



# PUMA TİPİ ROBOT İLE İNSAN KOLU HAREKETLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI; ALTERNATİF BİR ROBOT KOL OMUZ TASARIMI

**Mustafa BOZDEMİR\*, Esat ADIGÜZEL\*\***

\*Pamukkale Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Makine Bölümü, Denizli

\*\*Pamukkale Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Anatomi Anabilim Dalı, Denizli

Geliş Tarihi : 17.11.1998

## ÖZET

Robot kollarının insan gücü yerine kullanımı, son yıllarda giderek yaygınlaşmaktadır. Kullanım alanının genişlemesi, robot kolunun hareket yeteneğinin gelişimine paraleldir. Bu çalışmada robot kollarının gelişmiş bir sistemi olan PUMA Robot Kol Sistemi insan kolu ile hareket açısından karşılaştırıldı. PUMA Robot Kol Sistemi'ne, insan omuz eklemine benzer hareketler yapabilmesi için yeni bir mafsal eklendi. Bu sayede, ön ve arkaya hareket edebilmesinin yanı sıra, yana doğru açılma hareketi de yapabilen bir omuz tasarlandı.

**Anahtar Kelimeler :** Robot kol sistemi, Omuz mafsalı

## COMPARING PUMA ROBOT ARM WITH THE HUMAN ARM MOVEMENTS; AN ALTERNATIVE ROBOTIC ARM SHOULDER DESIGN

### ABSTRACT

Using the robotic arms instead of human power becomes increasingly widespread nowadays. Widening of the robotic arms usage field is parallel to improvement of movement capability of it. In this study PUMA Robotic Arm System that is a developed system of the robotic arms was compared with a human arm due to movement. A new joint was added to PUMA Robotic Arm System to have the movements similar to the human shoulder joint. Thus, a shoulder was designed that can make movements through the sides in addition to fore and back movement.

**Key Words :** Robotic arm system, Shoulder joint

### 1. GİRİŞ

Günümüz endüstri sahalarında robot sistemler, problemlere hızlı ve hassas çözümler getirmeleri, insan sağlığı ve güvenliğine zararlı olan pek çok faktörden etkilenmemelerinden dolayı tercih edilmektedir. Bu sahaların başında otomobil imal ve montaj, ilaç sanayi, nükleer santraller vb. sektörler vardır (Bozdemir, 1996).

Robot kollarının hareket yeteneklerinin geliştirilmesi, kullanım alanlarını arttırmaktadır. Bu alanlarda kullanılan en gelişmiş tiplerden birisi PUMA tipi Robot Kol Sistemleridir. Ancak yinede

robot kolunun hareketleri, insan koluna göre bazı açılardan kısıtlıdır.

Bu çalışmada, robot kolu ile insan kolunu karşılaştırarak, robot kolu omuz eklemine yeni bir hareket eksenini kazandırmayı amaçladık.

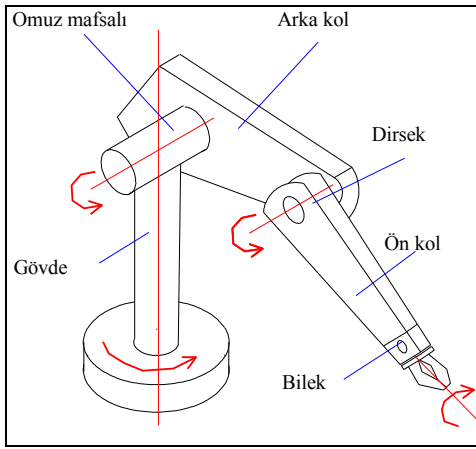
### 2. SİSTEM TASARIMI İHTİYACI

İnsan sağlığının tehlike altında olduğu işlerde, işin yapılabilmesi için, kısmen insan vücudunun hareketlerini taklit eden makinelerin yapılması istemi değişik robot kol sistemleri, bilek

mekanizmaları ve uç elemanların ortaya çıkmasına neden olmuştur (Bulca, 1990).

