veya yavaşlaması),
 - Zaman (Otomasyon süresi),
 - Hız.

Devre Diyagramını Oluşturmak

- Bir devrenin (tasarımı) oluşumu için iki temel yöntem vardır:
 - Sezgisel yöntem ya da deneme yanılma yöntemi,
 - Kural ve esaslara göre devre diyagramının metodik tasarımı.
- Kullanılan yöntem şayet metodik ise, sistemi tasarlayan kişinin kişisel etkisi oldukça azalır. Fakat deneme yanılma yönteminde metodik yöneme nazaran kişi deneyim sahibi olmalı, sezgileri de kuvvetli olmalıdır.
- Eskiden ağırlık, ucuz çözümlere verilirken, bugün çalışma güvenilirliği ve bakım kolaylığı olan, kolay anlaşılır devre düzeneklerine önem verilmektedir. Buradan çıkardığımız sonuç ise diyagramın oluşturulmasında kullanılan yöntemin metodik olmasıdır. Bu yöntem kullanılarak, sistem; kişisel kabiliyet, psikolojik düşünme ufku gibi etkenlerden bağımsız kurulacaktır.

Bilgisayarın Yeri ve Programlama Teknikleri

- Bilgisayarın otomasyondaki önemini anlatmaya gerek yoktur. Çünkü her alanda olduğu gibi bilgisayar, otomasyonda da vazgeçilmez bir araç konumuna gelmiştir.
- Otomasyon sisteminde kullanılan parçaların sevk ve idaresi için en uygun bir yazılımın kullanılması hedeflenmelidir.
- Yazılım ile donanım birbirleriyle uyum halinde bulunmalıdır.
- Son yıllarda ortaya çıkan otomasyon sistemlerinin önemli bir bölümü, artık tamamen bilgisayar ile sevk ve idare edilmektedir.

Parça ve Malzemelerin Otomatik Olarak Taşınması

- Sanayinin hemen hemen tüm dallarında parça ve malzemelerin taşınması söz konusudur.
- Sanayide, birçok değişik taşıma sistemleri kullanılır. Bu taşıma sistemlerinin bazıları çok ilkel olabileceği (sırtta malzeme taşınması) gibi, tamamen bir bilgisayar tarafından sevk ve idare edilen bir robot tarafından yapılan taşımalarda olduğu gibi çok modern yapıya da sahip olabilir.

Malzemelerin Otomasyon Sistemleri ile Taşınmasının Faydaları

- Malzemelerin otomasyon sistemleri ile taşınmasının faydaları sıralanmakla bitmez. Burada sadece bazı çok önemli faydalar üzerinde durulacaktır:
 - Parçaların Zarar Görmemesi,
 - Sağlıklı ve Güvenli Taşıma,
 - Parçaların Yerinin Dikkatli Tayin Edilmesi,
 - Yeterince Hızlı Transferin Yapılması,
 - İnsan Gücünün Az Kullanılması,
 - Büyük Taşıma Kapasiteleri.

a. Parçaların Zarar Görmemesi

- Otomasyon sistemi ile taşınan bir malzemenin taşınırken zarar görmesi, az rastlanan bir olaydır. Halbuki insan gücü ile taşınan bir malzemenin çok ağır olması durumunda, insanın o malzemeyi düşürmesi ve kırması her an söz konusu olabilir.

b. Sağlıklı ve Güvenli Taşıma

- Bazı yerlerdeki malzemelere yaklaşmak, insan sağlığı için tehlike arz edebilir. Örneğin taşınacak parça radyoaktif ışınlar yayabilir. Bu tür yerlerde otomasyon sistemlerinden faydalanmak elbette ki en doğru olanıdır.

c. Parçaların Yerinin Dikkatli Tayin Edilmesi

- Otomasyon sistemleri, kendilerine önceden öğretilen işlerin dışında iş yapamazlar. O nedenle aldıkları bir parçayı, her defasında nereye koymaları gerekiyorsa oraya götüreceklerdir. Oysa taşıma işlemi insan aracılığı ile yapılıyorsa, bir yerden aldığı bir parçayı her defasında milimetrik olarak aynı yere koyması mümkün olmayabilir. Çünkü, orada insan iradesi işin içerisine girer.

d. Yeterince Hızlı Transferin Yapılması

- Örneğin meşrubat fabrikalarında bantlı sistem üzerinde şişeler belirli bir hızda yürürken, bir taraftan da doldurma ve kapaklama işlemi yapılabilmektedir. Bu işlerin insan tarafından aynı hızla yapılması asla mümkün değildir.

e. İnsan Gücünün Az Kullanılması

- Makineleşme sayesinde insan gücünden faydalanmak gün geçtikçe azalmakta, insan gücü boşuna harcanmamış olmakta, insanlar daha az yorulmaktadır.

f. Büyük Taşıma Kapasiteleri

- Otomasyon sayesinde taşıma kapasiteleri çok artmıştır. Limanlarda büyük vinçlerin kaldırdığı yükleri düşünecek olursak, o yükleri insan gücü ile kaldırılmanın mümkün olamayacağını hemen anlarız.

Çeşitli Taşıma Sistemleri

a. Paletler

- Otomasyon sistemlerinde paletler sıkça kullanılır. Taşınacak parçalar palet üzerine yerleştirilir.
- Farklı tip paletlerin özellikleri aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Palet Tipi	Hassasiyet (mm)	İşleme Maliyeti	Palet Başına Montaj Maliyeti
Vakumla Biçimlendirilmiş Plastik	± 0.5	Orta	Çok Düşük
Enjeksiyonla Dökülmüş Plastik	± 0.254	Yüksek	Düşük
Fabrikada İşlenmiş Metal	± 0.0254	Çok Düşük	Yüksek
Döküm Metal	± 0.254	Yüksek	Düşük

- Paletli taşıyıcılar genelde elektrik motorları ile tahrik edilir. Hızlarını ayarlamak için redüktör dişliler veya hızları ayarlanabilen elektrik servo motorları kullanılır.
- Paletli taşıyıcı üzerinde parça olduğunu algılamak için palet sisteminin bir yanına ışık, karşısına ise bir algılayıcı konulur. Palet üzerindeki parça ışık ile algılayıcı arasında girdiğinde, parçanın geldiği anlaşılacak, paletli taşıyıcı otomatik olarak durdurulur ve parça diğer bir işleme tabi tutulur.

b. Bantlı Taşıyıcılar

- Bantlı taşıyıcılar ile paletli taşıyıcılar birbirine benzerdirler. Bantlı taşıyıcılarda, lastikten yapılmış uzun bir bant iki tambur etrafına sarılır. Tamburlar döndükçe, lastik bant da birlikte döner.
- Bantlı taşıyıcılarda, tamburlara hareket vermek için kayış-kasnak sistemleri kullanılır. Paletli sistemden farkını ayırt etmek için, bir tankın paletlerini örnek gösterebiliriz
- Bantlı taşıma sistemlerinin en yaygın görüldüğü yerler arasında havaalanları gelmektedir. Hava alanlarında yolcuların bavul ve eşyaları, uçaktan indirildikten sonra, yolcu çıkış bekleme salonuna bantlı taşıyıcı
- üzerinde gönderilir.
- Bantlar, genelde kauçuk veya lastik malzemelerden yapılır.

c. Konveyörler

- Konveyörler, ağaç vidası prensibine göre çalışırlar. Nasıl ki ağaç vidası, sağa döndürüldükçe tahta içerisinde ilerliyorsa, konveyörler de bu esasa göre çalışırlar.
- Bir mil etrafına metal kanatlar spiral şeklinde kaynak edilir. Mil iki ucundan rulmanla yataklanır. Bu yataklama sayesinde mil ve üzerindeki spiral kanatlar birlikte dönerler.
- Metal kanat boşlukları arasında bulunan malzeme, milin dönmesi ile ilerler. Bu tür bir taşıma, otomasyonda klasik tip grup içerisine girer.

d. Elevatörler

- Elevatörler, düşey yönde taşımacılık yapıldığında kullanılır.
- Düşey yönde iki tambur üzerine yerleştirilen bant üzerine kovalar tutturulur. Kovalar, içerisindeki malzemeleri yukarı taşıyarak boşaltır.

e. Hidrolik Taşıma

- Su kullanılarak ürün taşındığı sistemlerdir.
- Örneğin Amerika Birleşik Devletleri'nde toplam uzunluğu 450 km'yi aşan hidrolik sistemde, dağın dibinden çıkarılan kömür parçaları, su içerisine karıştırılarak pompalarla kilometrelerce öteye pompalanmaktadır.

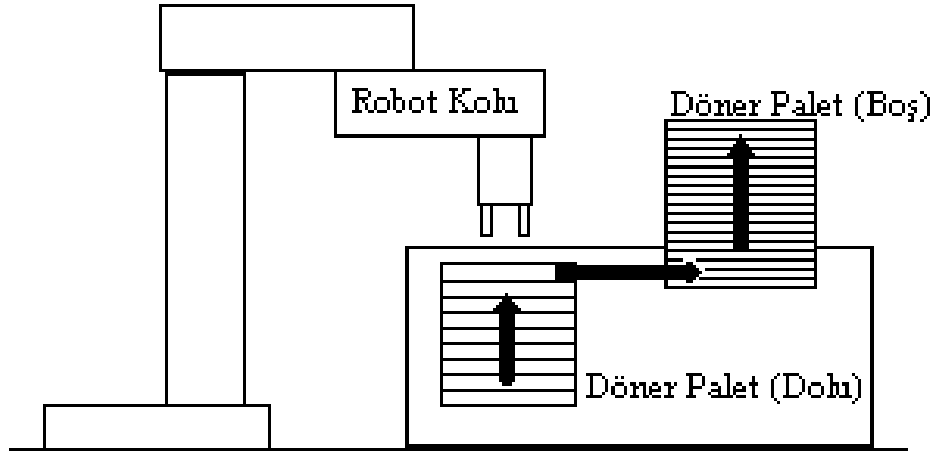
f. Pnömatik Taşıma

- Bir malzemenin bir noktadan diğer bir noktaya taşınmasında kullanılan sistemlerden biri de hava basıncıdır.
- Sanayi tesislerinde kullanılan taşıma sistemlerinin büyük bir kısmında pnömatik sistemlerden yararlanılır.
- Otomasyonda kullanılan birçok valf, pnömatik olarak tahrik edilir.
- Bu sistemleri *basınçlı hava* ile çalışan sistemler ve *vakumla* çalışan sistemler olmak üzere iki kısımda incelemek mümkündür.

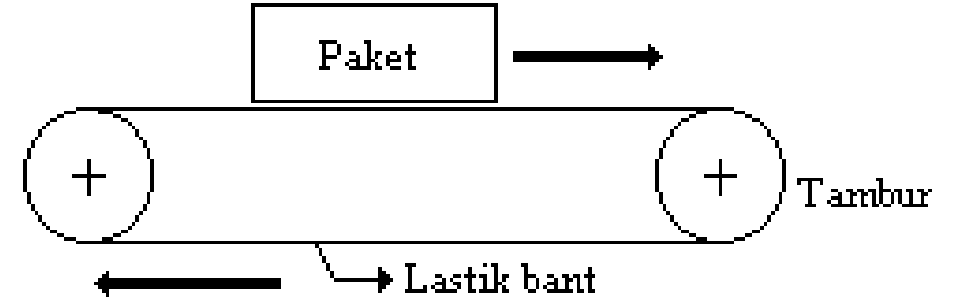
- Vakum Yoluyla Malzeme Naklinin Avantajları şöyle özetlenebilir:
 - Çok kolay bir taşıma yöntemidir.
 - Güvenilir ve ekonomiktir.
 - Az yer işgal eder.
 - Hızlı ve sağlıklı bir taşıma yöntemidir.
 - İşletmelerde verimliliğin artmasını sağlayan bir yöntemdir.
 - Yeni taleplere paralel olarak değişiklikler yapılabilir.
 - Servisi ve bakımı kolaydır.
- Vakum Yöntemiyle Taşınan Malzemeler:
 - Alçı, baharat, barut, çay, çimento, deterjanlar
 - Kahve, kum, kaya tuzu, mika, peynir tozu, şeker
 - Tuz, tahıllar, talaş, un vb.

g. Askılı Taşıyıcılar

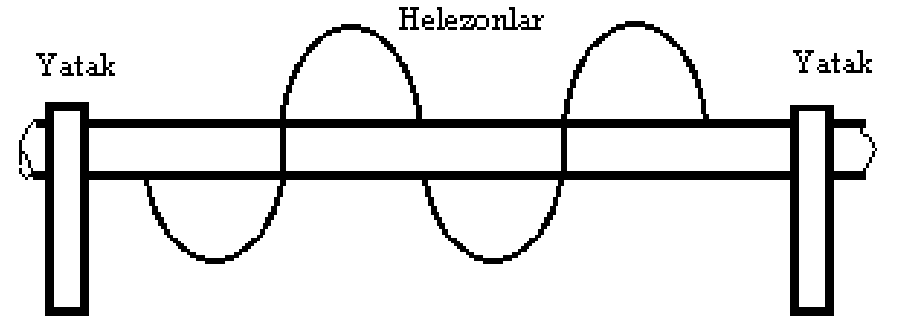
- Telli, C-raylı ve I-kirişli olmak üzere üç ayrı çeşidi bulunan askılı kablo taşıma sistemleridir.
- Telli tipi kısa genişlikler ve düşük hızlar için ekonomik olup en fazla 6 kg yük taşır.
- C-raylı tipi, 100 m/dk hıza ulaşabilir ve 30 kg'a kadar yük taşıyabilir.
- I-kirişli sistemde ise sıralanmış askılar ile ayarlanabilir genişlikler mümkün olduğundan, taşıma kapasitesi 50 kg'a kadar ulaşabilir.



