



ISSN:1306-3111

e-Journal of New World Sciences Academy  
2011, Volume: 6, Number: 1, Article Number: 1A0168

**ENGINEERING SCIENCES**

Received: October 2010

Accepted: January 2011

Series : 1A

ISSN : 1308-7231

© 2010 www.newwsa.com

**İsmail Temiz**

**Sezai Taşkın**

**Yalçın Kanat**

Marmara University

itemiz@marmara.edu.tr

Istanbul-Turkey

**ÇOK EKSENLİ HAREKET KONTROLÜNÜN BİR MANİPÜLATOR KOLU ÜZERİNDE TASARIMI VE UYGULAMASI**

**ÖZET**

Bu çalışmada, küresel koordinat sistem yapısında robot manipülatör kol tasarımı ve uygulaması gerçekleştirilmiştir. Sistem, iki platform üzerinde ve üç boyutlu uzayda maksimum hareket kabiliyetine sahip olarak tasarlanmıştır. Dönme hareketleri platformların konumunu kontrol eden, servo motorlar ile doğrusal hareket ise tek etkili pnömatik silindir aracılığıyla sağlanmıştır. Malzeme tutma-bırakma işlemi son etki elemanı olan gripper tarafından yapılmaktadır. Sistemin belirtilen çalışma eksenlerindeki konum kontrolü, Siemens Simotion D-425 çok eksenli hareket kontrolörü ile yapılmıştır. Kontrol yazılımı olarak ise Simotion Scout programı kullanılmıştır. Oluşturulan çeşitli çalışma senaryolarına ait uygulamalarda, sistemin başarılı sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Robot Manipülatör Kol, Simotion Scout, Servo Motor, Çok Eksenli Hareket Kontrolü, Mekatronik Sistem

**DESIGN AND IMPLEMENTATION OF THE MULTI AXIS MOTION CONTROL ON A MANIPULATOR ARM**

**ABSTRACT**

In this study, the design and implementation of robotic manipulator in the spherical coordinate system structure has been realized. The system has been designed to be capable of maximum mobility on two platforms and three dimensional spaces. While rotational movements of the platforms have been controlled by the servo motors, linear motion is provided by single acting pneumatic cylinder. Materials pick and place process is carried out by a pneumatic gripper. Axis position control of the system is realized by the Siemens Simotion D-425 multi axis motion controller. Simotion Scout program is used as control software. The designed system has given good results for different operating scenarios.

**Keywords:** Robot Manipulator Arm, Simotion Scout, Servo Motor, Multi Axis Motion Control, Mechatronic System

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Endüstriyel sistemlerde işlem hızını, kaliteyi ve verimi artırmak, hatayı mümkün olduğunca sifıra yaklaştırmak amacıyla insan faktöründen kaynaklanan olumsuz etkileri azaltma yönünde hızlı bir gelişme süreci yaşanmaktadır. Bu gelişmelere bağlı olarak robotik sistemlerin endüstri alanında önemli bir konuma gelmeye başladıkları görülmektedir.

Endüstriyel tip bir robot manipülatörün birçok tanımı bulunmakla birlikte, bu tanımlardan en kapsamlı olanı ISO 8373 standardında belirtilmiştir. Bu standarda göre robot: "Endüstriyel uygulamalarda kullanılan sabit veya hareketli olabilen, üç veya daha fazla programlanabilir eksene sahip, otomatik kontrollü, yeniden programlanabilir çok amaçlı manipülatördür" [1]. Robot manipülatör tasarımında, kontrol sistemlerinin ve programlamanın en geniş doğruluk sınırları içinde yapılandırılması gerekmektedir.