Robot kol sistemleri, iş sahalarının karmaşıklığına ve yapılacak işin zorluğuna göre değişik tiplerde yapılabilir. İş alanlarının durumuna göre kartezyen, silindirik, küresel ve mafsallı tip robot sistemlere özel eklemler ve bağlantılar ekleyerek özellikleri artırılabilir (Rankly, 1985).

Robot kol sistemleri özelliklerinin artırılması ve yeni hareket eksenleri kazandırması için model olarak insan vücudu kullanılabilir. Bu model esas alınarak yapılmış olan PUMA tip mafsallı robot sistemleri hareketleri 6 serbestlik derecesine sahiptir (Pouli, 1981), (Şekil 1).



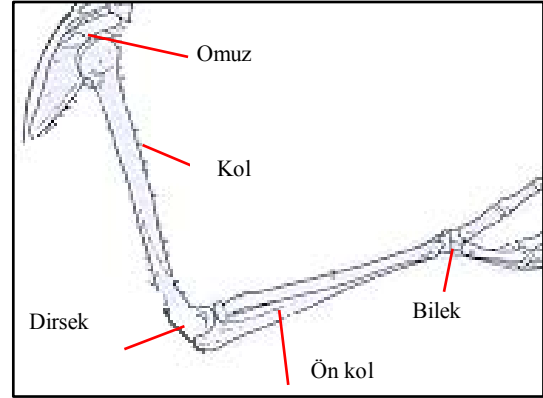
Şekil 1. PUMA robot kol sistemi hareket eksenleri ve bağlantı biçimi (Konukseven, ve Kaftanoğlu 1990)

PUMA robot kol sistemlerinin hareket şekilleri tıpkı insan kolunda olduğu gibi omuz, dirsek ve bilek eklemlerinin hareket kombinasyonu ile oluşur. PUMA tip robot kol sistemleri çok gelişmiş bir iş alanına ve hareket hassasiyetine sahip olmasına rağmen, insan kolunun omuz serbestliğine ulaşamamıştır. Bunun nedeni ise insan kolu omuz ekleminin çok gelişmiş ve karmaşık hareket sistemine sahip olmasıdır (Dere, 1990; Arıncı ve Elhan, 1997).

### 3. İNSAN OMUZU ANATOMİK YAPISI

İnsan organizmasında üst üyeler oldukça hareketlidir. Bu geniş hareket olanağı ancak geniş hareket açısına sahip eklemler tarafından sağlanır. Üst üye; omuz, kol, önkol ve el olmak üzere dört bölüme ayrılır (Dere, 1990; Gray 1992; Arıncı ve Elhan, 1997), (Şekil 2). Bu yapının benzeri, PUMA tip robot sistemlere aktarılmıştır. Robotta, el

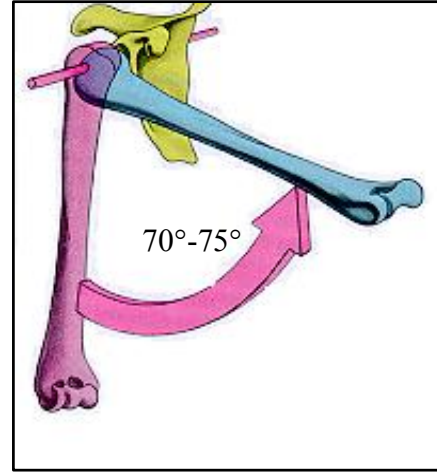
mekanizması, yapılacak işin özelliğine göre değişik şekillerde tasarlanmaktadır (Bulca, 1990).