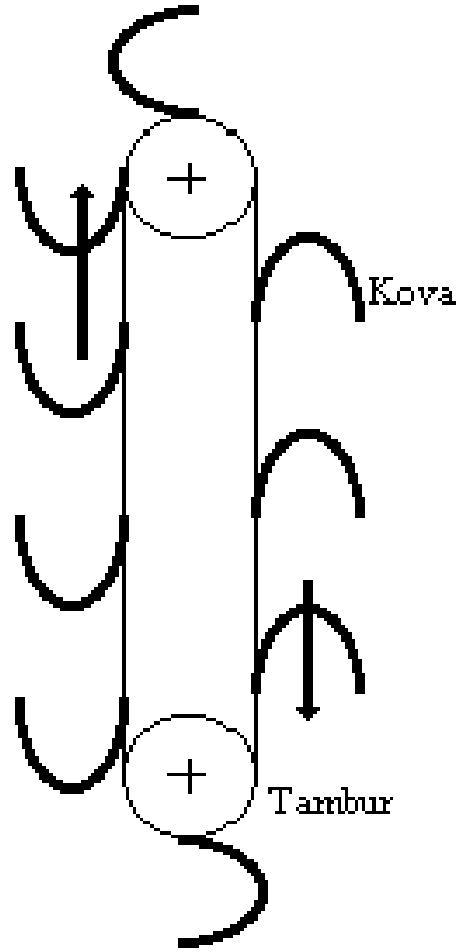
Paletli Taşıma Sistemi



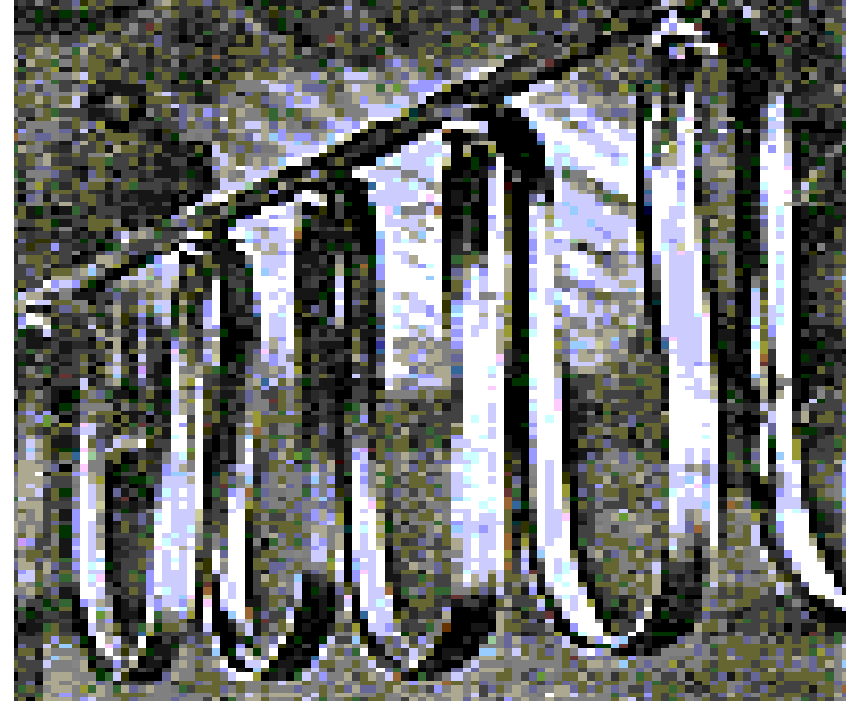
Bantlı Taşıyıcı Sistemi



Helezon Konveyör Sistemi



Elevatör Taşıma Sistemi



Askılı Taşıyıcılar

Otomasyonla Taşımada Algılama Sisteminin Önemi

- Zeki otomasyon sistemlerinin; görsel, dokunsal (tactile), kuvvet (tork) ve diğer tip algılayıcılardan gelen geri beslemeye dayanan hareket kontrolüne ihtiyacı vardır. Çünkü ileri teknolojiye dayanan otomasyon sistemlerinin kesin, doğru ve zengin bilgiye ihtiyaçları vardır.
- Eskiden beri görsel sistemler, otomasyonda çeşitli uygulamalarda kullanılıyordu. Özellikle son yıllarda, görsel sistem, yeni geliştirilmiş akıllı robotlarda en temel algılayıcı olarak görülmektedir.
- Otomasyon uygulamalarında görsel sistemin başlıca görevleri;
 - Hedef cisimlerin tanınması,
 - Ortam analizi ve yörünge saptanması (Hareketli robotlar için),
 - Optik akıştan hareket çıkarımı,
 - Bileşenin görsel muayenesi,
 - Görsel mesafe veya derinlik ölçümleri,
 - Hedef cisimlerin pozisyon ve oryantasyonlarının saptanması,
 - Son-etkileyicinin görsel servo kontrolü.

- Bu listenin, tüm ayrıntıları kapsadığı tabii ki söylenemez. Uygulama sahası genişlemeye devam ettikçe görsel sistemler otomasyon uygulamalarında yeni görevler üstlenecek, denetim kavramına yeni boyutlar kazandıracaktır.
- Görsel duyarlılık, insanoğlundaki el-göz koordinasyonuna tam olarak benzeyen bir şekilde, bir otomasyon sisteminin son-etkileyicisine görsel veri aracılığıyla rehberlik etme işlemidir.
- Daha akıllı otomasyon sistemleri çok daha fazla sayıda ve değişik tipte algılayıcı kullanmaktadırlar. Dolayısıyla çok sayıda algılayıcıdan gelen bilginin işleme, tümlenme ve birleşme mekanizmaları birliktelik göstermelidir.

Taşımacılığın Otomasyonla Yapılmasının Sakıncaları

- Otomatik makinelerin kullanım yerlerinin gittikçe genişlemesi ve büyük sanayi müesseselerinin otomasyona kaymaları sebebiyle Amerika ve İngiltere gibi ülkelerde, işsizliğin çok büyük boyutlara varacağı ileri sürülmektedir.
- Teknolojik gelişmenin insanın yararına olduğu ve bu ilerlemenin, ortadan kaldırdığından daha çok iş yarattığı da savunulabilir. Örneğin otomobilin gelişi, sayısız nalbant dükkanını ve at arabası imalatçısını ortadan kaldırmış, kırbaç ve saman gereksinimini azaltmış; bunun yanında çok daha fazla sayıda, otomobille ilgili iş yaratmış, benzin, lastik ve karayollarına olan ihtiyacı arttırmıştır.
- Aynı şekilde, sürekli artan ihtiyaç nedeniyle, yeni otomasyon sistemlerinin geliştirilmesi, programlanması, bozulanların onarılması, robot üreten tesislerin inşası ve bütün endüstrilerin, daha verimli robot kullanımı için yeniden düzenlenmesi gibi amaçlarla yaratılacak işi düşünmek gerekir. Robotlu toplumda, robotsuza oranla daha çok iş yeri, daha çok iş alanı olacaktır.
- Bununla birlikte çizdiğimiz bu iyimser tablo, uzun dönemli, geniş bir bakış açısını yansıtmakta ve toplumun, yeni bir modeli benimsediğinde ortaya çıkabilecek tek tek trajedileri hesaba katmamaktadır. Örneğin, bir iş kolu ortadan kalktığında, yenisi henüz doğmamış olabilir ya da çok uzun bir zaman sonra ortaya çıkabilir veya (en büyük ihtimalle) eskisinden çok farklı nitelikte olabilir. Civata sıkıştıran bir montaj fabrikası işçisinin, işini kaybetmesinin hemen ardından yeni bir iş bulabilmesi, örneğin robot tamircisi olması imkansızdır.

- Otomatik makinelerin kullanım yerlerinin gittikçe genişlemesi ve büyük sanayi müesseselerinin otomasyona kaymaları sebebiyle Amerika ve İngiltere gibi ülkelerde, işsizliğin çok büyük boyutlara varacağı ileri sürülmektedir.
- Toplumu dengede tutmak için geçiş döneminin sarsıntılarını ve acılarını en aza indirecek ciddi çalışmalara ihtiyaç olacaktır. İş değiştirmelerini mümkün kılmak için, yeniden alıştırma ve yeniden eğitim programları geniş ölçekte uygulanacaktır. Hükümetlerin aktif desteğiyle bu programları, endüstri kolları yürütecek ve bu, doğal olarak toplum için pahalıya mal olacaktır. Gereken tüm çalışmalar başarılırsa sorunlu ve pahalı geçiş dönemi uzun sürmeyecektir.

ROBOTİĞE GİRİŞ

Robotun Tanımı

- Robot kelimesi ilk olarak Çek filozofu ve oyun yazarı Karel “Capek'in Rossum's Universal Robot (R.U.R.)” isimli oyunu içerisinde 1922'de kullanılmıştır. Çek dilinde robot, "işçi" veya "esir" anlamındadır.
- 1939 yılında Isaac Asimov, robotlarla ilgili bilim kurgu romanlar yazmaya başlamış ve günümüzde hâlâ geçerliliğini korumakta olan üç robot kuralını ortaya atmıştır:
 - Bir robot, insanlara zarar vermemeli, onlara zarar gelmesine seyirci kalmamalıdır.
 - Birinci kuralla çelişmediği sürece bir robot daima insanlardan aldığı emirlere uymalıdır.
 - Birinci ve ikinci kural çelişmediği sürece bir robot kendini, kendine zarar verecek hareketlerden korumalıdır.
- Robotlar ilk bakışta gelişmiş bir bilgisayardır. Dolayısıyla, bilgisayar teknolojisi ne kadar gelişmişse robot teknolojisi de o kadar gelişecektir. Robot programlanmadan kendi başına hiçbir şey yapamaz.
- Gerçek anlamda **robot** denilince; birçok değişik amaçlar için kullanılabilen çok fonksiyonlu ve programlanabilen makineler akla gelmelidir.

Endüstriyel Robotlar

- ISO TR 8373 tanımına göre endüstriyel robot, üç veya daha fazla programlanabilir eksenli olan otomatik kontrollü, programlanabilir, çok amaçlı, bir yerde sabit duran veya tekerlekleri olan endüstriyel uygulamalarda kullanılan manipülatördür.
- Amerikan Robot Enstitüsü ise robot tanımını, "programlanabilir, çok fonksiyonlu, malzemeleri, parçaları, aletleri ve özel aygıtları taşıyabilir ve çeşitli programlanmış fonksiyonları yaparak çeşitli görevleri yerine getirir" şeklinde yapmaktadır.
- Japonya'da ise robot, hafıza aygıtı takılmış, rutin işleri yaparak insanın yerini alabilen, belirlenmiş hareketleri otomatik olarak yerine getirebilen, ekipmanı tamamen sağlanmış makine olarak tanımlanmaktadır.
- Endüstriyel robotlar bir yere sabitlenmiş bir koldan meydana gelir. Bu koldaki her uzuv birbirine eklemler vasıtasıyla bağlanır.
- Robot kolundaki uzuvlar koordinat sistemine göre değişiklik gösterir. Robot bileğine tutucu takılır. Tutuculara örnek olarak çok parmaklı tutucular, vakum, manyetik aletler, görünüm ve dokunma kabiliyetli olarak insan eline benzer tutucular gösterilebilir. Bu tutucular robota verilen göreve göre değişkenlik gösterir. Başka deyişle robotlar, tutucu vasıtasıyla işe özelleşmiş olurlar.

- Bunlardan başka tutucu vasfında olmasa da robot koluna bağlanan çeşitli aletler vardır. Robotun yapacağı işe göre takılan bu aparatlar genelde sabit olup ayrıca işini yapabilmesi için gerekli malzemeyi dışarıdan ek olarak alırlar. Bunlara örnek olarak su-jetli kesme ve kaynak torçları verilebilir. Su jeti ile kesme işleminde gerekli olan basınçlı su bir boru vasıtasıyla ayrı bir istemden sağlanır. Ark kaynağı, punta kaynağı v.b. işlemleri yapmak için robotun ucuna takılan kaynak aparatları da aynı şekilde dışarıdan beslenir.
- Endüstriyel Robotlarda Kullanılan Bazı Terimler:
 - **Tekrarlanabilirlik:** Bir robota verilen aynı konum bilgisini her seferlerinde sağlayabilme kabiliyeti olarak tanımlanabilir.
 - **Çözünürlük:** Robot ile yapılabilecek en küçük yer değiştirme miktarıdır.
 - **Serbestlik Derecesi:** Bir cismin veya sistemin sabit bir noktaya göre konumunu tam olarak belirlemek için gerekli bağımsız değişken sayısıdır. Robotlarda serbestlik derecesi mafsal ve eyleyiciler sayılarak rahatlıkla bulunabilir.
 - **Manipülatör:** Eklemlerle birbirine bağlanmış açık uçlu kinematik zincir oluşturan mekanik sistemlerdir.
 - **Servo Motor:** İçerisinde hareket miktarını ölçen sensör, fren sistemi gibi donanımların bulunduğu ayrıca motor konumunun hassas bir şekilde ayarlanabilmesi için özel dizayn edilmiş motorlardır.
 - **Çalışma hacmi:** Robotun uç noktasının ulaşabileceği noktalar kümesidir.
 - **Çalışma alanı:** Robotun uç noktasının ulaşabileceği noktaların yatay düzleme iz düşümü ile oluşan alandır.

- Endüstride robot kullanımının başlıca nedenleri aşağıdaki şekilde sıralanabilir;
 - İşçilik maliyetini azaltmak
 - Tehlikeli ve riskli yerlerde çalışanların yerini almak
 - Daha esnek bir üretim sistemi sağlamak
 - Daha tutarlı bir kalite kontrol sağlamak
 - Çıktı miktarını artırmak
 - Vasıflı işçilik sıkıntısını karşılayabilmek
 - Üç vardiya boyunca aralıksız çalışma kabiliyeti,
 - İnsana göre daha fazla yük kaldırma kabiliyeti,
 - İnsana göre daha çabuk sonuca ulaşma kabiliyeti,
 - Usandırıcı ve tekrarlı işlerde yeterlilik,
 - Tehlikeli ortamlarda çalışabilme kabiliyeti,
 - İnsan hatalarını elimine etme,
 - Kalite kontrol hatalarını minimuma indirme,
 - Kendini hızla amorti etme,
 - Yüksek hareket esnekliği,
 - Yüksek kar eldesi.

- Endüstride robot kullanımının başlıca sakıncaları aşağıdaki şekilde sıralanabilir;
 - Düşünemez,
 - Vision System, ile yalnızca kendisine öğretilen cisimleri görebilir,
 - Programlanmadan çalışamaz,
 - Kendisine öğretilenleri yapabildiğinden hareketleri kısıtlıdır,
 - Yüksek yatırım maliyeti,
 - Boşa geçen bakım ve onarım zamanları.

Robotların Sınıflandırılması

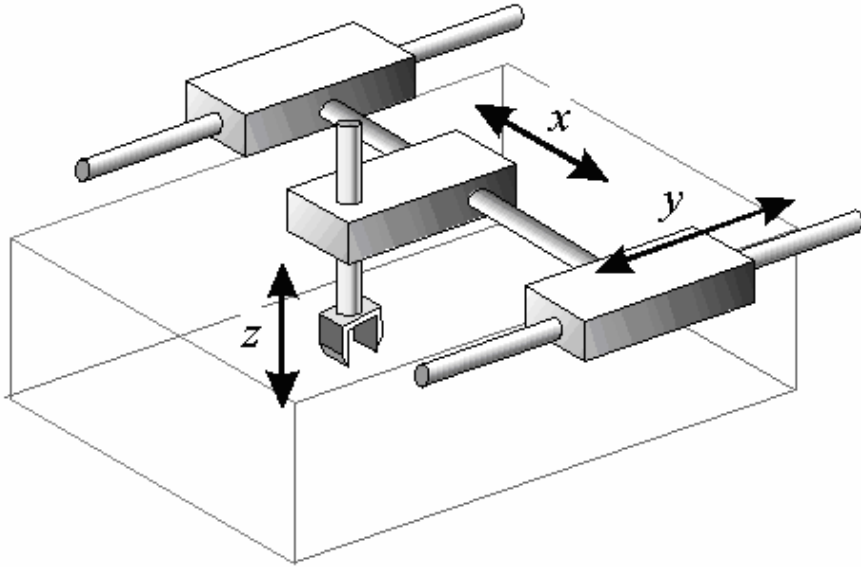
- Robotlar çeşitli özelliklerine göre sınıflandırılmaktadır. Koordinat sistemlerine göre, yetenek düzeylerine göre, kontrol tipine göre, teknoloji seviyesine göre, enerji kaynaklarına göre, yaptıkları işe göre ve Lert tarzı sınıflandırma en sık kullanılanlarıdır

Koordinat Sistemine Göre Sınıflandırma

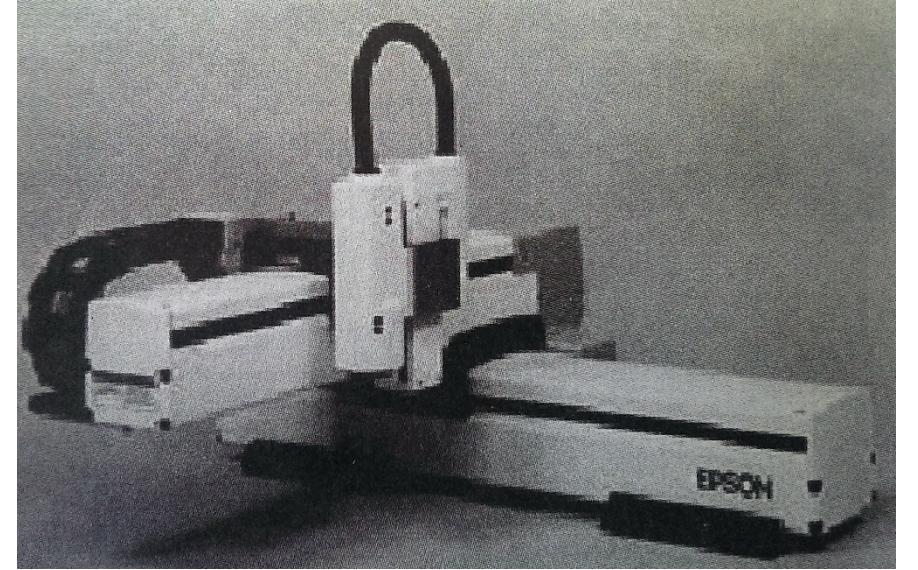
- Robotlar, koordinat sistemine göre; kartezyen koordinatlı, silindirik koordinatlı, küresel koordinatlı, SCARA ve mafsallı olarak sınıflandırılırlar.

a. Kartezyen Robot

- Sadece tutma ve taşıma yeteneği olan bu robot tipi X,Y,Z, eksenlerinde doğrusal olarak hareket etme yeteneğine sahiptirler. Basit bir yapıya sahip oldukları için hareketlerin planlanması çok kolaydır.