Çalışma konusu kapsamında yer alan literatür çalışmalarından bir kısmı burada kısaca özetlenmiştir. Uyar, E. ve Koyuncu A., tarafından yapılan çalışmada, iki eksenli elektro-pnömatik manipülatör kolunun tasarımı ve hareket kontrolü gerçekleştirilmiştir [2]. Lange, F. vd. tarafından yapılan çalışmada, araç gövdesine teker yerleştirmek için kullanılan endüstriyel tip bir robotun yapısı ve görevleri incelenmiştir [3]. Çengelçi, B. ve Çimen, H., endüstriyel robot kolları hakkında genel bilgilerin verildiği bir çalışma yapmışlardır [4]. Çalışkan, Ö., PLC ve kontrol sistemleri, servo motorlar, sürücüler ve pnömatik sistemleri büküm yapan bir tekstüre iplik makinesinde yapılandırmıştır [5]. Özçelikyıldız, B., beş serbestlik dereceli endüstriyel tip bir robot manipülatörün tasarımı ve kontrolü yapılmıştır [6]. Eren, İ., tarafından yapılan çalışmada, AA motorlar ile tahrik edilen bir endüstriyel robotun bilgisayar programı aracılığı ile eksen kontrolü yapılmıştır [7]. Tekerek, M., üretim sisteminde görüntü işleme tekniği ile robotik eğitim modeli geliştirmiştir [8]. Arıkan, M., endüstriyel robotlar ve üretimde uygulama alanları hakkında kaynak bir yapı oluşturmuştur [9].

Bu çalışmada, küresel koordinat sistem yapısında robot manipülatör kol tasarımı ve uygulaması gerçekleştirilmiştir. Sistemin belirtilen çalışma eksenlerindeki konum kontrolü, Siemens Simotion D-425 çok eksenli hareket kontrolörü ile gerçekleştirilmiştir.

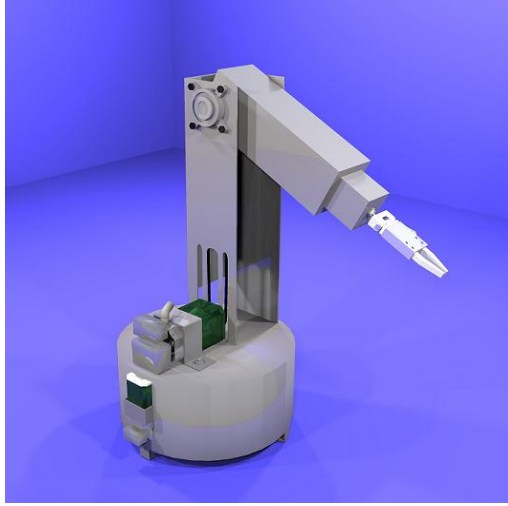
## 2. ÇALIŞMANIN ÖNEMİ (SIGNIFICANCE OF RESEARCH)

Bu çalışma ile prototip bir manipülatör kolun tasarımı ve uygulaması gerçekleştirilmiştir. Robot manipülatör kolun temel yapısı açık mimari olarak tasarlanmıştır. Bu yapı göz önünde bulundurularak, endüstriyel tip robot manipülatör kolların tasarım ve yapısı hakkında belirli bir düzeyde fikir vermesi açısından teknik eğitim amaçlı olarak kullanılabilir özelliktedir.

## 3. SİSTEM TASARIMI (SYSTEM DESIGN)

Robot manipülatör kolun temel yapısı, küresel koordinat sistemine uyumlu bir ardışık hareket sistemine göre tasarlanmıştır. Ardışık hareket sisteminin algoritması, istenilen hareket akışına uyumlu konum-hız birleşimi ile elde edilmektedir. Öncelikle robot manipülatör sistemi içeriğinde referans noktalarına göre çalışma uzayı belirlenir. İstenen hareket yapısına göre birinci eksen konumu x-y yatay düzleminde hareket konumunu belirler. İkinci eksen tanımlaması z-(x,y) dikey düzleminde hareketi sağlayacaktır. İlk iki hareket açısal, üçüncü eksen hareketi ise doğrusal harekettir. Üçüncü eksen son etki elemanının gideceği noktayı belirler ve tasarlanan konuma ulaşılır.