Şekil 2. İnsan kolu eklem bağlantı şekli (Gray, 1992)

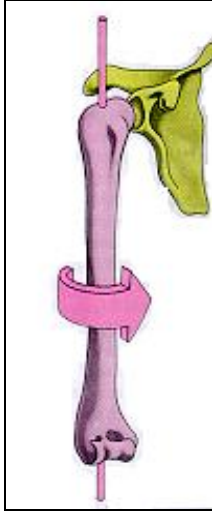
İnsan omuz eklemi, küresel yapısı sayesinde aynı anda 3 eksende hareket yapabilmektedir.

Bunlardan birincisi, soldan sağa doğru geçen, yere paralel eksende yapılan, kolun öne (fleksiyon) ve arkaya (Ekstensiyon) doğru yaptığı açısal hareketlerdir. Bu sayede insan kolu  $70^{\circ}$ - $75^{\circ}$  öne,  $40^{\circ}$ - $45^{\circ}$  arkaya doğru toplam  $120^{\circ}$  hareket edebilir (Odar, 1980; Çimen, 1992; Gray, 1992; Arıncı ve Elhan 1997). (Şekil 3).



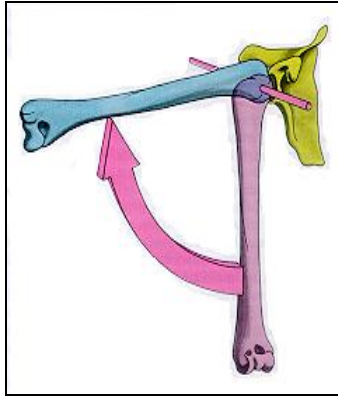
Şekil 3. İnsan kolu fleksiyon ve ekstensiyon açıları (Gray, 1992)

İkinci hareket ise kolun kendi eksenini etrafında dönme (rotasyon) hareketidir. Bu hareket küresel eklem başı sayesinde  $90^{\circ}$ 'ye kadar gerçekleşir (Çimen, 1992; Arıncı ve Elhan, 1997), (Şekil 4). PUMA dahil diğer tip robot kol sistemlerinde rotasyon hareketi omuz mafsalı yerine bilek mekanizmasında  $360^{\circ}$ 'ye kadar yaptırılabilir.



Şekil 4. İnsan kolu rotasyon açısı (Gray, 1992)

Üçüncü hareket ise kolun, önden arkaya doğru seyreden, yere paralel ekseninde yaptığı yana doğru açılma (Abduksiyon) ve vücuda yaklaşma (Adduksiyon) hareketidir. İnsan kolu, omuz ekleminde  $120^\circ$  yana açılabilir ve  $15^\circ$ 'ye kadar vücuda yaklaştırılabilir (Çimen, 1992; Arıncı ve Elhan, 1997), (Şekil 5). Bu hareket, PUMA tipi robot kollarda bulunmamaktadır.



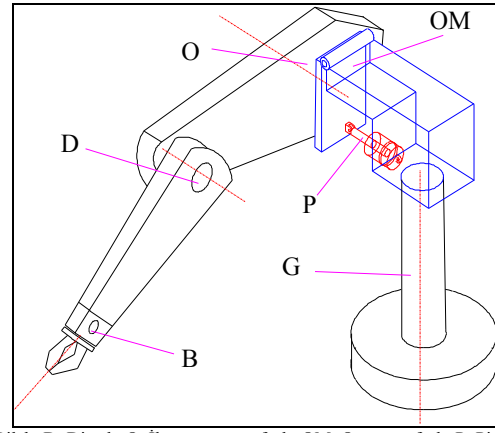
Şekil 5. İnsan kolu (Abduksiyon) ve (Adduksiyon) açısı (Gray, 1992).