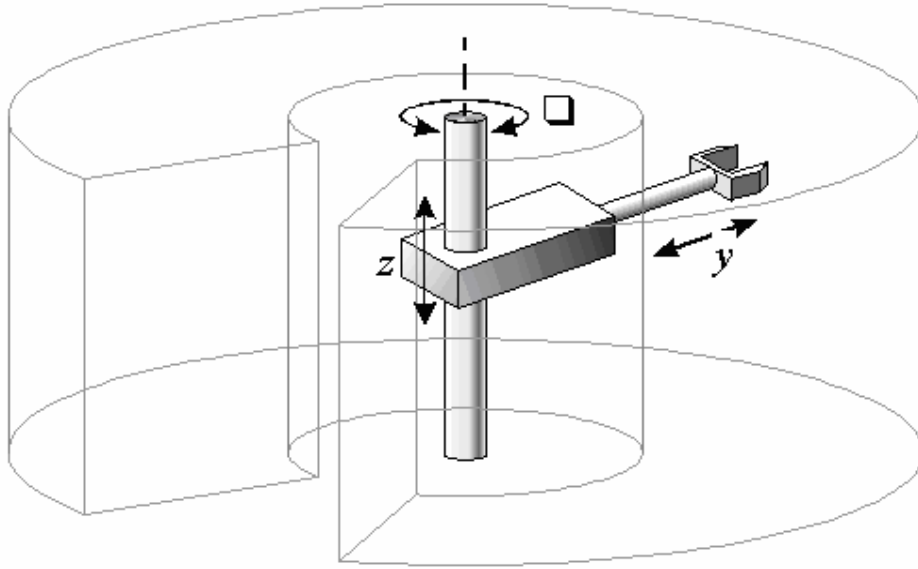
Kartezyen Robot Kolun Çalışma Alanı.



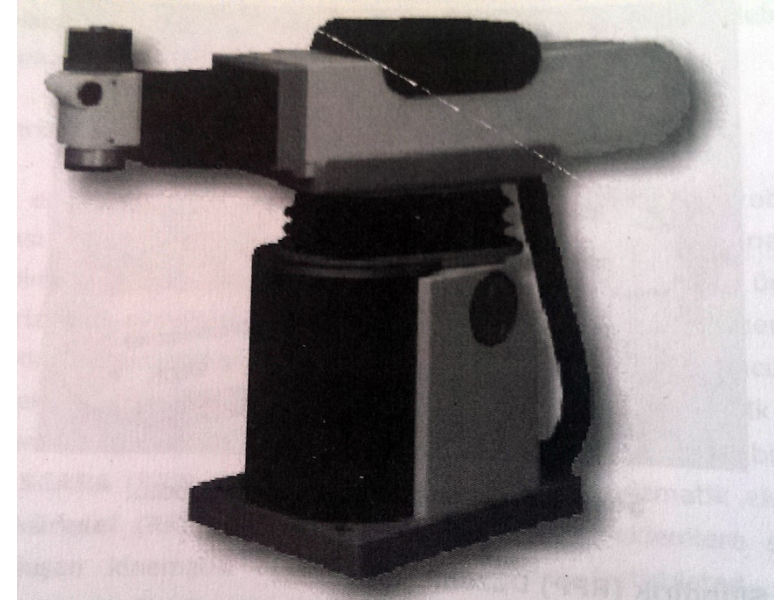
Epson - Seiko Kartezyen robotu

b. Silindirik Robot Kolları

- Silindirik robot kollar da kendi etrafında dönebilen bir mafsal ve bunun üzerinde bulunan X,Y,Z düzleminde doğrusal hareket edebilen kollardan oluşmaktadır.
- Kartezyen robot kola göre hareket serbestliği daha geniştir.
- Çalışma alanı içindeki noktalara ulaşımı çok iyidir. Hareket kabiliyetinin az olmasından dolayı programlanması kolaydır.



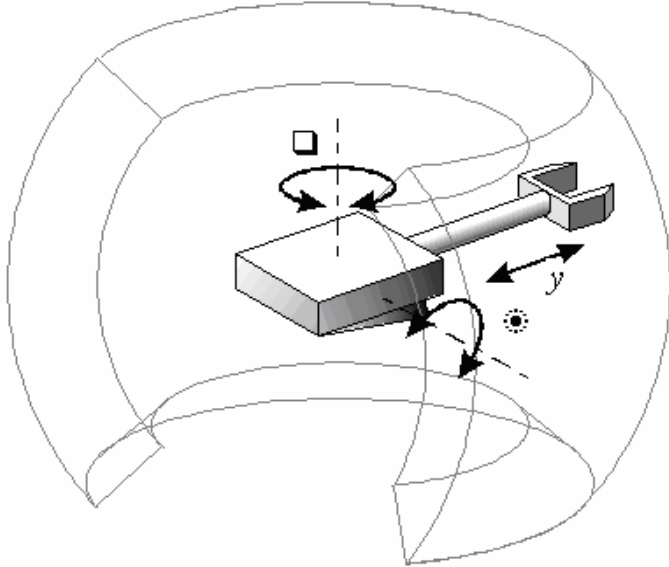
Silindirik Robot Kolun Çalışma Alanı.



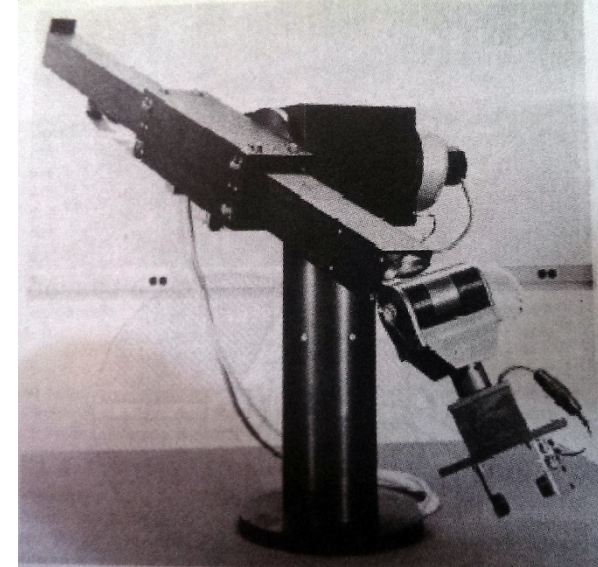
Seiko RT3300 silindirik robotu

c. Küresel Robot Kolları

- Bel, omuz ve dirsek mafsallarından oluşan bir yapıya sahiptirler. Bel ve omuz mafsalı kendi etrafında dönme hareketi yapabilirken, dirsek mafsalı kola uzama ve kısalma hareketi yaptırmaktadır.
- Kol yapılarından dolayı eklemlili robot kollarına benzemektedirler.
- Kinematik yapıları kartezyen ve silindirik robot kollara göre daha karmaşıktır.
- Çalışma şeklinin zihinde canlandırılması zor olduğu için programlama ve kontrolü de zordur.



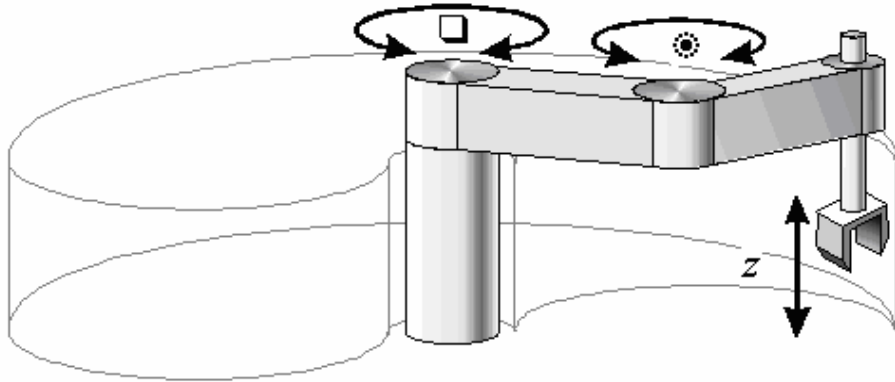
Silindirik Robot Kolun Çalışma Alanı.



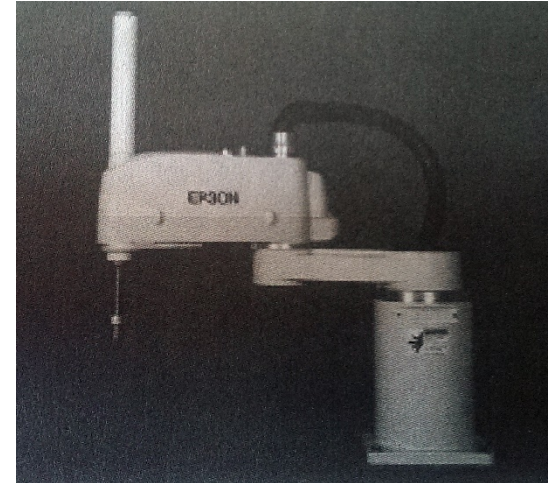
Standart Arm küresel robotu

d. Scara Robot Kol

- İki eklem yerinde elektrik motoru ve aşağı yukarı hareket edebilen pnömatik koldan oluşmuştur.
- Eklemlerdeki elektrik motorları eksenlerin kendi etrafında dönmesini sağlamaktadır. Tutucu ağzın bulunduğu kol pnömatik tahrikli olup Z ekseninde hareket etme kabiliyetine sahiptir. Buda robot kola esnek hareket imkânı sağlamaktadır.
- Hız ve konum performansı çok iyi olduğundan dolayı bu robot kol en çok elektronik sanayinde, elektronik kartlara malzemelerin montajını gerçekleştirmek için kullanılmaktadır.
- Tutma ve taşıma işlerinde maliyetinin ucuz olmasından ve programlanmasının kolay olmasından dolayı şu anda sanayide en çok kullanılan robot olmuştur.



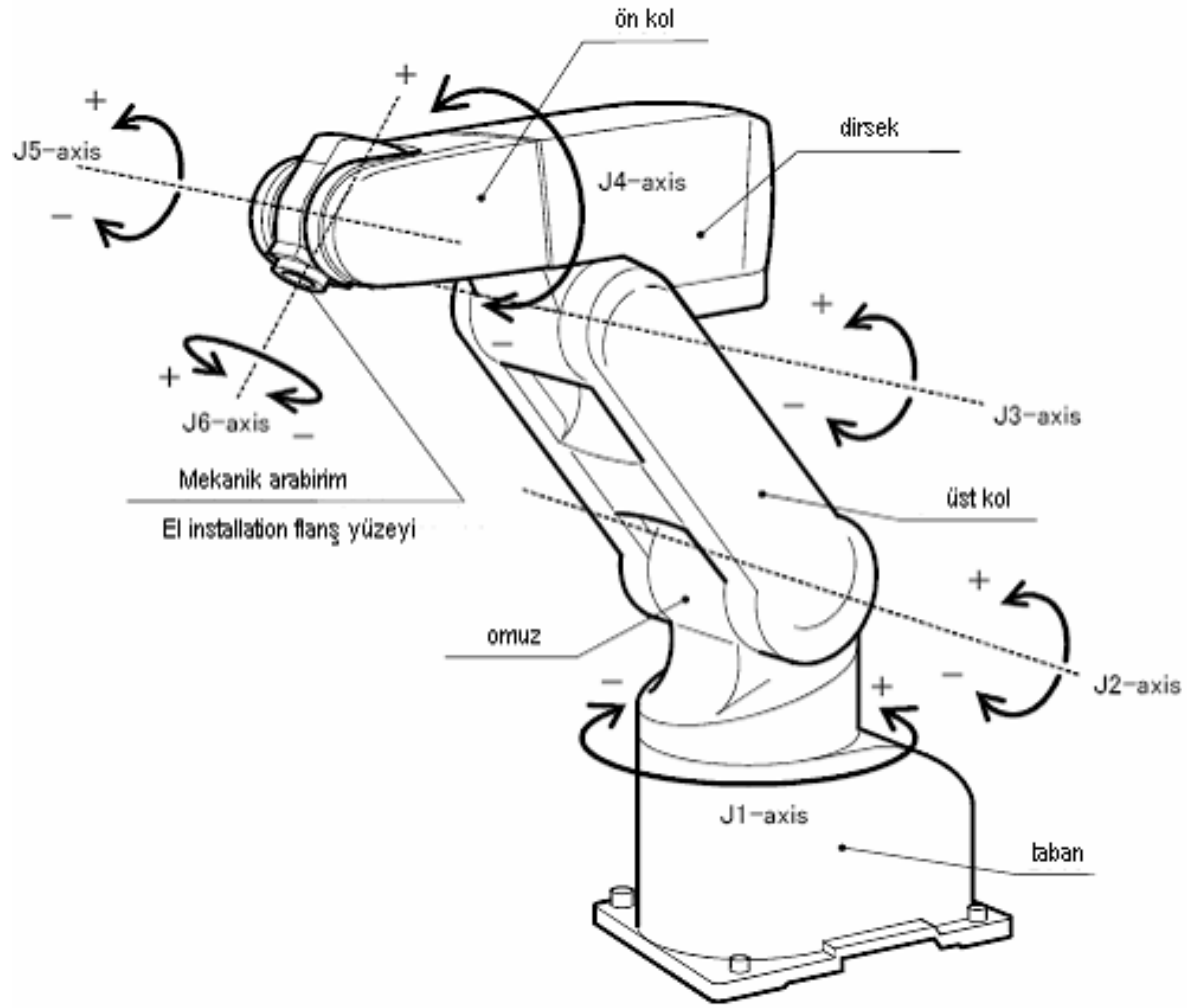
Silindirik Robot Kolun Çalışma Alanı.