Proje yapılandırmasına uygun olarak sistem yapısının üç boyutlu (3D) modeli bilgisayar ortamında çizilmiş ve gerekli analizler yapılmıştır. Sistemin tasarlanan yapısına ait 3D görünümü Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Robot manipülatör kola ait 3D görünüş  
(Figure 1. 3D view of the robot manipulator)

#### 4. SİSTEMİN YAPISI (STRUCTURE OF THE SYSTEM)

Çalışma kapsamında hazırlanan robot manipülatör kolun yapısı, tasarım mimarisine göre projelendirilip uygulama aşamaları sırasıyla gerçekleştirilmiştir. Sistem yapısı için gerekli devre elemanları, elektrik-kumanda sistemi ve mekanik sistem olarak iki sınıf içeriğinde ifade edilmiştir.

##### 4.1. Elektrik Kontrol Sistemi (Electrical Control System)

Elektrik-kumanda sistemi, manipülatör kol için kullanılan kontrol elemanı ve kol hareketlerini sağlayan servo motorları içermektedir.

Kontrol elemanı olarak Siemens Simotion D425 kullanılmıştır. Simotion D425 sürücü tabanlı işlemler için uygun şekilde yapılandırılmıştır. Simotion D, Simotion hareket kontrol fonksiyonları ve Sinamics sürücü yazılımını bir Sinamics donanım aygıtı üzerinden çalıştırır. Hareket kontrol teknolojisi ve PLC işlevselliği doğrudan sürücü içine entegre edilmiştir [10].

Servo motorlar, geri besleme elemanından gelen veri ile referans veri arasındaki farka göre konum ve hız kontrolü yapabilen motorlardır. Servo motorlar sistemdeki ani değişimlere cevap verebilecek şekilde tasarlanırlar. Yapılarında bir geri bildirim elemanı olarak enkoder ve gerekli elektronik devreler bulunur. Çalışma kapsamında kullanılan servo motorlar model olarak 1FK7 serisi senkron servo motorlardır. 1FK7 senkron servo motorlar, sabit mıknatıslı senkron motor teknolojisine sahip motorlardır [10].

##### 4.2. Mekanik Sistem (Mechanical System)

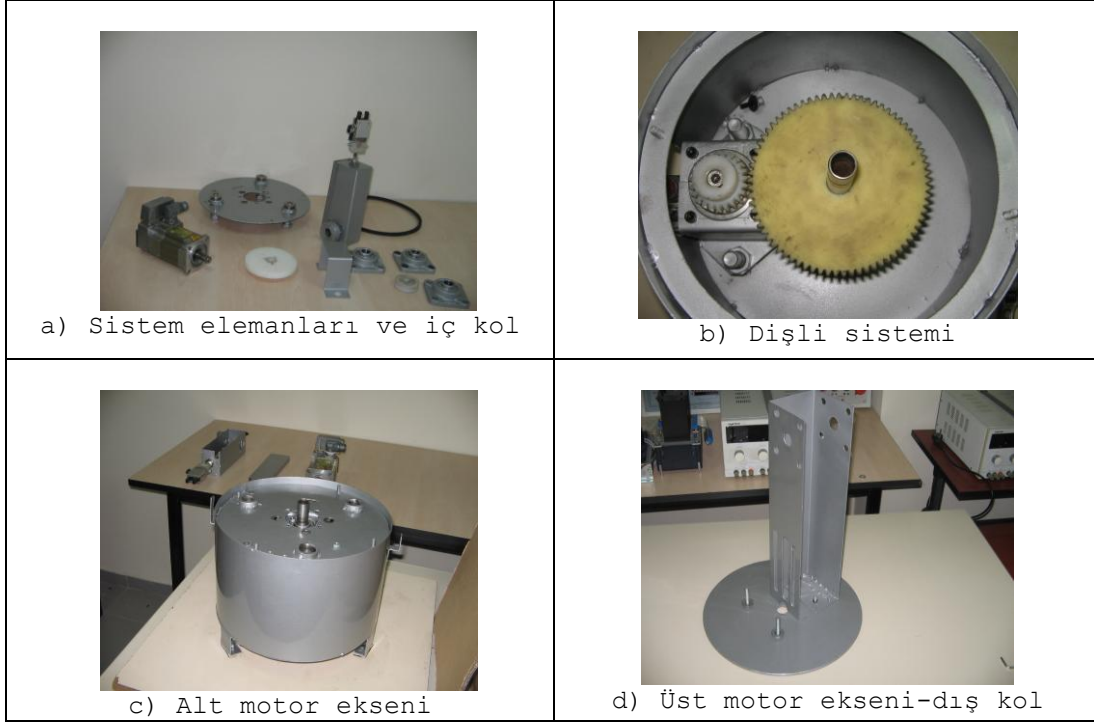
Manipülatör kolun temel tasarımı iki platform üzerinde yapılandırılmıştır. Bunlar:

- Alt Sistem Platformu (Statik Platform)
- Üst Sistem Platformu (Dinamik Platform)

Robot manipülatör kolun alt motor eksen mimarisi hareketsiz olarak tasarlanmıştır. Yapısında; alt motor, dişliler, denge sabitleme ayağı gibi elemanlar bulundurulur. Dişliler 1:3 oranında imal edilmiştir. Masa üstü taşıyıcılar 120°'lik açılarda yerleştirilip, en uygun dengesel kuvvet dağılımı sağlanmıştır. Alt platform, parça titreşimlerin, salınımların ve dengesiz eğriliklerin olumsuz etkisini azaltması ve yük dağılımının eşit olarak dağıtılabilmesi için sabit zemine tutturulmuştur.

Üst sistem platformu ise manipülatör kol yapısındaki hareketli kısımlar için tasarlanmıştır. Hareket süreçlerinin gerçekleştiği bölümdür.

Birinci temel eleman döner disk ve dış koldan oluşur. Döner disk, alt servo motorun hareketinin iletildiği birinci eksen elemanıdır. Alt servo motordan aldığı açısız hareket ile tanımlanmış konumuna giderek görevini tamamlar. İkinci temel parça kayış-kasnak sistemi ile hareketi sağlanan iç koldur. Bu kol ikinci eksen görevini görür ve dik eksende açısız hareketi sağlar. Üçüncü temel parça iç kola yerleştirilen ve doğrusal hareketi sağlayacak olan pnömatik silindirin bulunduğu bölümdür. Bu bölüm üçüncü eksen oluşturur ve doğrusal hareketi sağlar. Doğrusal hareketi sağlayan silindirin selenoid valf ile tetiklenmesi sonucu son etkileyici elemanın istenilen noktaya gitmesi sağlanır. Manipülatör sistem için üretilen sistem elemanları Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. Robot manipülatör kol için sistem elemanları  
(Figure 2. System components of the robot manipulator arm)

#### 4.3. Mekaniksel Hesaplamalar (Mechanical Calculations)

Atalet momenti hesaplamaları aşağıda verilen denklemlere göre yapılmıştır.

Üst platform döner disk momenti hesabı, denklem (1)'de verilen ifadeye göre hesaplanmıştır.

$$J = 1/2.m.r^2 \quad (1)$$

$$J = 1/2.2,53.(16.10^{-2})^2 = 0.0323 \text{ kgm}^2$$

Dikdörtgenler prizması ataleti (2, 3, 4) denklemleri kullanılarak hesaplanır.

$$J_x = m.\left(\frac{b^2 + h^2}{12}\right) \quad (2)$$

$$J_y = m.\left(\frac{h^2 + l^2}{12}\right) \quad (3)$$

$$J_z = m \cdot \left( \frac{b^2 + l^2}{12} \right) \quad (4)$$

$$J_{Toplam} = 0.022 + 0.0323 + 0.000833 = 0.055133 \text{ kgm}^2$$

İvmelenme değerini,

$$a = \Delta V / \Delta t \text{ m/sn}^2 \quad (5)$$

$a = 1000 \text{ mm/sn}^2 = 1 \text{ m/sn}^2$  seçebiliriz. İvme birim zamandaki hız değişimi olduğu için sistem için gerekli hız ve zaman değerlerine göre ivme seçilir. Sistem için  $1 \text{ m/sn}^2$  ivme değeri seçilmiştir.  $0,022 \text{ kgm}^2$  üst iç ve dış kol toplam ataleti,  $0,0323 \text{ kgm}^2$  döner diskin ataleti,  $0,000833 \text{ kgm}^2$  motorun ağırlık ataleti olarak hesaplanmıştır [11].

