

**İKİ EKLEMLİ BİR SCARA ROBOT MANİPÜLATÖRÜNÜN  
HESAPLANMIŞ TORK YÖNTEMİ İLE YÖRÜNGE KONTROLÜ**  
**CONTROL OF TRAJECTORY WITH COMPUTED TORQUE  
METHODS FOR A TWO- JOINTED SCARA ROBOT  
MANIPULATOR**

**Bekir ÇIRAK**

*Siirt Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği  
Bölümü, Siirt/TÜRKİYE*

**Geliş Tarihi:** 07 Kasım 2013

**Kabul Tarihi:** 24 Nisan 2014

**ÖZET**

Bu çalışmada, iki eklemlili bir robot manipülatörünün dinamik davranış modelinin ve yörünge kontrolünün bilgisayarda simülasyonu yapılmıştır. Oluşturulan bir algoritma ile sınanmıştır. Manipülatörün, dinamik davranışının simülasyonu yapıldıktan sonra simülasyon doğruluğunun, pratik olarak gerçekleştirilmesi yapılmıştır. Bunun için, manipülatöre hesaplanmış tork yöntemi ile noktadan noktaya kontrol uygulanmıştır. Manipülatöre ivme referansı verilmeyip, yalnızca istenen noktaya büyük doğrulukla gitmesinin sağlanması demek olan, noktadan noktaya transfer olayı başarıyla gerçekleştirilmiştir. Böylece hesaplanmış tork yöntemi kontrol algoritmasının iyi sonuçlar verdiği gözlenmiştir. Bu çalışmanın sonuç bölümünde ise elde edilen değerler dikkate alınarak, iyileştirmeler yapmak için yapılması gerekenler ortaya konmuştur.

**Anahtar Kelimeler :** Hesaplanmış Tork Yöntemi, Manipülatör, Lagrange-Euler Denklemleri, PID Simülasyon, Yörünge Kontrolü

**ABSTRACT**

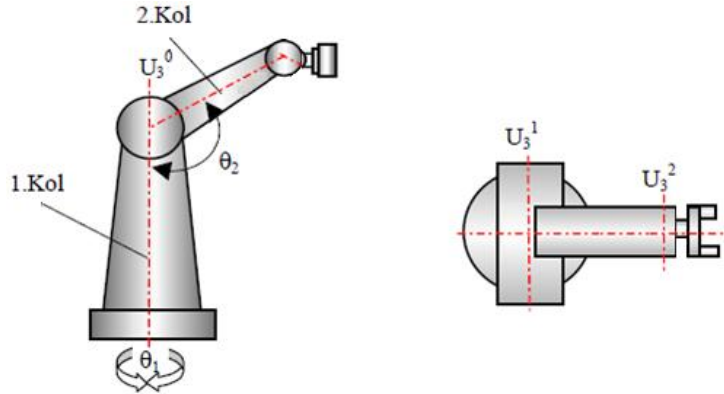
In this study, two-jointed robot manipulator and trajectory control of the dynamic behavior of the model was simulated on the computer. Generated by an algorithm has been tested. Manipulator, after the simulation of the dynamic behavior of the simulation accuracy, the practical realization was made. For this the calculated torque manipulator controlled by the method was applied from point to point. Manipulator acceleration reference provided not only to ensure the desired point, which means go with great accuracy, the event was successfully transferred from point to point. Thus the calculated torque control algorithm method is to give excellent results were observed. In the conclusion of this study, the obtained values, taking into account needs to be done to make improvements have been introduced.