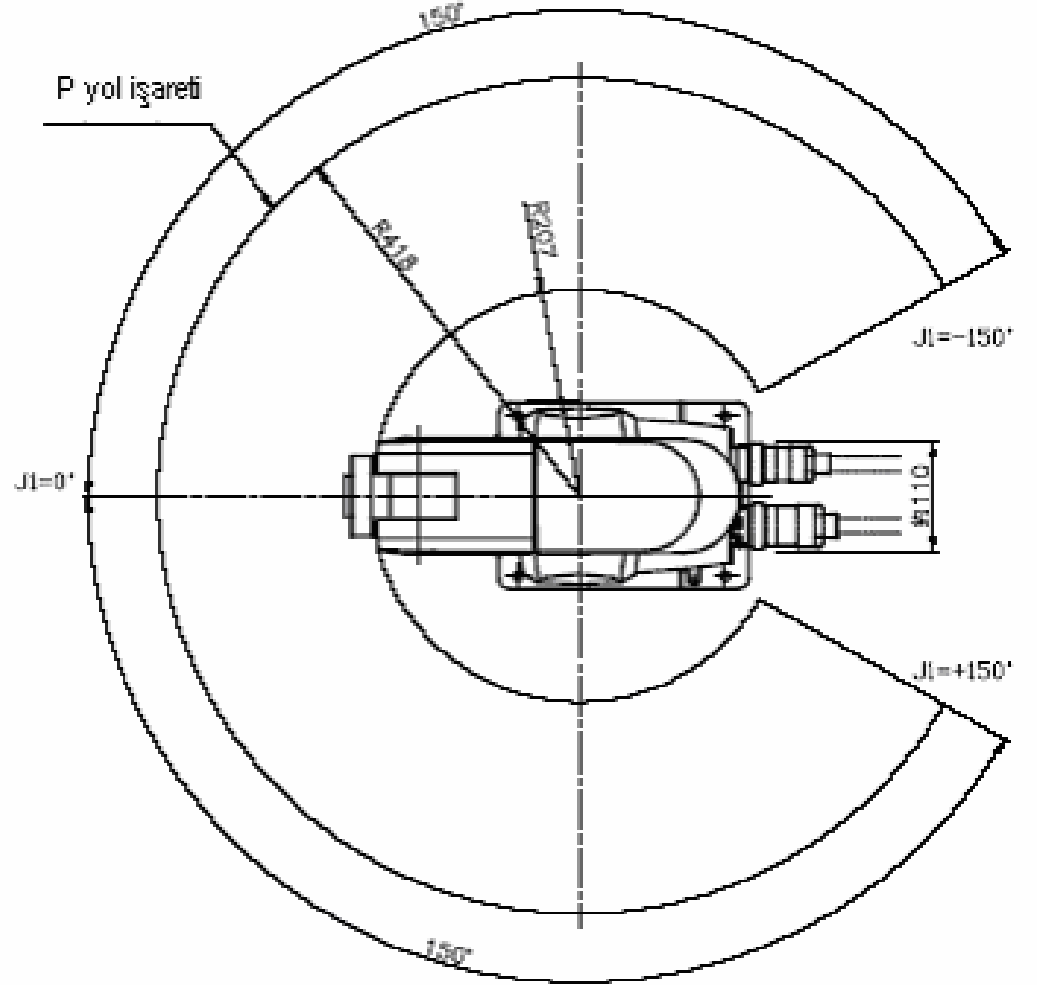
Epson E2L653S SCARA robotu

d. Mafsallı Robot Kollar

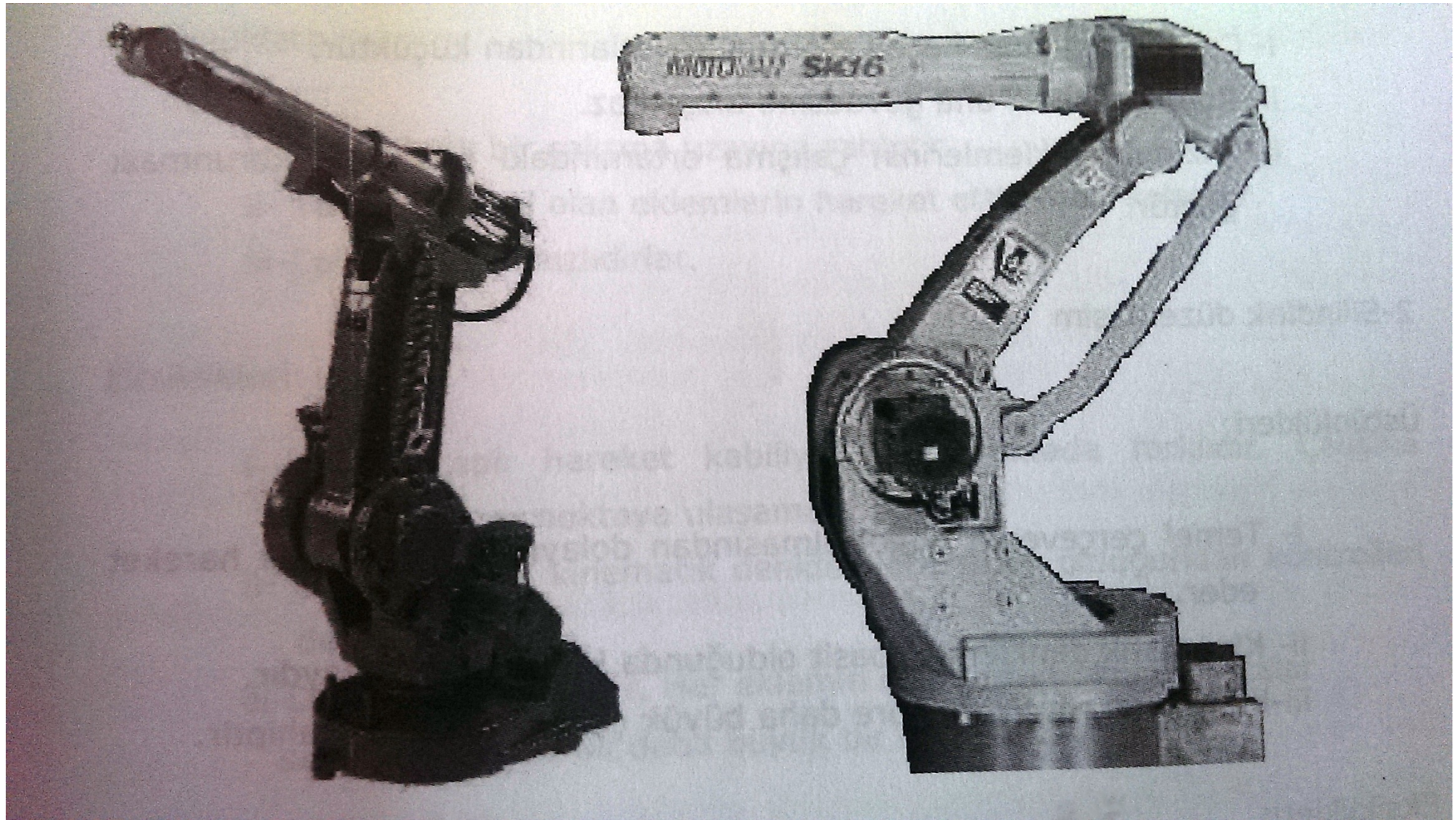
- İnsan kolunun hareketlerini taklit etmeye en yakın robot koludur.
- Üretim sistemlerinde diğer kolların hareket kabiliyetlerinin sınırlı olmasından dolayı mafsal sayısı genellikle 5 veya 6 adet olan robot kollara ihtiyaç duyulmuştur.
- Bu tip robot kollarda her mafsal ayrı ayrı kontrol edilebilen servo motorlardan oluşmaktadır.
- Hareket esneklikleri en yüksek olan robot kollardır. Kol üzerinde bulunan her eklem yeri X,Y,Z eksenlerinde üç boyutlu hareket yapabilmektedir.
- Çalışma alanı içerisinde tanımlanan bir noktaya en kısa yoldan ve kısa zamanda ulaşım imkânı tanımaktadır. Robotun hedef pozisyonlara yaklaşımı mafsal hareketi veya doğrusal X,Y,Z, koordinatları doğrultusunda hareket ederek gerçekleşmektedir.
- Diğer robot türlerine göre karmaşık bir yapıya sahip olup, programlanması da diğerlerine göre zordur.
- Yapılacak uygulamanın niteliğine göre robot kolun eksen sayısı tercihi yapılmalıdır. Daha basit işlemlerin uygulanmasında 3 eksenli robot kol yeterli gelmekte iken daha karmaşık ve çok fonksiyonlu bir uygulama işleminde 3 eksenli robot kol yeterli olmamaktadır.



Robot Kol Ve Eksen Hareketleri



Robotun X-X Arası Hareket Alanı



IRB1400 robotu

Motoman SK16 robotu

- **Kartezyen Düzenleşimin Üstünlükleri**

- Kinematik denklemler kolay olduğundan kontrolü kolaydır.
- Gövde yapısı çok sağlam olduğundan yük kaldırma kapasitesi çok iyidir.
- Çalışma uzayının her noktasında geniş çaplı hareket kabiliyeti aynıdır.
- Kinematik yapısı basit olduğu için yeni eleman eklemesi çok kolaydır.

- **Eksiklikleri**

- Çalışma uzayının hacmi robotun boyutlarından küçüktür.
- Robot kendi ana gövdesine ulaşamaz.
- Prizmatik eklemlerinin çalışma ortamındaki tozlardan korunması güçtür.

- **Silindirik Düzenleşimin Üstünlükleri**

- Temel çerçevenin dönel olmasından dolayı uç işlevci hızlı hareket eder.
- Kinematik denklemler basit olduğundan kontrolü de kolaydır.
- Kartezyen robotlara göre daha büyük çalışma uzayına sahiptir.

- **Eksiklikleri**

- Küresel robotlara göre daha küçük çalışma uzayına sahiptirler.
- Geniş çaplı hareket kabiliyeti kol uzunluğuna göre değişir.

- **Küresel Düzenleşimin Üstünlükleri**

- Çok büyük çalışma uzayına sahiptir.

- **Eksiklikleri**

- Çok karmaşık kinematik denklemlere sahip oldukları için kontrolleri de zordur.
- Geniş çaplı hareket kabiliyeti her noktada farklıdır. Özellikle ana çerçeve civarında hareket açılarındaki küçük bir değişim uç işlevcinin daha büyük bir yer değiştirmesine sebep olur.

- **Dönel Düzenleşimin Üstünlükleri**

- Çok büyük çalışma uzayına sahiptir.
- Tamamı dönel olan eklemlerin hareket ettirilmesi kolaydır.
- Çok esnek ve hızlıdır.

- **Eksiklikleri**

- Geniş çaplı hareket kabiliyeti her noktada farklıdır. Çalışma uzayında her noktaya ulaşamaz.
- Çok karmaşık kinematik denklemlere sahip oldukları için kontrolleri de zordur.
- Doğruluğu düşüktür. Her eklemin oluşturduğu küçük hatalar toplanarak büyük bir hataya neden olabilir.

Yetenek Düzeyine Göre Sınıflandırma

- Bu başlık altında endüstriyel robotlar; sıra kontrollü, öğrenen, kontrollü yörünge, adaptif ve zeki robotlar olarak sınıflandırılırlar.
 - **Sıra kontrollü robotlar:** Başlangıç komutlarına bağlı olarak belirli bir işlem dizisini sırasıyla gerçekleştirirler. Çeşitli zamanlarda farklı sıralarla işlem yapmak üzere ayarlanabilirler, fakat ayarlamadan sonra yeni bir ayarlamaya kadar aynı işlem sırasını takip etmeleri söz konusudur.
 - **Öğrenen robotlar:** Bir seri hareketi icra etmesi öğretilir. Manyetik disk, manyetik bant, ram türü bir kayıt aracı, pozisyon sensörlerinden gelen koordinat bilgilerinin kaydedilmesi için kullanılır. Her noktada üç eksene ait koordinat bilgileri kaydedilir. Tüm yol aynı şekilde işlendikten sonra robotun aynı yolu tekrarlaması istenir. Öğretme işlemi bir insan tarafından gerçekleştirilir ve yol boyunca izlenecek yörünge ve hareketler öğretici tarafından tespit edilir.
 - **Kontrollü yörünge robotları:** Öğrenen robotlar ile adaptif robotlar arasında kalır. Bir dereceye kadar nümerik kontrollü takım tezgâhlarına benzediklerinden nümerik kontrollü robotlar olarak da adlandırılırlar.
 - **Adaptif robotlar:** Çevrelerine reaksiyon verecek şekilde bilgisayar kontrolüne ve sensör geri beslemesine sahiptirler. Bu robotların çoğu kontrollü yörünge özelliğine sahip olmakla birlikte bir operasyonun gerçekleştirilmesi esnasında yörünge ve hareketleri değiştirebilme yeteneğine de sahiptirler.
 - **Zeki robotlar:** Çevrelerini sezme hareketlerini değiştirme yeteneğine sahiptirler. Bu nedenle çevreye ait bir model ve bilgi tabanına sahip olmaları gereklidir. çeşitli amaçlı sensörler topluluğuna, büyük bir hafıza kapasitesine ve çevreyi modelleme yeteneğine sahiptirler.

Kontrol Tipine Göre Sınıflandırma

- Robotlar, noktadan noktaya, sürekli yörünge, kontrollü yörünge, servo ve servo olmayan robotlar olarak sınıflandırılabilir.
 - **Noktadan noktaya robotlar:** En ucuz ve en basit robotlardır. Bu robotlar, belirli bir noktadan başka belirli bir noktaya hareket ederken bu iki nokta arasında, önceden belirtilmiş noktalarda durma yeteneğine sahip değildirler. Durma noktaları her yeni operasyon için yeniden ayarlanmaları gerekir. Bu noktaların tespitinde genellikle potansiyometreler ve encoder ile kontrol edilen servo-motorlar kullanılır.
 - **Sürekli yörünge robotları:** Belirli bir yörünge boyunca tanımlanmış her noktada durabilirler. Böylece robotun belirli bir doğruyu ya da eğriyi takip etmesi sağlanabilir. Durma noktalarının hafızada yer alması gereklidir.
 - **Kontrollü yörünge robotları:** Kontrol donanımları sayesinde doğrusal ve dairesel interpolasyonla elde edilen eğrisel yörüngeleri yüksek doğrulukla takip edebilirler. Bu tip robotların bazılarında yörünge geometrik olarak veya denklemlerle tanımlanabilir. Kontrol için başlangıç ve bitiş koordinatları ile yol tanımlamasının verilmesi yeterlidir.
 - **Servo robotlar:** Pozisyonlarını ve hızlarını ölçerek kontrol devresini geri besleyecek sensörlere sahiptirler. Böylelikle robotun belirli bir yörüngeyi takip etmesi sağlanır.
 - **Servo olmayan robotlar:** İstenen noktaya ulaştıklarının farkında olmazlar. Servo ve servo olmayan robotlar, sırasıyla kapalı ve açık çevrimli robotlar olarak adlandırılırlar. Kontrollü robotların tümü, servo özelliklerine sahiptirler ve yol hatalarını sürekli olarak düzelterek istenen noktaya ulaşırlar.

Yaptıkları İşlere Göre Sınıflandırma

- Robotları görevlerine göre sınıflandırmada temel problem, yaptıkları işin değişebilmesidir. Kollarına takılı aletin ve programlarının değişmesiyle görevleri değişmiş olur. Fakat bazı durumlarda robotun işini değiştirmek çok kolay olmayabilir.
- Örneğin, bir kaynak robotunu nokta kaynağı yapabilen duruma getirmek için tüm ekipmanının ve çalışma sisteminin değiştirilmesi gerekecektir.
- Yaptıkları işlere göre robotlar boyacı, kaynakçı, montajcı ve malzeme taşıyıcısı gibi isimler alırlar.

Lert Tarzı Adlandırma

- Lert tarzı adlandırma, robotun her bir eksenini için sınıflandırmayı esas alır.
- Bu sınıflandırma, hareket yönüne ve şekline göre belirlenir.
- Doğrusal hareket, uzama hareketi, dönme hareketi ve burulma hareketi olarak dört temel hareket tarzı bulunmaktadır.

L (linear)	Doğrusal hareket
E (Extensional)	Uzama
R (Rotational)	Dönme
T (Twisting)	Burulma

Hareket çeşitleri ve isimleri

ROBOT TAHRİK SİSTEMLERİ

- Günümüzdeki modern yapıya ulaşmış robotlarda tahrik sistemi olarak genellikle AC. servo motorlar kullanılırken, sanayide kullanılan birçok robot kolda, farklı tahrik sistemleri kullanılmaktadır.

a. Pnömatik

- Birçok endüstriyel robotta tahrik sistemi olarak kullanılmakta olup, maliyetleri oldukça düşüktür. Ancak kontrolleri oldukça karmaşıktır.
- Basit yapıli robotlarda eksen hareketlerinin tahrikinde kullanılırken, gelişmiş robotların tutucu kısımlarının tahrik edilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır.
- Hemen hemen bütün fabrikalarda basınçlı havanın bulunması kullanımını yaygınlaştırmaktadır.

b. Hidrolik

- İlk zamanlarda çok kullanılan bir tahrik sistemi olmasına rağmen bazı vazgeçilemeyen alanlar dışında yerini diğer tahrik yöntemlerine bırakmaktadır.
- Büyük güçlü robotlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Çünkü hidrolik olarak elde edilen tahrik gücünü diğerlerinde elde etmemiz mümkün değildir.
- Dez avantajları yavaş çalışmaları ve buldukları ortamı yağ sızdırmalarından dolayı kirletmeleridir.