Manipülâtör sistem için gerekli moment değeri hesaplaması [12]:

$$T = \left[ J_1 + J_2 \cdot \left( \frac{N_1}{N_2} \right)^2 \right] \frac{d^2 \theta_1(t)}{dt^2} + \left[ B_1 + B_2 \cdot \left( \frac{N_1}{N_2} \right)^2 \right] \frac{d\theta_1(t)}{dt} + \left[ K_1 + K_2 \cdot \left( \frac{N_1}{N_2} \right)^2 \right] \theta_1(t) \quad (6)$$

Formüldeki değişken tanımları:

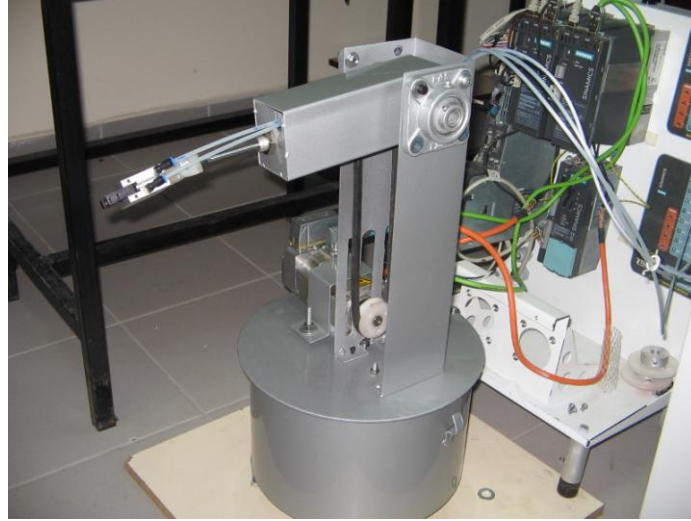
- $J_1$  : Motor Ataleti
- $J_2$  : Yük Ataleti
- $B$  : Sürtünme Katsayısı
- $K$  : Burkulma Katsayısı

Hesaplamalarda motor ataleti, sürtünme katsayısı ve burkulma katsayıları "0" olarak alınmıştır. Bu işlemlerden sonra (6) denklemi (7) denklemine dönüşür.

$$T = \left[ J_1 + J_2 \cdot \left( \frac{N_1}{N_2} \right)^2 \right] \frac{d^2 \theta_1(t)}{dt^2} \quad (7)$$

$$T = 0,055133 \cdot (0,333)^2 \cdot 1 = 6,1136 \cdot 10^{-3} = 0,0061 \text{ Nm}$$

Sistem için gerekli moment değeri  $0,0061 \text{ Nm}$  olarak hesaplandığı için sistem moment değeri  $1 \text{ Nm}$  olarak seçilmiştir. Sistem kontrol ve güç verileri bu değere göre ayarlanır veya seçilir. Sistem uygulaması tasarıma göre gerçekleştirilip, uygulama aşamaları sıralı olarak yerine getirilmiştir. Bu aşamalar sonucunda elde edilen endüstriyel tip robot manipülâtör kolun görünümü Şekil 3'te gösterilmiştir.



Şekil 3. Robot manipülatör kolu  
(Figure 3. The robot manipulator arm)

### 5. SİSTEMİN UYGULAMASI (APLICATION OF THE SYSTEM)

Çalışmanın hareket kontrolü Simotion Scout'un MCC tip yazılımı ile gerçekleştirilmiştir. Simotion Scout mühendislik sistemlerindeki süreç işleme aşamalarını tek bir paket haline getirmiş, çözümleyici, tasarım ağırlıklı bir yazılımdır [10].