#### 4. ROBOT KOL OMUZ TASARIMI

Robot kol sistemleri çalışacakları yer ve ortama göre planlanıp üretilirler. Endüstride kullanılan bazı robot sistemler çok basit hareketler yaparlar. Bunlar için özel mekanizmalar kullanmaya gerek yoktur. Prizmatik ve silindirik tipteki mafsallarla gerekli hareketleri sağlanabilmektedir. PUMA ve benzeri tip mafsallı robot kol sistemlerinde, insan kol hareketlerini yapabilecek şekilde tasarlanmış olduklarından, karmaşık yapıya sahip mafsalların kullanılması gerekmektedir (Ranky, 1985).

Robot sistemlerde kullanılan mafsal ve elemanların karmaşık yapıya sahip olması, ilgili mafsalların konum, hız ve ivme gibi değerlerinin hesaplanmasında karşımıza bazı zorluklar çıkarır. Özellikle konum koordinatları, mafsal hızları, ivmeleri ve statik güçlerin hesaplanması gerekir (Craig, 1985).

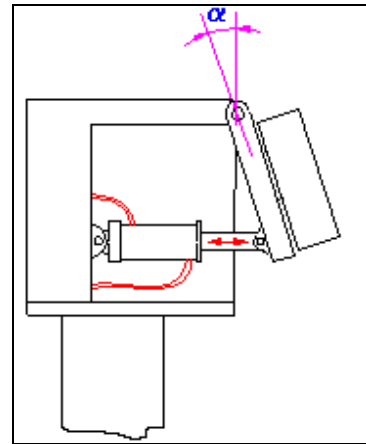
İnsan kolu hareketi olan vücuttan uzaklaşma ve yaklaşma hareketi, robot omuz sisteminde olmamasına rağmen özel bir mekanizma ile robot kol hareketlerine kazandırılabilir. Şekil 6 ve 7'de omuza gövdeden yaklaşma ve uzaklaşmasını sağlayacak bir mekanizma sisteminin resmi görülmektedir.



B: Bilek, D: Dirsek, O: İlave omuz mafsali, OM: Omuz mafsali, P: Piston, G: Gövde

Şekil 6. Omuz sistemi eklenen robot kolu

Robot kol sistemine yerleştirilen bu mekanizma omuz mafsalının daha önceden yapmış olduğu dönme hareketine engel olmamaktadır. Kolun dönme hareketini sağlayan mafsal ve motoru, uzaklaşma ve yaklaşma hareketini yapacak mafsal üzerine montaj edilecektir (Şekil 7).



Şekil 7. Omuz sistemi eklenen mafsalın piston hareketi

Bu sayede kol, istenilen açılma hareketini yaparken, aynı zamanda gövdeye yaklaşma yada uzaklaşma hareketiyle insan kolu omuz eklemine hareket özelliklerine sahip olacaktır.

Mekanizmanın esası, hidrolik sistemle çalışan bir piston ve bu pistonun ilerlettiği kol bağlantı mafsalından oluşur. Pistonun kolunun uzunluğu ve montaj durumu robot kolunun gövdeden uzaklaşma yada yaklaşma hareketini etkilemektedir. Böylelikle kol sistemin çalışacağı yere göre hareket sınırları ayarlamaları yapılabilmektedir.

Pistonun ileri-geri hareketinin oranları sayesinde kolun istenilen miktarda uzaklaşma-yakınlaşma hareketinin yapılması sağlanabilmektedir. Pistonun ileriye hareketi robot kola gövdeden uzaklaşma hareketini yaptırır.

Bu hareketin miktarı piston ve mekanizmanın ölü nokta sınırına kadar artırılabilir. Pistonun geri hareketinin sağlanmasıyla da kol tekrar gövdeye yaklaştırılır. Yaklaşma açısı uzaklaşma hareketinin başlangıç noktasına ve gövdenin temel eksenine göre negatif bir açı miktarında sistemin ihtiyacına göre ayarlanabilir.

## 5. SİSTEM HAREKET ANALİZİ

PUMA tip robot kol sistemlerin hareket alanları kol mafsal uzunluklarıyla orantılı olan bir küre şeklindedir. Bu kürenin dış yarıçapı kolların en fazla açılabilirdiği uzunluk, iç yarıçapı ise ön kolun maksimum kapanma mesafesidir.