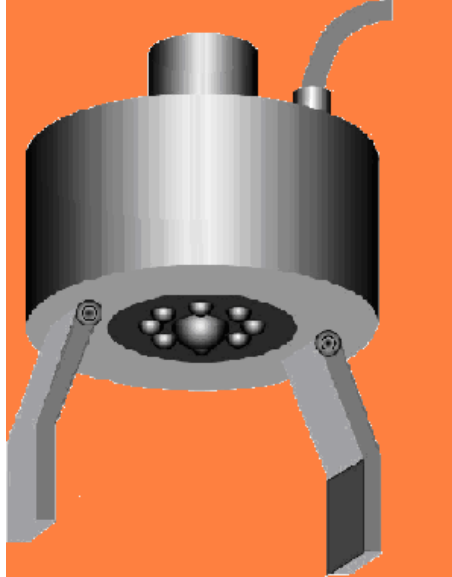
c. Elektrik

- **DC Servo Motorlar:** Pozisyon ve hız kontrolünün geniş ölçülerde ve kolay yapılabilirdiği motorlar olduğu için kullanılmaktadırlar. Bakım masrafları ve kurulum masrafı diğerlerine göre çok daha fazladır. Bu sakıncalardan dolayı yerini giderek diğer elektrik motorlarına bırakmaktadır.
- **AC Servo Motor:** Elektronik kontrol ün gelişmesi ile birlikte bu motorlarda hız ve konum kontrolünde büyük ilerlemeler kaydedilmesi sonucu DC servo motorların yerini almaktadırlar. DC Servo motorlara göre daha ucuzdurlar, bakıma az ihtiyaç duyarlar ve sessiz çalışma özellikleri vardır.
- **Step Motor:** Diğer motorlara göre sürücü ünitelerinin ucuz olmasından dolayı tercih edilirler. Diğer motorlara göre konum kontrolünde daha hassas kontrol sağlama olanağı vardır. Daha çok robot tutucularında kullanımı yaygındır.

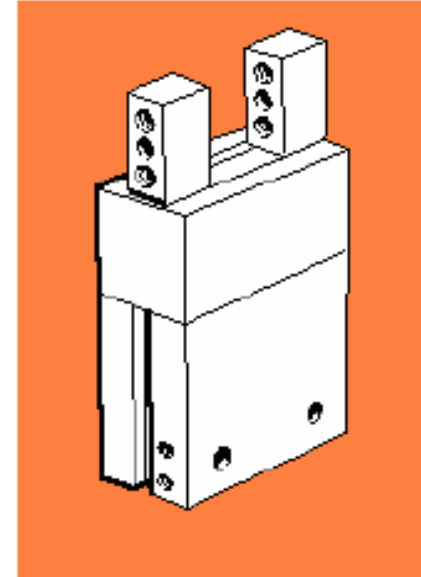
ÇEVRE BİRİMLERİ

a. Tutucular

- Bir parçayı tutmak amacıyla değişik büyüklük ve yapılarda tasarlanmış tutucular bulunmaktadır. Tutma işlemi robotun yapacağı işe bağlı olarak pnömatik tutucuyla veya bir elektrik motorlu tutucuyla gerçekleştirilebilir. Bazen ise robot kolun ucuna iş makinesi direk olarak bağlanmıştır. Örneğin kaynak makinesi veya vida sıkma aparatı gibi.
- Tutucuların sıkma kuvvetlerinin kontrolünde pnömatik basınç valfleri veya sensörler kullanılmaktadır.



Elektrikli tutucu



Pnömatik tutucu

b. Kontrol Paneli

- Robotların kontrolünde PLC (programlanabilir Lojik Kontrol Ünitesi), PIC veya üretici firmaların kendilerine ait robotları kontrol etmek için imal ettikleri kontrol üniteleri kullanılmaktadır.
- PLC' lerde sinyal giriş- çıkışının sınırlı olmasından dolayı basit yapılı robotlarda kullanılabilir ama karmaşık yapılı robotlarda plc yeterli gelmemekte ve robot üreten firma kendi kontrol ünitesini de beraberinde üretmektedir.
- Robot ile bilgisayar seri veya paralel portlar vasıtası ile haberleşme sağlayarak, program seçme, program durdurma, başlatma resetleme, hareket hızı ayarı gibi kontrol imkânları sağlamaktadır.

ROBOT PROGRAMLAMA

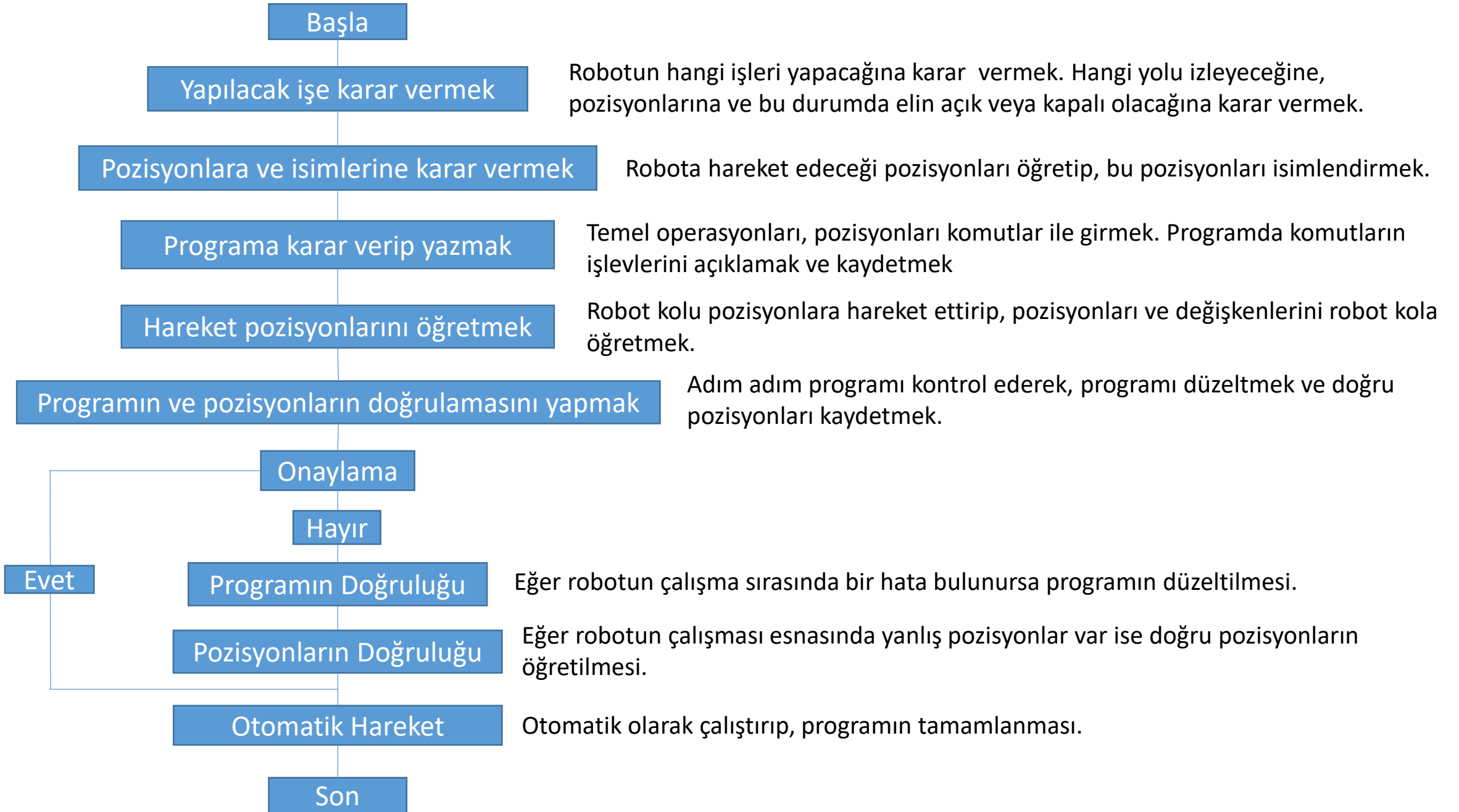
- Robotların programlanmasında iki yöntem kullanılmaktadır. Bunlar öğretim yöntemi ve bir ara yüz programı ile programlamaktır.
- Basit yapılı robotların programlanması ara yüz programı ile yapılırken gelişmiş robotlar da uygulanabilen öğretim yöntemi programcıya büyük kolaylık sağlamaktadır.

a. Öğretim Yöntemi

- Bir öğretim kutusu sayesinde robot istenilen noktaya hareket ettirilip, bu pozisyonlar hafızaya alınabilir.
- Ayrıca öğretim kutusu üzerindeki menüler kullanılarak robot programlanabilir.
- Bilgisayarın bulunmadığı yerlerde robotun programlanması ve bütün işlevleri öğretim kutusu kontrolü ile sağlanır. Özellikle pozisyonların belirlenmesi işleminde büyük kolaylık sağlamaktadır. Parça hangi pozisyondan alınacak veya bırakılacak ise bu pozisyonlara gelip pozisyonun koordinatları direk olarak hafızaya alınır ve program içerisinde kullanılabilir.
- Ayrıca robot kola ait bütün set değerleri öğretim kutusu üzerinden yapılmaktadır.
- Robot ile kullanıcı arasındaki iletişimi sağlayarak kontrolü kolaylaştırmaktadır.

b. Ara Yüz Programı İle Programlama

- Robotun kendine ait olan bir ara yüz programı ile robotun gerçekleştireceği işlem bilgisayar vasıtası ile programlanır ve robota yüklenir.
- Her firmanın geliştirmiş olduğu bir ara yüz programı bulunmaktadır. Bu programlarda kullanılan komutlar her marka robot için farklı olmaktadır.
- Robotun çalışma alanı içindeki hareket şekli, hızı, pozisyon belirleme işlemleri ara yüz programından gerçekleştirilebilir.
- Genel olarak bir robotun programlanması için izlenecek akış diyagramı şu şekildedir.



Robot Biliminde Kavram ve Tanımlamalar

- **Düz kinematik (İleri Yön Kinematiği):** Sisteme etkiyen kuvvetleri hesaba katmaksızın doğrusal ve açısal hareketleri inceleyen bilim dalıdır. Kinematik bilimi içinde konum ve zamana bağlı ardışık türevleri olan hız ve ivme incelenir. Robot kinematiğinde manipülatörün verilen mafsallara bağlı olarak uç koordinat sisteminin, referans koordinat sistemine göre konum ve durumunun (yöneliminin) hesaplanmasıdır.
- **Ters (inverse) kinematik:** Verilen konumlara göre mafsallara göre manipülatörün çalışma uzayını tarif eder. Sonucun yokluğu, manipülatörün istenilen konum ve duruma erişemeyeceği anlamındadır.
- **Dinamik:** Harekete sebep olan kuvvetleri hesaba katar. Bir manipülatörün istenilen yolu takip için mafsallara verilmesi gereken momentler, dinamik denklemler elde edilerek hesaplanır. Dinamik denkleminin ikinci kullanım yeri simülasyon (benzeşim)'dir. Dinamik denklemler yeniden düzenlenerek, manipülatörün, mafsallara momentlerinin uygulanması sırasında nasıl hareket edeceği bilgisayar ekranında görülür.

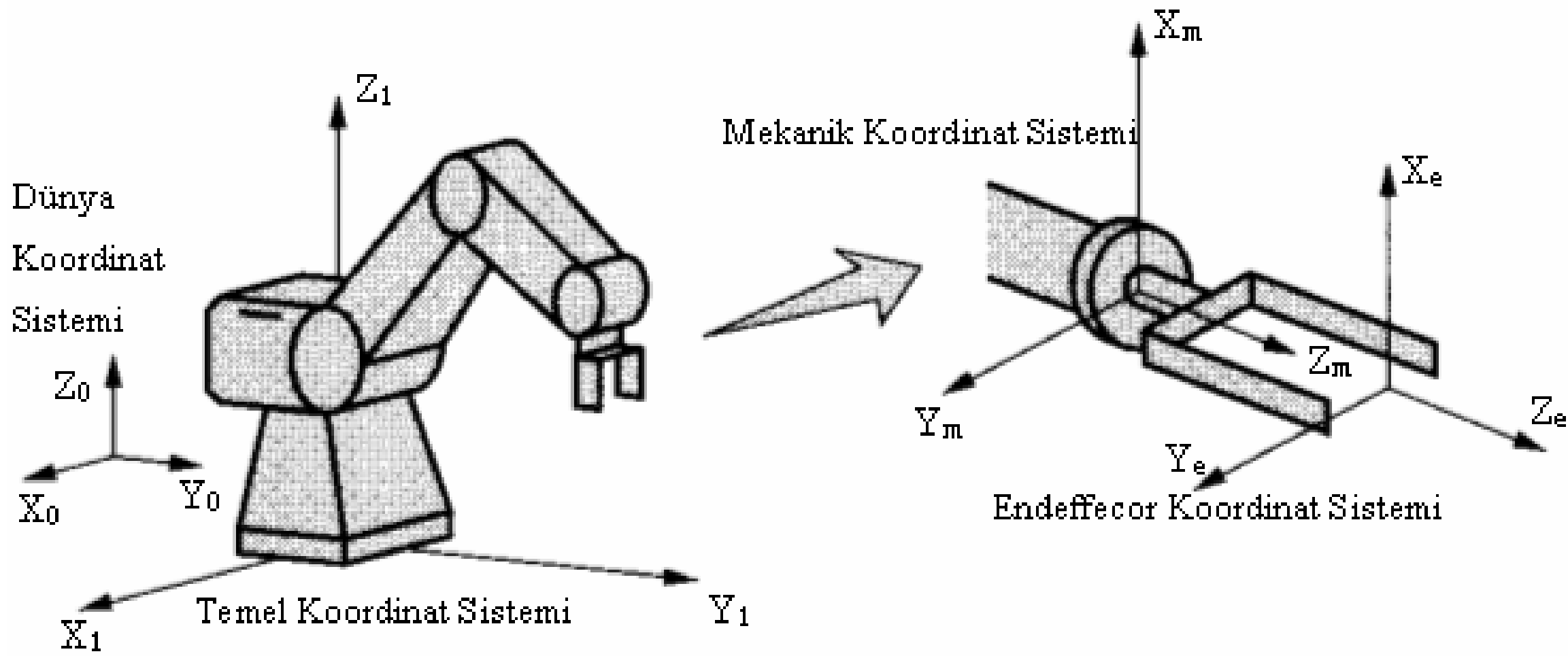
- **Yörünge kontrolü:** Bir manipülatörün bir yerden bir yere, düzgün bir tarzda hareket etmesi için her bir mafsalın zamana bağlı olarak hareket etmesi gerekir. Her bir mafsal hareketinin nasıl hesap edileceği yörünge kontrolünün problemidir.
- **Serbestlik derecesi (Degree of Freedom: DOF):** Bir nesnenin yapabileceği bağımsız hareketlerin sayısı serbestlik derecesi sayısıdır. Serbest bir cisim uzayda serbest olarak hareket ettiği zaman altı serbestlik derecesine sahiptir. Üçü “yer” diğer üçü de “yönelim” içindir.
 - Bu iki tür bağımsız hareket;
 - x, y, z , eksenleri boyunca doğrusal hareketleri temsil eden T_1, T_2 ve T_3 taşımaları (ötelemeleri),
 - x, y, z , eksenleri etrafında açısal hareketleri temsil eden R_1, R_2 , ve R_3 dönmeleridir.
 - Üç orthogonal (dikey) taşımayı ve orthogonal eksenler etrafında üç dönmeyi kullanarak, bir cismin durumu, örneğin robotun çalışma hacmindeki yeri ve yönelimi tam olarak tarif edilebilir.
 - Koldaki eklem sayısı azaldıkça kolun çalışma uzayı, bağlantı parçalarının fiziksel boyutları aynı kalsa bile yine de hacim olarak küçülür ve kolun bu uzaydaki herhangi bir noktaya erişebilmesindeki esneklik de azalır.