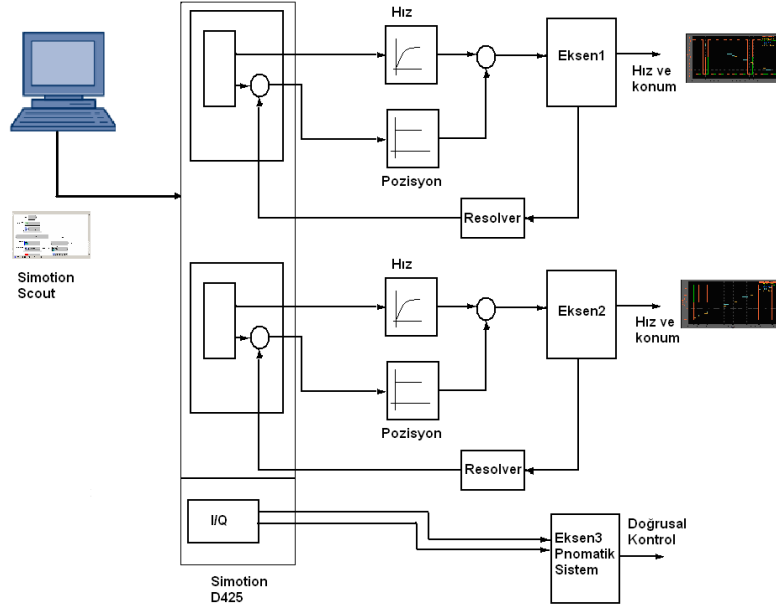
MCC işlem sürecinde kolaylıklar sağlayan yeni bir grafiksel programlama dilidir. MCC programlamanın temel mantığı görsel olarak süreç yönetimindeki adımları rahatlaştırmak, akış diyagramı şeklinde bir yapı ile en temel şekilde sonuca ulaşmaktır [10]. Robot manipülatör kol için yazılım ardışık hareket yöntemine göre yapılandırılmış ve sistemin kontrol gereklilikleri dâhilinde sistem konfigürasyonu tamamlanmıştır.

Simotion Scout'ta sistem elemanlarının yapılandırılması "HW config" ile gerçekleştirilir. Sistem yazılımında tanımlanan eksenler için sistem parametreleri ayarlanır. Eksen yapılandırılmasında, kullanılan sürücü ile eksenin parametre ilişkileri tanımlanır. Robot manipülatör kolda üç eksenin iki ekseninde servo motor kullanıldığı için Scout içeriğinde alt\_motor ve üst\_motor olarak iki eksen yapılandırılmıştır. Sistemin temel yapılandırma blok diyagramı Şekil 3'te verilmiştir.

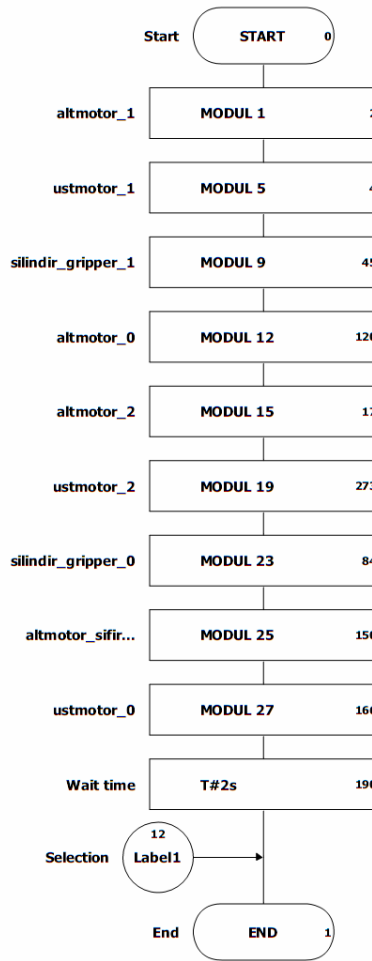
#### 5.1. Çalışma Örneği (Working Example)

Robot manipülatör kol program algoritması farklı çalışma uygulamalarında kullanılabilecek şekilde tasarlanmıştır. Verilen örnek çalışmadaki konum ve hız verileri değiştirilerek farklı uygulama deneyleri yapılabilir.

MCC yazılım modeli grafiksel tabanlı bir programlama modeli olduğu için sistem algoritması akış diyagramı şeklinde yapılandırılır. Yapılan çalışma için tasarlanan algoritmaya uygun blok diyagramı ve MCC akış diyagramı sırasıyla Şekil 4 ve 5'te verilmiştir. Sistem yazılımında her modül kendine özgü bir akış diyagramı içermektedir.