Bu iki yarıçap ve bel hareket açısı arasındaki alan robot kolun standart hareket sahasını oluşturmaktadır. Bu sistem içerisinde hareketler dairesel şekilde gerçekleşmektedir.

Puma robotuna ait eklem değişkenleri ve bu değişkenlere ait olan konum denklemleri aşağıda çıkarılmıştır (Tablo 1).

Tablo 1. Puma 560 Robotu Eklem Değişkenleri (Craig, 1981)

Kol	$\theta_i$	$\beta_i$	$a_{i-1}$	$d_i$	$\cos \beta_i$	$\sin \beta_i$
1	$\theta_1$	0	0	0	1	0
2	$\theta_2$	-90	0	0	0	-1
3	$\theta_3$	0	$a_2$	$d_3$	1	0
4	$\theta_4$	-90	$a_3$	$d_4$	0	-1
5	$\theta_5$	90	0	0	0	1
6	$\theta_6$	-90	0	0	0	-1

Yukarıda tabloda çıkarılan değişkenlere göre Puma tip robotun uç eleman konum denklemleri ise;

$${}^0T = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & px \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & py \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & pz \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$r_{11} = c_1[c_{23}(c_4c_5c_6-s_4s_6)-s_{23}s_5c_6] + s_1(s_4c_5c_6+c_4s_6)$$

$$r_{21} = s_1[c_{23}(c_4c_5c_6-s_4s_6)-s_{23}s_5] - c_1(s_4c_5c_6+c_4s_6)$$

$$r_{31} = -s_{23}(c_4c_5c_6-s_4s_6) - (c_{23}s_5c_6)$$

$$r_{12} = c_1[c_{23}(-c_4c_5s_6-s_4c_6)+s_{23}s_5s_6] + s_1(c_4c_6-s_4c_5s_6)$$

$$r_{22} = s_1[c_{23}(-c_4c_5s_6-s_4c_6)+s_{23}s_5s_6] - c_1(c_4c_6-s_4c_5s_6)$$

$$r_{32} = -s_{23}(-c_4c_5s_6-s_4c_6) + (c_{23}s_5s_6)$$

$$r_{13} = -c_1(c_{23}c_4s_5+s_{23}c_5) - s_1s_4s_5$$

$$r_{23} = -s_1(c_{23}c_4s_5+s_{23}c_5) + c_1s_4s_5$$

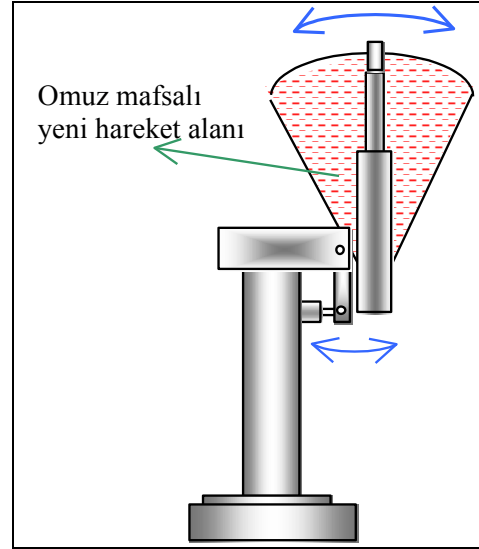
$$r_{33} = s_{23}c_4s_5 - c_{23}c_5$$

$$p_x = c_1[a_2c_2+a_3c_{23}-d_4s_{23}] - d_3s_1$$

$$p_y = s_1[a_2c_2+a_3c_{23}-d_4s_{23}] + d_3c_1$$

$$p_z = -a_3s_{23} - a_2s_2 - d_4c_{23}$$

Eğer uç elemana düzlemsel bir hareket verilirse omuz, kol ve bilek mafsal açıları birbirine bağımlı olarak hesaplanması ile hareketin sürekliliği sağlanabilir. Tasarlanan robot omuz mafsalı sayesinde robot kol bel eksenine paralel olan düzlemde, hareket sınır açıları dahilinde kol açılarını değiştirmeden düzlemde temas ederek hareket edebilir (Şekil 8).