- **Robot Kinematığı**

- Kinematik cisimlerin hareketini kuvvetlerin etkisini göz ardı ederek inceler. Robot kinematığında her bir uzvun hareketi uzvun kendi ağırlığı dikkate alınmaksızın hesaplanır.

- **Robot Koordinatları**

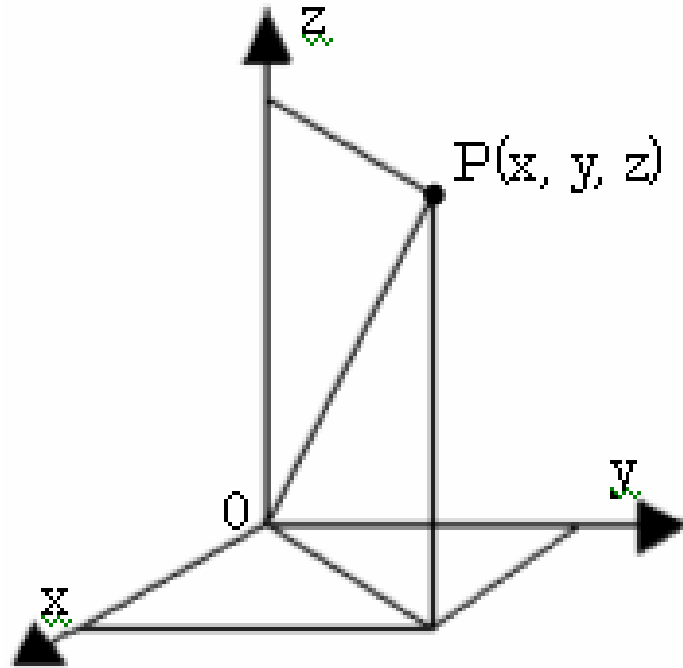
- **Dünya koordinat sistemi:** Bu koordinat sisteminde orijin noktası zemin yüzeyindedir. Robotun konumuna bakmaksızın kullanıcı, orijin noktasını istediği yere tesbit edebilir. Kural olarak X-Y düzlemi yatay düzlem, Z eksen dikey eksendir (+Z yönü yer çekiminin tersi yönündedir.).
- **Temel koordinat sistemi:** Bu koordinat sisteminde orijin noktası robotun bulunduğu zemine yerleştirilir. Her robot kendine özgü bir koordinat sistemine sahiptir.
- **Mekanik ara birim koordinat sistemi:** Mekanik ara biriminin yüzeyine orijin noktasının tesbit edildiği koordinat sistemidir. Mekanik ara birim, uç eleman (endeffectore) takılan aygıttır.
- **Endeffectore (uç elemanı) koordinat sistemi:** Endeffectore'un uç kısmına orijin noktası yerleştirilir.



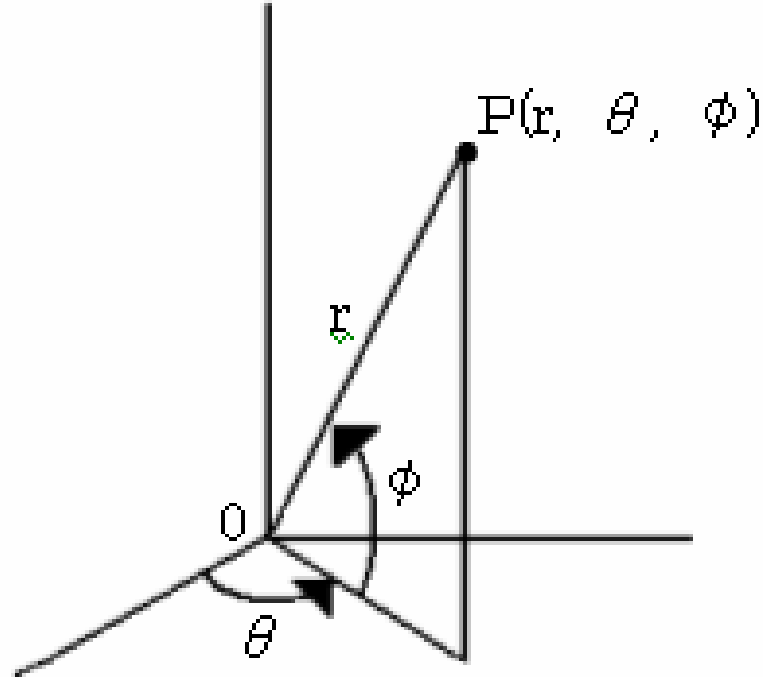
Robot koordinat sistemleri

- **Koordinat Sisteminin İfade Edilişi**

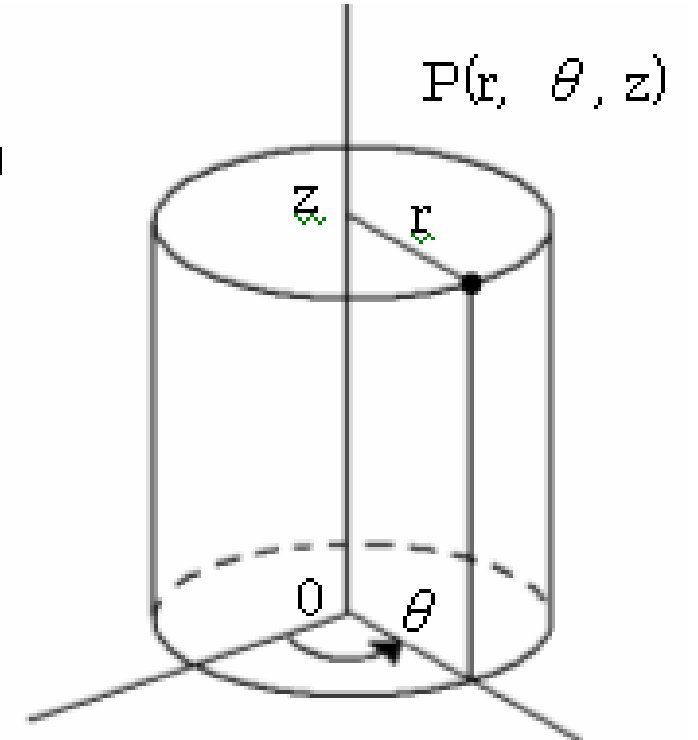
- Koordinat sistemi, Kartezyen, silindirik ve kutupsal koordinatlara göre ayrı ayrı ifade edilir.



(a) Kartezyen koordinat



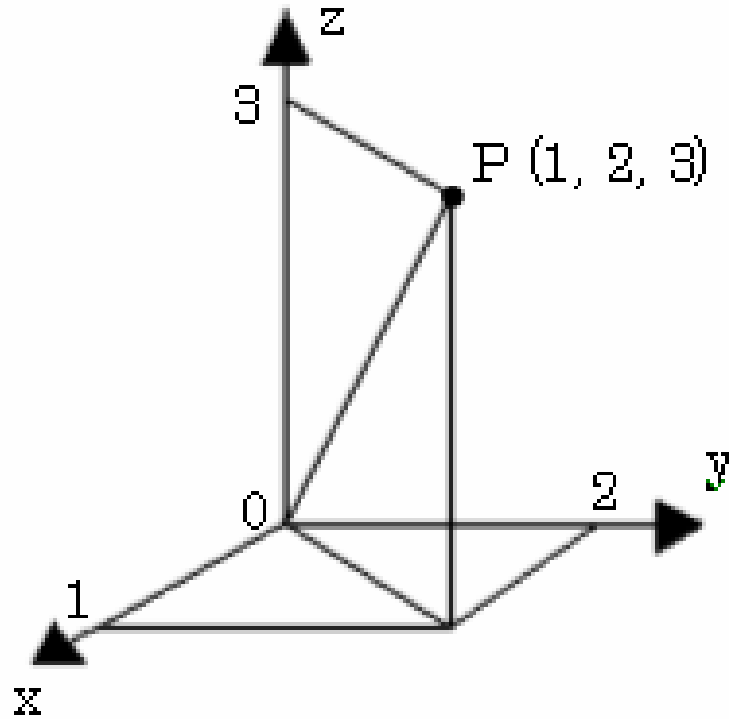
(b) Polar koordinat



(c) Silindirik koordinat

Koordinat tarifi

- **Örnek:** Kartezyen koordinatında ifade edilen P(1, 2, 3) noktalarının polar koordinatındaki karşılığını bulunuz.



$$r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} = \sqrt{1^2 + 2^2 + 3^2} = \sqrt{14}$$

$$\theta = \tan^{-1} \frac{y}{x} = \tan^{-1} \frac{2}{1} = 63.4^\circ$$

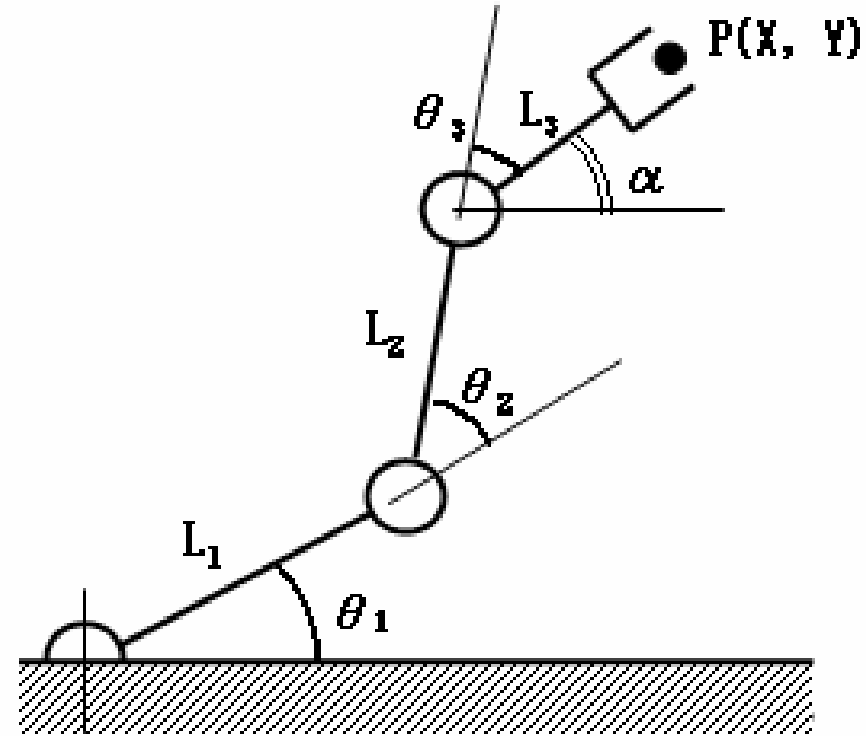
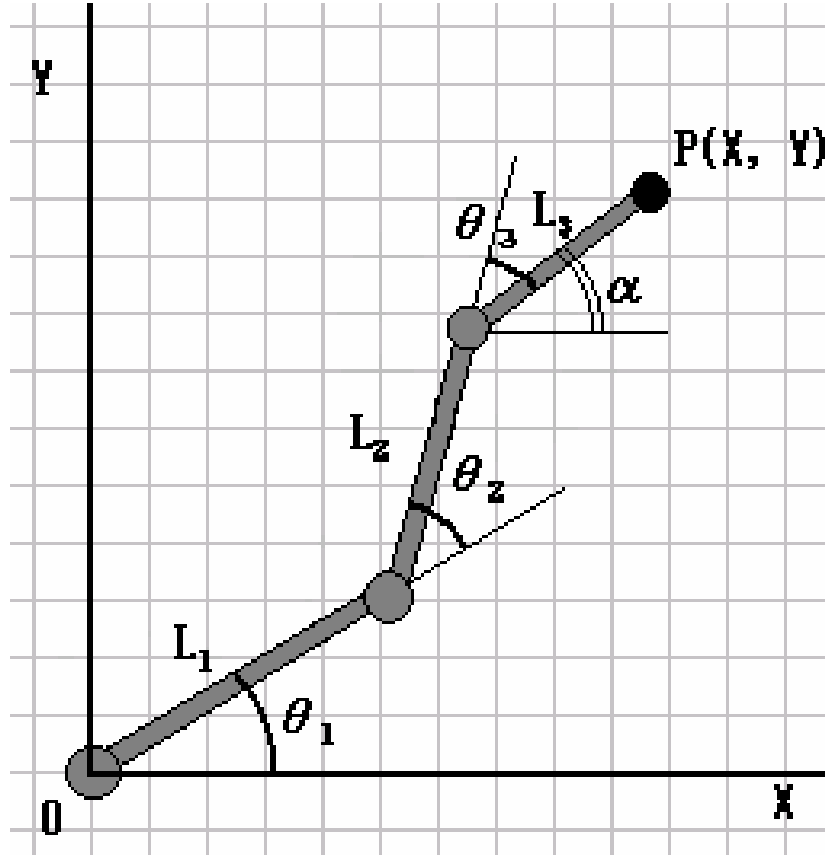
$$\varphi = \tan^{-1} \frac{z}{\sqrt{x^2 + y^2}} = \tan^{-1} \frac{3}{\sqrt{5}} = 53.3^\circ$$

Cevap: P ($\sqrt{14}$, 63.4° , 53.3°)

DÜZLEMSEL HESAPLAMALAR

a. Düz Kinematik

- Robot kolunun P noktasının aşağıdaki ifadeler kullanılarak her bir mafsal açısı hesap edilir. (α manipülör açısı, L_1 , L_2 ve L_3 kol uzunluğu. θ_1 , θ_2 ve θ_3 mafsal açılarıdır.)



- Burada P noktası şu formül ile ifade edilir;

$$P = \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_1 \cos \theta_1 + L_2 \cos(\theta_1 + \theta_2) + L_3 \cos \alpha \\ L_1 \sin \theta_1 + L_2 \sin(\theta_1 + \theta_2) + L_3 \sin \alpha \end{bmatrix}, \quad \alpha = (\theta_1 + \theta_2) - \theta_3$$

- Bu ifade Mekanizma Tekniği dersinde gördüğümüz konum denklemlerini elde ederken kullandığımız yöntemin hemen hemen aynısıdır.