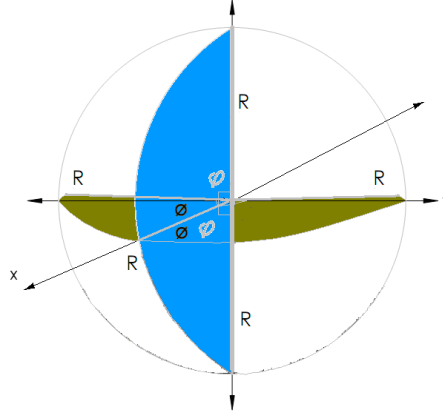


Şekil 4. Robot manipütatör sistemin kontrolüne ait blok diyagramı  
(Figure 4. Block diagram of the robot manipulator system control)



Şekil 5. Sistem için yazılım örneği  
(Figure 5. Software example for the system)

Robot manipülatör sistem için yapılan deneyler sonucu çalışma uzayı, alt motor eksenini için referans noktasına göre 8 mm sağ (+y) ve 8 mm sol (-y) yönleri ile sınırlandırılmıştır. Bu yönlerin alt motor eksenini için açısal denkliği her biri için  $96^\circ$ 'dir. Çalışma uzayında bu değerler  $\theta$  açı değişkeninin sınırını belirtir. Üst motor eksenini için referans noktasına göre maksimum 5 mm pozitif (+z) yön pozisyon sınırı olarak belirlenmiştir. Üst motor eksenini için verilen 5 mm, açı olarak  $180^\circ$ 'ye eşdeğerdir. Bu değer çalışma uzayında açı olarak  $\phi$  açı değişkeninin sınırına karşılık gelir. Manipülatör kol sistemi için oluşan çalışma uzayları Şekil 6'da gösterilmiştir. Çalışma hacmi bu iki uzayın tarama alanlarının hareketleri sonucu oluşan birleşim kümesinden meydana gelir.



Şekil 6. Sistemin çalışma uzayı  
(Figure 6. Working space of the system)

Robot manipülatör sisteminin çalışma adımları:

- **Adım\_1:** Sistemin çalışması ile Şekil 4'de görülen modül algoritması devreye girer
- **Adım\_2:** Tasarlanan algoritmaya göre akış sırası ile modül içeriğinde bulunan program devreye girer. Şekil 4'deki Modül\_1 içeriğindeki yazılım, algoritmada belirlenen referans noktasına göre platformu sağa veya sola döndürür. Örnek çalışma için ilk hareket 5 mm +y yönüne konumlandırılmıştır. Alan açısı olarak bu değer  $60^\circ$ 'ye karşılık gelmektedir.
- **Adım\_3:** Manipülatör sistem dikey ekseninde hesaplanan değere göre servo motorun bağlı olduğu iç kolu hareket ettirir. Örnek çalışma için 2 mm +z pozisyonunda hareket ettirilmiştir. Bu değer  $72^\circ$ 'ye karşılık gelmektedir.
- **Adım\_4:** Algoritmaya göre üçüncü eksen modülü devreye girer. Pnömatik silindir ve gripper elektropnömatik valfleri sırasıyla enerjilenerek nesnenin alınması sağlanır. Üçüncü eksen konum olarak  $\theta=60^\circ, \phi=72^\circ$ 'de bulunan çalışma uzayı küresel koordinatlarına gider.
- **Adım\_5:** Nesnenin bırakılacağı konum için tasarlanan algoritmaya göre alt servo motorun hareket ettirdiği platform cismin bırakılacağı konuma gider. Çalışmada 4 mm -y konumuna hareket ettirilmiştir. Çalışma uzayında bu değer açı olarak  $48^\circ$ 'ye denk gelmektedir.
- **Adım\_6:** Sistem başlangıç konumunu referans olarak cismin bırakılacağı modülü devreye sokar ve dikey eksen konumuna ulaşır. Çalışma modülü değeri 1.5 mm -z yönünde ayarlanmıştır. Açı olarak  $54^\circ$ 'ye denk gelmektedir.
- **Adım\_7:** Algoritma akış diyagramına göre üçüncü eksen modülündeki sırasıyla gripper ve pistonu kontrol eden valflerin enerjisi kesilir. Böylece, nesnenin bırakılacağı  $\theta=48^\circ, \phi=54^\circ$  konumlarına manipülatör kolun ulaşması sağlanmıştır.