**Keywords** : Computed Torque Methods, Manipulator, Lagrange-Euler Equations, PID Simulation, Trajectory Control

## 1. GİRİŞ

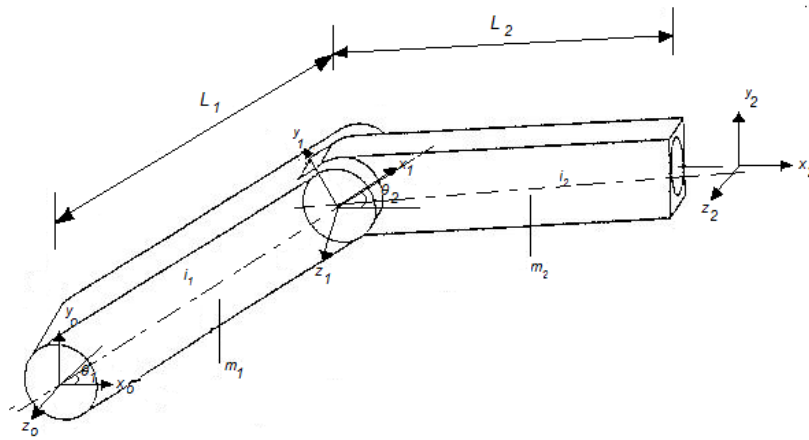
Bir robot manipülatörü, eklemlerle birbirine bağlanan uzuvlardan oluşur. Bu uzuvlar endüstriyel robotlarda genellikle açık kinematik zincir meydana getirirler. Eklemin konumunu belirleyen eklem parametreleri ile uzuvlar ve uç elemanın konum ve yönlenmesi arasında kesin matematiksel bağlantılar vardır. Bu dönüşüm ve bağlantılar ilk olarak Denavit ve Hartenberg adlı bilim adamları tarafından sistematik bir şekilde ele alınarak çözümlenmiştir. Bir robotun modellenmesi için tabana bağlı genel bir kartezyen koordinat sistemi belirlenmelidir. Ayrıca her eklem ve uzuva bağlı bir yerel kartezyen koordinat sistemi eklenmelidir. Uç elemanın konum ve yönlenmesi, eklemlere yerleştirilmiş olan yerel koordinat sistemlerine olan bağlı konumları ile tespit edilir. Şekil 1’ de iki eklemlilik bir kolun atanmış koordinat sistemleri görülmektedir (Aydın ve Temeltas, 2005; Wang et. al., 2005).

Simulasyonda kullanılan Robot Kol Sisteminin, konum matris denklemlerinde kullanılan değişken elemanları ile uzuv konum açıları ve uzuvların biri birlerine göre yaptığı hızlar  $U_3^0$ ,  $U_3^1$ ,  $U_3^2$  singelleri ile gösterilmiştir (Şekil 1).



**Şekil 1.** İkinci uzvun koordinat sisteminin temel koordinat sistemine göre bağlı durumu

Burada temel koordinat sistemi; Orjin noktası  $O$ 'ya göre,  $x_0, y_0, z_0$  koordinatlarını gösteren sistemdir. İkinci uzvun koordinat sistemi ise orijin noktası  $I$ 'ye göre  $x_i, y_i, z_i$  koordinatlarını gösteren sistemdir.  $O_i$  ise  $I$  koordinat sisteminin,  $O$  koordinat sistemine göre yerini gösterir (Hollerbach, 1984). Burada  $l_n$  : Uzuv uzunluklarını,  $x_n, y_n, z_n$  eklem açılarını,  $m_n$  : Eklem kütlelerini (ağırlıkları) ve  $i_n$  : Eklemleri ifade eder (Şekil 2).



Şekil 2. Uzuv parametreleri ve iki uzvun eklemlerine atanmış koordinat sistemleri

## 2. ROBOT KOL DİNAMİĞİ

Bir robot kolunun dinamik modeli, bir robot kolunun dinamik davranışını belirleyen hareket denklemlerinden oluşur. Bir robot kolunun dinamik analizi demek, eklemlere uygulanan moment veya kuvvet büyüklükleri ile robot kolunun konumu hızı ve ivmesinin nasıl değiştiğini görmek demektir. Ancak buradaki en büyük sorun, en kompleks bir yapı olan robot kolunun dinamik denklemlerinin lineer olmamasıdır (Craig, 1986).

*Düz Dinamik Problem:* Herhangi bir anda uygulanan kuvvet ve momentlere karşı, robot kolunun alacağı konum ve yönlenme için gerekli olan eklem hız ve ivmelerini bulma problemine düz dinamik problem denir.