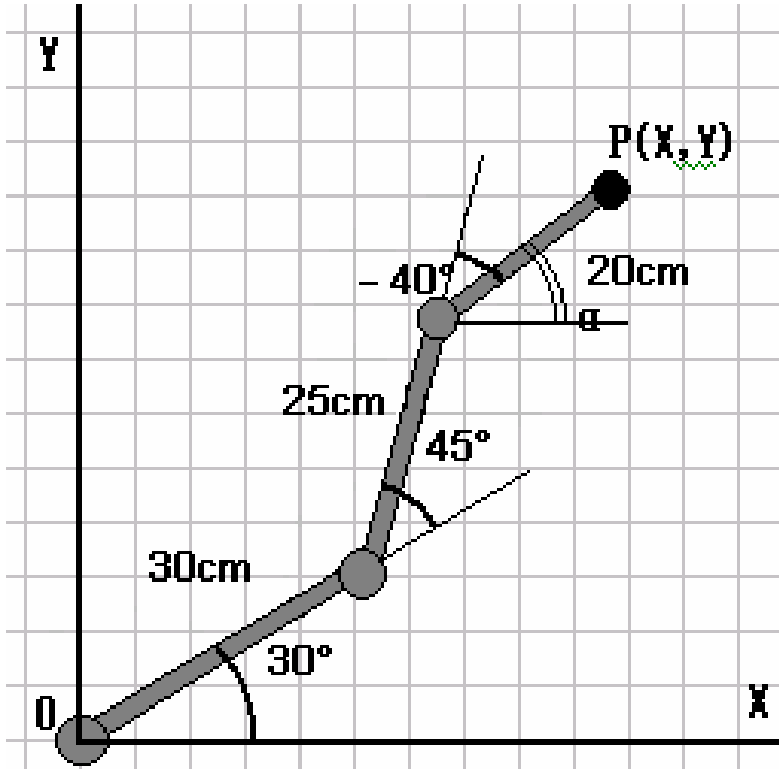
- Örnek: P noktasının X-Y koordinatını ve manipülatör açısını(α) hesaplayınız.

$$\alpha = (30^0 + 45^0) - 40^0$$

$$x = 30 \cdot \cos 30^0 + 25 \cdot \cos(30^0 + 45^0) + 20 \cdot \cos 35^0 = 48.83$$

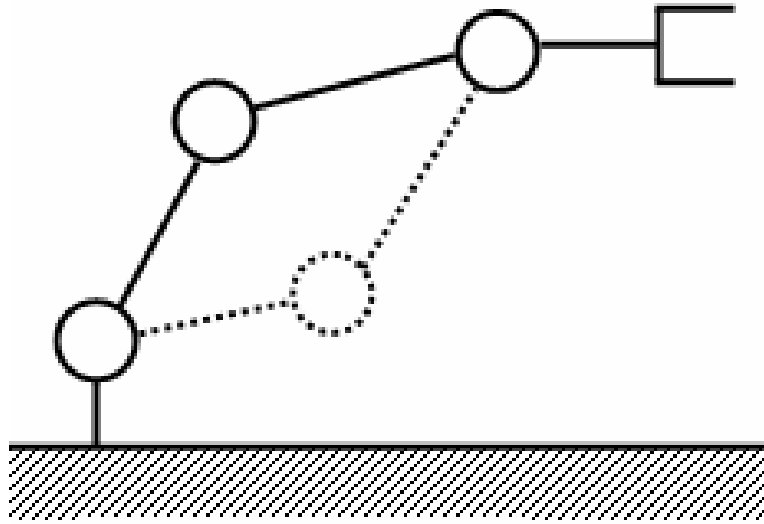
$$y = 30 \cdot \sin 30^0 + 25 \cdot \sin(30^0 + 45^0) + 20 \cdot \sin 35^0 = 50.61$$

$$P(x, y) = P(48.83, 50.61)$$

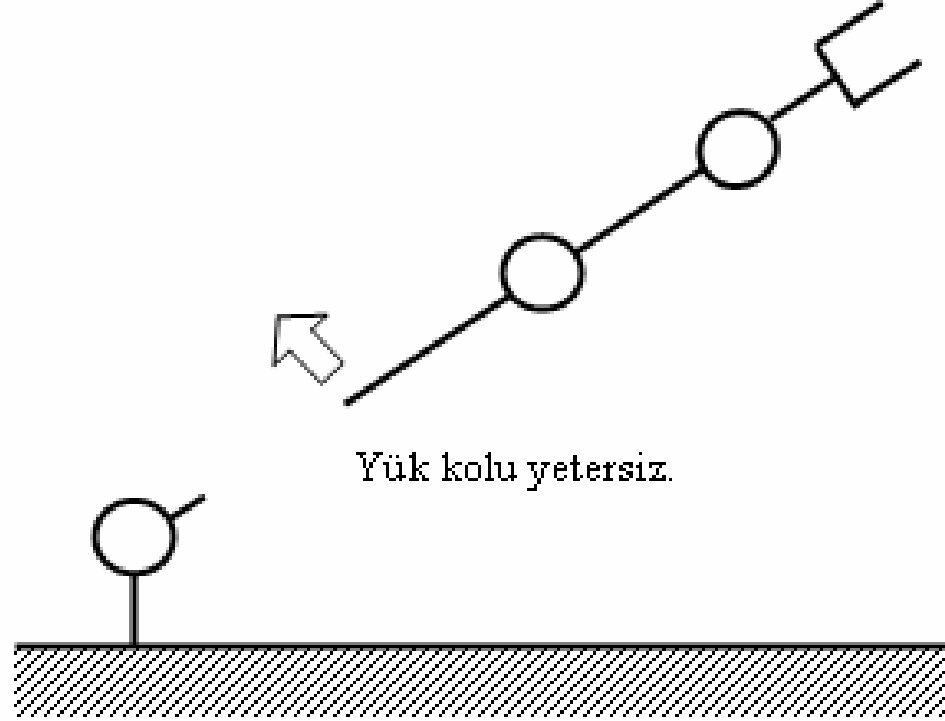


b. Ters Kinematik

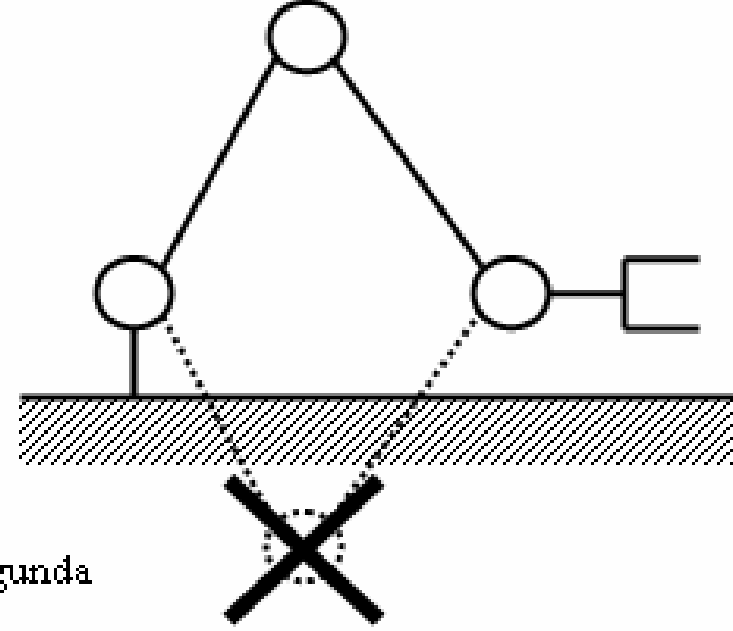
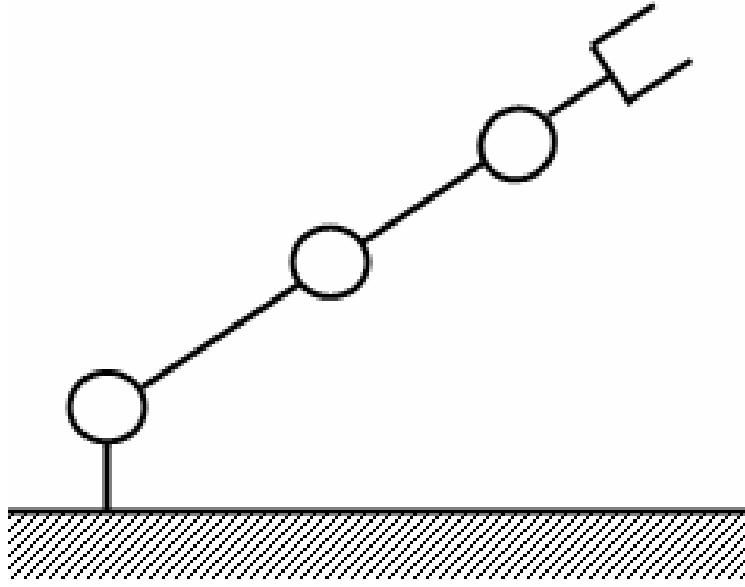
- Robot elinin koordinatlarından mafsal açılarını araştıran hesaba da ters kinematik denir.
- Düz kinematik hesapta yalnız bir çözümler var iken ters kinematikte iki ya da daha fazla olabilir.
- Ters kinematikte hiç bir çözümler de olmayabilir.



(a) İki çözümler olduğunda

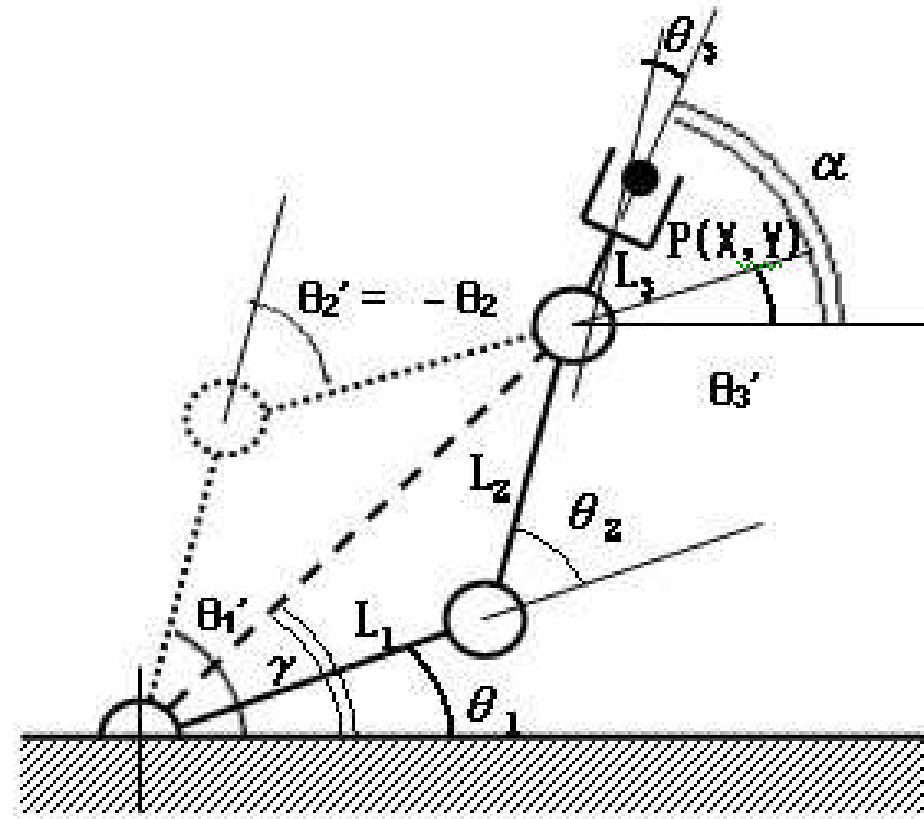
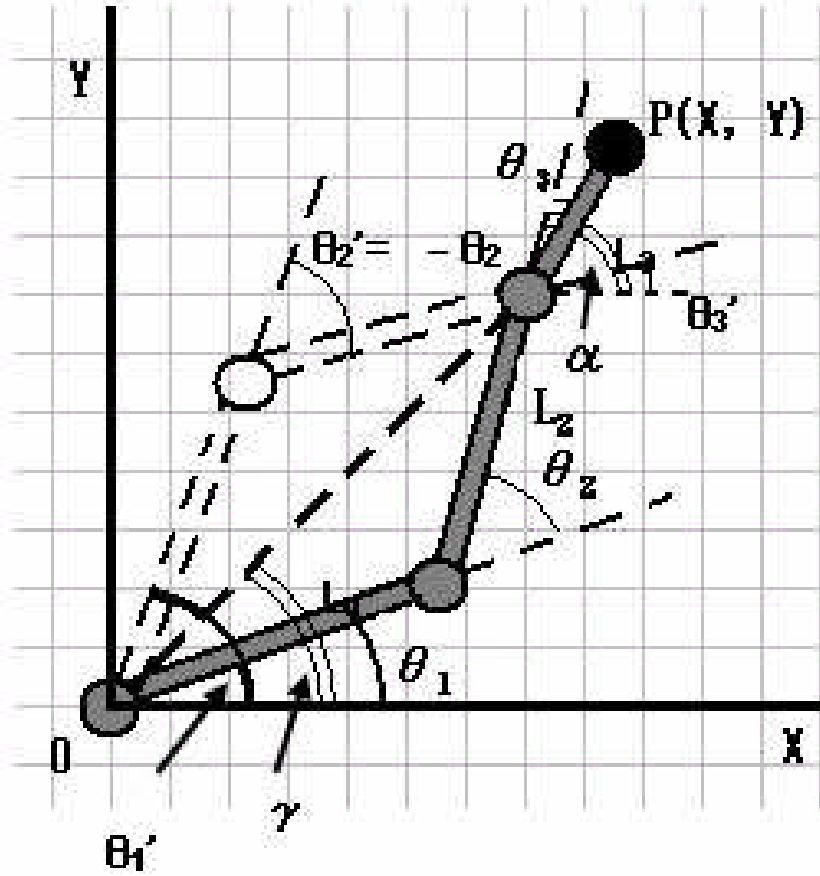


(b) Çözümler olmadığında



(c) Sadece bir çözüm olduğunda

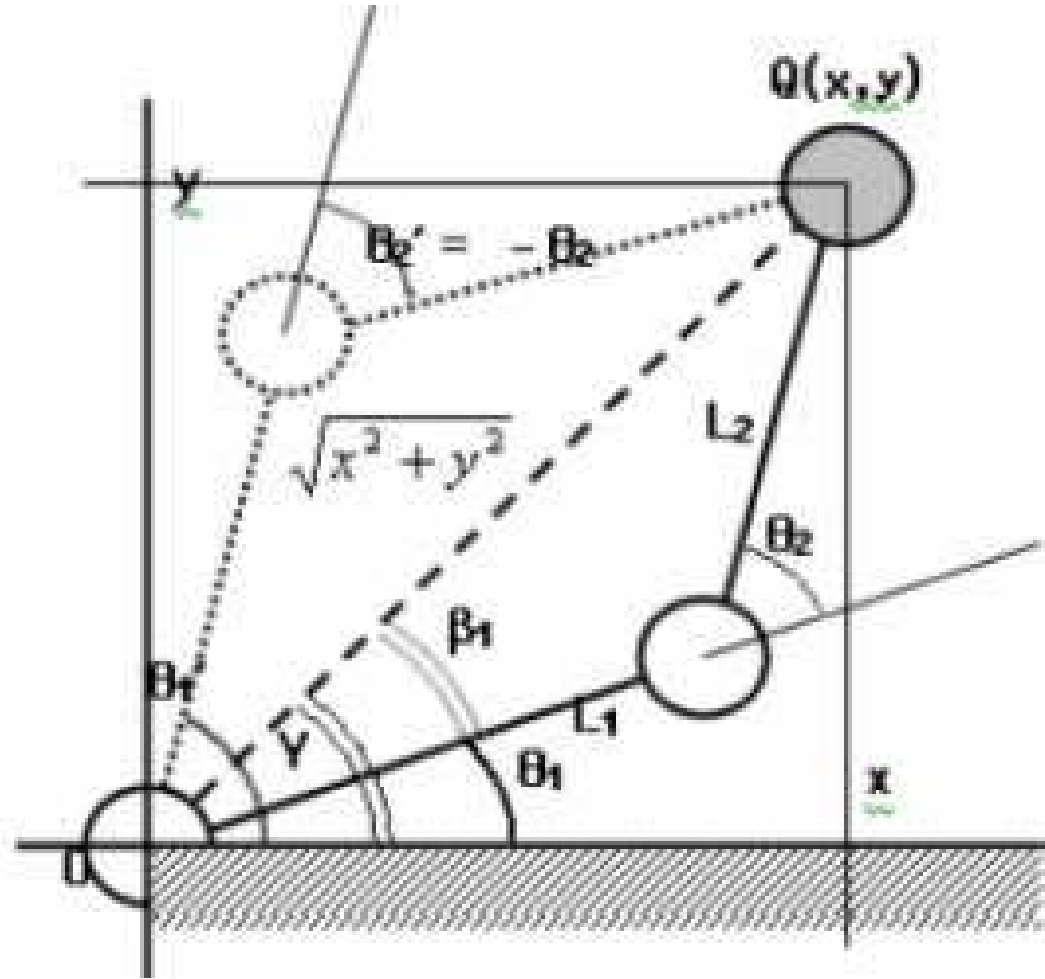
- Manipülâtör α açî değerli $P(X,Y)$ noktasında bulunduğunda θ_1 , θ_2 ve θ_3 açîlarını hesaplar.
- L_1, L_2 ve L_3 kol uzunluğu, P noktası robot kolunun koordinatıdır.



α açısı,

$$Q = \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X - L_3 \cdot \cos \alpha \\ Y - L_3 \cdot \sin \alpha \end{bmatrix}$$

ifadesinden bulunur.