## 6. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Yapılan çalışma ile prototip tipte üç eksenli bir robot manipülatör kol uygulaması gerçekleştirilmiştir. Çalışma ile elde edilen manipülatör kol, sınıfındaki sistemler ile yapı bakımından aynı özelliktedir. Eksenler için servo motorların kullanılması çalışma uzayına ulaşım ve hassasiyet bakımından olumlu yönde etki sağlamıştır. Sistem yapılandırmasının küresel koordinat sistemine uygun biçimde tasarlanması çalışma uzayında avantajlar sağlamasına rağmen, bazı robot tiplerine göre sağlamlık bakımından negatif yönde etki oluşturmuştur.

Robot manipülatör ile yapılan deneyler sonucunda sistemin çalışma uzayı içinde istenilen konumlara başarı ile ulaştığı gözlemlenmiştir. Grafiklerden elde edilen sonuçlar ile referans hız, ivme ve pozisyon değerlerinin aktif hız, ivme ve pozisyon eğrileri ile uyumluluk analizleri yapılmış ve kararlılık verileri elde edilmiştir.

Manipülatör kol çalışma sistemi olarak geliştirilebilir bir açık mimari yapıdadır. Üst motor için enerji ve resolver veri iletişim kablolarına farklı yaklaşımlar getirilmesi yatay düzlem hareket açısını arttırmaya yardımcı olacaktır. Üçüncü eksen olarak kullanılan tek etkili pnömatik silindir yerine oransal valfle kontrol edilen bir sistem tasarlanırsa, çalışma uzayında konum hassasiyeti arttırılabilir.

## KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Servo Motor ve Sürücüleri, (2010). [www.megep.meb.gov.tr](http://www.megep.meb.gov.tr) (Erişim Tarihi: 15.07.2010).
2. Uyar, E. ve Koyuncu, A., (2010). İki Eksenli Elektro-Pnömatik Manipülatör Tasarımı, İmalatı ve Kontrolü. 5.Ulusal Hidrolik ve Pnömatik Kongresi.
3. Lange, F., Werner, J., Scharrer J., and Hirzinger, G., (2010). Assembling Wheels to Continuously Conveyed Car Bodies Using a Standard Industrial Robot. IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA), pp. 3863-3869.
4. Çengelci, B. ve Çimen, H., (2005). Endüstriyel Robotlar. Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi.
5. Çalışkan, Ö., (2007). Çok Sayıda Servo Motor, Sensör ve Elektropnömatik Eleman İçeren Tekstüre-Büküm Makinesi Otomasyonu. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi.
6. Özçelikyıldız, B., (2006). Design and Motion Control of An Industrial Robot. Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi.
7. Eren, İ., (2006). Gereğinden Çok Serbestlik Dereceli Robot Kolu Kontrol Sistemi Tasarımı ve Uygulaması. Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi.
8. Tekerek, M., (2006). Esnek Üretim Sisteminde Görüntü İşleme Tekniği ile Robotik Modelin Geliştirilmesi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi.
9. Arıkan, S., (2010). Endüstriyel Robotlar ve Üretimde Uygulama Alanları. <http://arsiv.mmo.org.tr/pdf/10948.pdf>, (Erişim Tarihi: 25.05.2010).
10. <http://www.siemens.com/simotion> (Erişim Tarihi:01.02.2010).
11. Yıldız Teknik Üniversitesi Fizik Laboratuvarı Deneyleri (2007). <http://www.fzk.yildiz.edu.tr/dersler/labs/fizik1/fizik1labfoy.pdf>, (Erişim Tarihi: 11.06.2010), ss: 20-34.
12. Armstrong, R., (1998). Load to Motor Inertia Mismatch: Unveiling the Truth. Drives and Controls Conference. Telford, England.