Şekil 8. Omuz mafsalı geliştirilen robotun yeni hareket alanı

## 6. SONUÇ

Bu şekildeki hareket ile ilgili düzlem üzerinde farklı noktalarda delik açma, vida montajı, kaynak yapma, boya vs. işleri daha kolay yapılabilir.

Robot kol sistemlerine insan kol hareketlerini taklit ettirmek mümkündür. Yapıtırlacak hareketlerin bilgisayar ortamında hesaplanabilmesini sağlamak amacıyla, kullanılan mafsalların geometrik modellerinin aşırı karmaşık olması istenmez.

Gelişmiş bir robot kol sistemi olan PUMA robot kol sistemi, ilave edilmek üzere tasarladığımız ek omuz mafsalı sayesinde robot kolunun hareket alanını genişletmek mümkün olmaktadır. Bu ilave mafsal robot kolunun kullanım alanını da genişletebilir (Tablo 2).

Tablo 2. İnsan Kolu Omuz Hareket Açılı ve Tasarlanan Robota Ait Omuz Hareket Açılarının Sayısal Olarak Karşılaştırılması (Arıncı ve Elhan, 1997)

HAREKETLER	Fleksiyon (Kapanma)	Ekstensiyon (Öne Açılma)	Abduksiyon (Yana Açılma)	Adduksiyon (Yaklaşma)	Rotasyon (Dönme)
İnsan Omuz Eklemi	70° - 75°	40° - 45°	100° - 120°	15°	90°
PUMA Omuz Mafsalı	180° *	180° *	0°	0°	0°
Geliştirilen Omuz Mafsalı	180° *	180° *	40° *	10° *	0°

(\*) Sistem özelliklerine göre değiştirilebilir

## 7. KAYNAKLAR

Arıncı, K., Elhan, E. 1997. Anatomi. 1 (2), 104-108. Güneş Kitabevi Ltd. Şti. Ankara.

Bozdemir, M. 1996. Robot Sistem Elemanları ve Hareket Analizleri, Gazi Ün. Y. Lisans Tezi.

Bulca, F. 1990. Robot Sistemlerde Kullanılan Uç Elemanları ve Tutucu Sensörleri, Mühendis ve Makine, 31 (367), 5-11.

Craig, J. 1985. Introduction To Robotic : Mechanics and Control, 1-8.

Çimen, A. 1992. Anatomi, 3. Baskı. Uludağ Ün. Basımevi, Bursa, s. 68-69.

Dere, F. 1990. Anatomi, 2. Baskı. Okullar Pazarı Kitabevi, s. 52-53, Adana.

Gray, H. 1992. Gray's Anatomy, 37 th Ed., Edited By Williams PL, Dyson M. Churchill Livingstone, Great Britian, pp: 501-504.

Konukseven, E. ve Kaftanoğlu, B. 1990. Grafiksel Robot Simülasyonu ve Puma Tipi Bir Robotun Programlanması, 4. Ulusal Makine Sempozyumu Bildirileri, ODTÜ, 213-223.

Odor, İ. V. 1980. Anatomi, 12. Baskı. s. 97-201, Ankara.

Pouli, R. 1981. Robot Manipulators Mathematic, Programing and Control.

Rankly, H. 1985. Robot Modelling Control And Applications With Software, IFS (Publucations) Ltd. UK. Springer-Verlag. Winter D. A., "Measurement and Reduction of Noise in Kinematics of Locomotion", Journal of Biomechanics, Volume 1, p. 157-159, 1974.