θ_2 açısını bulalım. Aşağıdaki ifade kosinüs teoreminden elde edilebilir

$$(\sqrt{x^2 + y^2})^2 = L_1^2 + L_2^2 - 2.L_1.L_2.\cos \beta_2$$

Buradan β_2 şu şekilde elde edilir;

$$\beta_2 = \cos^{-1}\left(\frac{L_1^2 + L_2^2 - (x^2 + y^2)}{2.L_1.L_2}\right)$$

Bu durumda θ_2

$$\theta_2 = 180^0 - \beta_2 \text{ ve } \theta_2' = -\theta_2$$

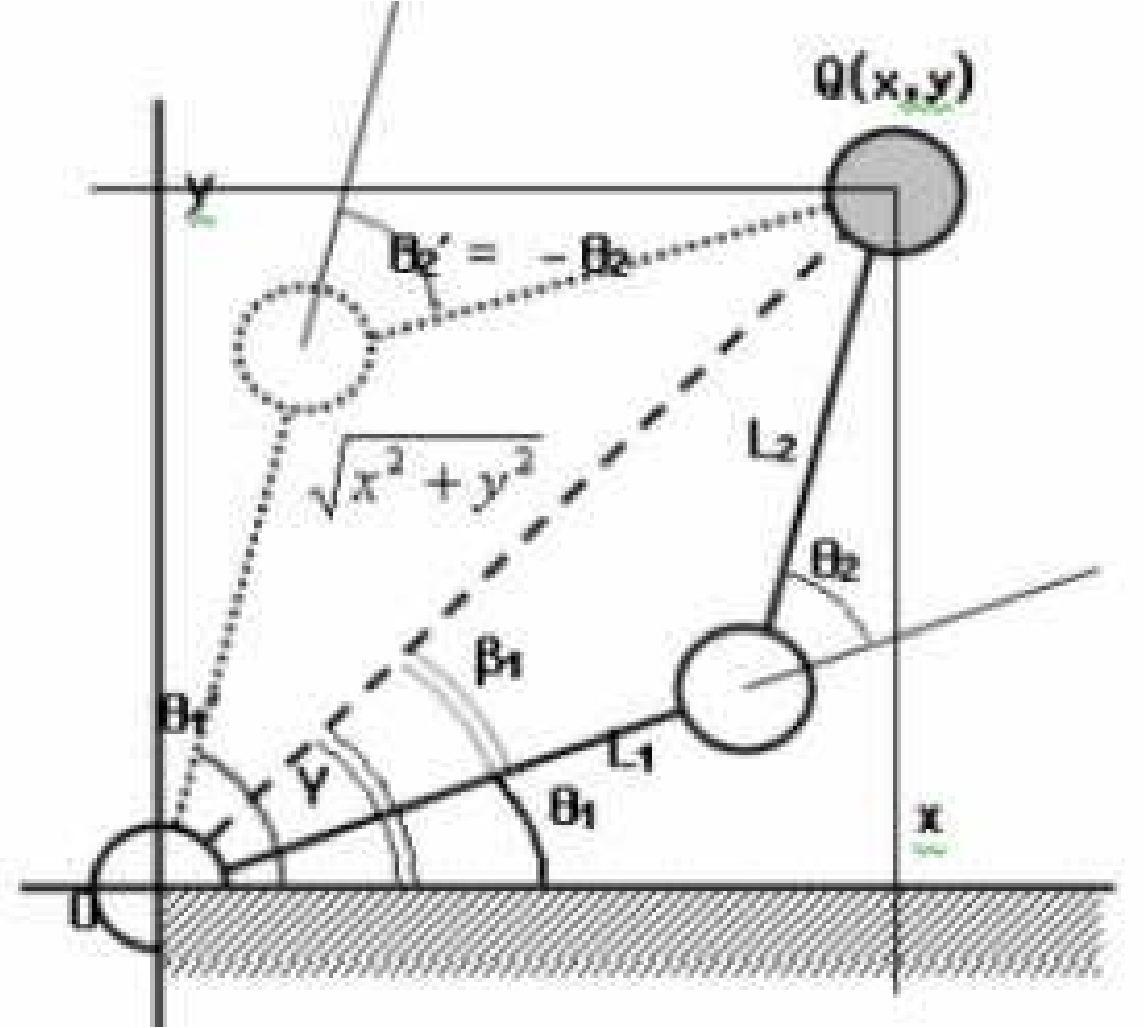
şeklinde elde edilir.

Benzer şekilde θ_1 ve θ_3 de bulunur;

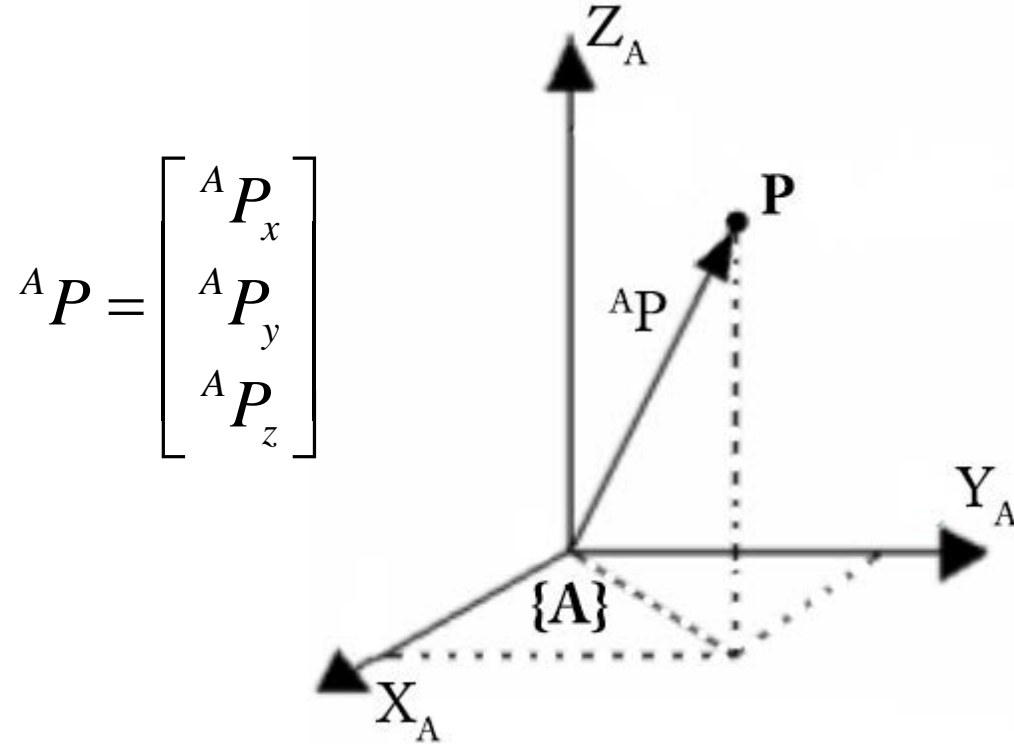
$$\cos \beta_1 = \frac{(x^2 + y^2) + L_1^2 - L_2^2}{2.L_1.\sqrt{x^2 + y^2}}$$

$$\theta_1 = \gamma - \beta_1 \quad \text{ve} \quad \theta_1' = \gamma + \beta_1$$

$$\theta_3 = \alpha - \theta_1 - \theta_2 \quad \text{ve} \quad \theta_3' = \alpha - \theta_1' - \theta_2'$$



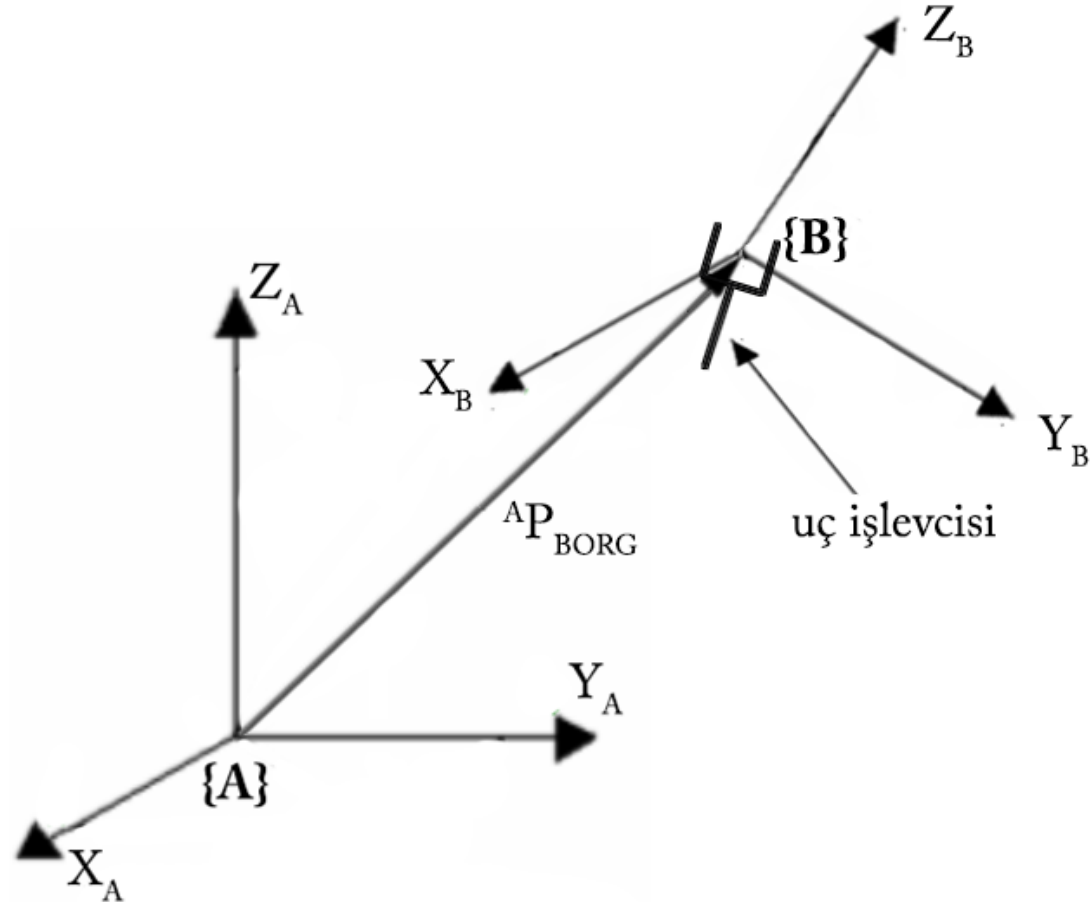
- **Üç Boyutlu Hesaplamalar:**
- Bir nokta koordinat sisteminin merkezine göre tanımlanmış 3x1 boyutlu bir vektörle gösterilebilir. Bu vektör hangi koordinat sistemine göre tanımlanmışsa ona göre isimlendirilir.



P noktasının $\{A\}$ koordinat sistemine göre tanımlanması

- Daha önce belirtildiği gibi robot ve çevresindeki nesnelere koordinat sistemi yerleştirilir.
- Aşağıdaki şekilde bir robotun uç işlevcisinin A noktasına uzaklığını tanımlamak için, A noktasına ve robotun uç işlevcisine koordinat sistemleri yerleştirilmiştir.
- {A} ve {B} koordinat sistemlerinin merkezleri arasındaki uzaklık A noktasıyla uç işlevci arasındaki uzaklıktır ve ${}^A P_{BORG}$ şeklinde gösterilir.

$${}^A P_{BORG} = \begin{bmatrix} {}^A P_{BORG_x} \\ {}^A P_{BORG_y} \\ {}^A P_{BORG_z} \end{bmatrix}$$



- **Örnek:** Üç boyutlu uzayda {A} koordinat sistemine göre $P=(3,4,5)$ noktası veriliyor. Bu P noktasının {A} koordinat sistemine göre konumunu şekil üzerinde gösteriniz.
- **Yönelim:**
- Bir koordinat sisteminin başka bir koordinat sistemine göre dönme miktarıdır ve 3x3 boyutlu bir matrisle ifade edilir.
- Örneğin Uç işlevcisine yerleştirilen {B} koordinat sistemi, {A} referans koordinat sistemi cinsinden ifade etmek için birim vektörler kullanılır. {B} koordinat sisteminin birim vektörlerini aşağıdaki gibi gösterelim;

$$\{B\} = \hat{X}_B, \hat{Y}_B, \hat{Z}_B$$

- {B} koordinat sisteminin birim vektörlerini {A} koordinat sistemi cinsinden ise aşağıdaki gibi gösterebiliriz;

$$\{A\} = {}^A\hat{X}_B, {}^A\hat{Y}_B, {}^A\hat{Z}_B$$

- Bu gösterimi 3x3 boyutlu bir matrisle gösterebiliriz. Bu matris {B} koordinat sisteminin yönelimini {A} koordinat sistemine göre açıkladığı için ${}^A_B R$ şeklinde gösterilir.
- ${}^A_B R$, {B} koordinat sistemlerinin {A} koordinat sistemine göre X,Y,Z eksenlerindeki dönme miktarlarını gösterir.

$${}^A_B R = \begin{bmatrix} {}^A \hat{X}_B & {}^A \hat{Y}_B & {}^A \hat{Z}_B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix}$$

- Bu matrisin her bir kolonu birer birim vektördür. Eğer {B} koordinat sistemi ile {A} koordinat sisteminin merkezleri çakışık ise {B} koordinat sisteminde yer alan \hat{X}_B birim vektörünün yönelimi {A} koordinat sistemine göre ${}^A \hat{X}_B$ şeklinde gösterilip şu şekilde tanımlanabilir,

$${}^A \hat{X}_B = \begin{bmatrix} r_{11} \\ r_{21} \\ r_{31} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} |X_B| |X_A| \cos \gamma_{AB} \\ |X_B| |Y_A| \cos \beta_{AB} \\ |X_B| |Z_A| \cos \alpha_{AB} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \hat{X}_B \cdot \hat{X}_A \\ \hat{X}_B \cdot \hat{Y}_A \\ \hat{X}_B \cdot \hat{Z}_A \end{bmatrix}$$

- Bu durumda ${}^A_B R$ matrisi şu şekilde yazılabilir.

$${}^A_B R = \begin{bmatrix} {}^A \hat{X}_B & {}^A \hat{Y}_B & {}^A \hat{Z}_B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \hat{X}_B \cdot \hat{X}_A & \hat{Y}_B \cdot \hat{X}_A & \hat{Z}_B \cdot \hat{X}_A \\ \hat{X}_B \cdot \hat{Y}_A & \hat{Y}_B \cdot \hat{Y}_A & \hat{Z}_B \cdot \hat{Y}_A \\ \hat{X}_B \cdot \hat{Z}_A & \hat{Y}_B \cdot \hat{Z}_A & \hat{Z}_B \cdot \hat{Z}_A \end{bmatrix}$$

- Daha açık bir şekilde ise;

$${}^A_B R = \begin{bmatrix} |X_B| |X_A| \cos \gamma_{AB} & |Y_B| |X_A| \cos \theta_{AB} & |Z_B| |X_A| \cos \varphi_{AB} \\ |X_B| |Y_A| \cos \beta_{AB} & |Y_B| |Y_A| \cos \phi_{AB} & |Z_B| |Y_A| \cos \delta_{AB} \\ |X_B| |Z_A| \cos \alpha_{AB} & |Y_B| |Z_A| \cos \psi_{AB} & |Z_B| |Z_A| \cos \sigma_{AB} \end{bmatrix}$$

- Bazı matris tanımlamalarını yapalım,
- Bir ortogonal (dikken) matris olan dönme matrisi aşağıdaki gibi tanımlanabilir,

$$R = \begin{bmatrix} \hat{X} & \hat{Y} & \hat{Z} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix}$$

- Matris elemanlarının ortogonallik ve birim özellikleri ise şu şekildedir;

$$\hat{X}.\hat{X} = 1, \quad \hat{Y}.\hat{Y} = 1, \quad \hat{Z}.\hat{Z} = 1$$

$$\hat{X}.\hat{Y} = 0, \quad \hat{Y}.\hat{Z} = 0, \quad \hat{X}.\hat{Z} = 0$$

$$|\hat{X}| = 1, \quad |\hat{Y}| = 1, \quad |\hat{Z}| = 1$$

- {A} koordinat sisteminin {B} koordinat sistemine göre tanımlayan ${}^B_A R$ matrisi ise ${}^A_B R$ matrisinin devriğine (transpozuna) eşittir.