*Ters Dinamik Problem:* Hız ve ivmesi verildiğinde robot kolunun istenen bir noktaya gelmesi için gerekli olan kuvvet ve momentlerin

hesaplanması problemine ters dinamik problem denir. Robot kollarının dinamik denklemlerini elde etmek için en çok kullanılan yöntemler Lagrange-Euler(L-E) ve Newton-Euler(N-E) yöntemleridir.

L-E formülasyonunda sistem davranışı ve enerji ifadelerinden elde edilir. L-E formülasyonunun elde edilmesi basit ve sistematik olmasına rağmen çözüm için çok fazla hesap yükü olmasından dolayı gerçek zaman uygulamaları için elverişli değildir. N-E formülasyonundaki hesap yükü ( $n$ ) ise L-E formülasyonundaki hesap yükü ( $n^4$ ) şeklindedir. L-E Formülasyonu: Bu yöntem fiziksel bakımdan çok kolay anlaşılır bir yöntemdir. bu yöntem sistemin içerdiği toplam iş ve enerji ile ifade edilmektedir (Koivo, 1985).

$$d/dt [ dL/d\dot{q}_i ] \cdot [ dL/dq_i ] = T_i \quad (i=1,2,\dots,n)$$

Burada;

$$L = E_k - E_p$$

$L$  : Langrange fonksiyonudur

$E_k$  : Toplam kinetik Enerji

$E_p$  : Toplam potansiyel enerjidir.

$q_i$  : Genelleştirilmiş koordinatlar

$T_i$  : Sisteme uygulanan genel moment ve kuvvet

Sürtünme etkisinden oluşan tork degeri eklemlere ait genel tork ifadesine eklenir. Bu durumda genel denklem asagidaki gibi elde edilir.

$$D(q) \ddot{q} + h(q, \dot{q}) + G(q) = T$$

Burada;

$D(q)$  : ( $n \times n$ ) boyutlu eylemsizlik momenti veya kütle matrisi

$H(q, \dot{q})$  : ( $n \times 1$ ) boyutlu Coriolis ve merkezkaç vektörü

$G(q)$  : ( $n \times 1$ ) boyutlu yerçekimi kuvvet vektörü

$T$  : ( $n \times 1$ ) boyutlu eklemlere uygulanan kuvvet / moment vektörü

$q$  : ( $n \times 1$ ) boyutlu eklem konum vektörü

$\dot{q}$  : ( $n \times 1$ ) boyutlu eklem hız vektörü

$\ddot{q}$  : ( $n \times 1$ ) boyutlu eklem ivme vektörü

### 3. ROBOT KONTROLÜ

Endüstriyel robotların kontrolü, robotik konusunda yapılan araştırmaların en yoğun tarafını oluşturmaktadır. Daha önce de belirttiğimiz gibi, endüstriyel robotlar, dinamik karakteri bakımından lineer olmayan ( nonlinear ) bir kinematik zincir şeklindedir. Robot kontrolü genelde iki şekilde yapılır:

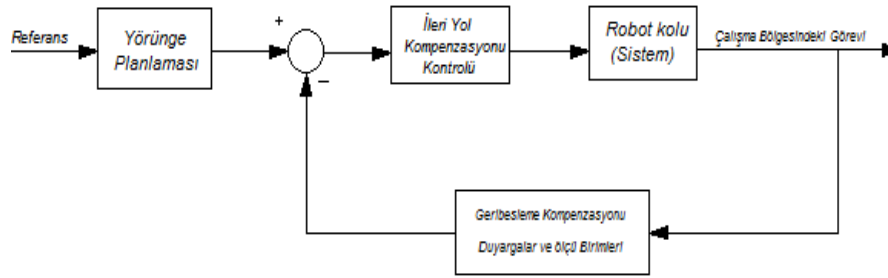
- 1-Robot kolunun dinamik modelinin elde edilmesi,
- 2-Bu modeli kullanarak istenen sistem cevabını ve performansını sağlayacak kontrol kurallarını belirlemektedir.

Bir robot kolunun kontrol problemi, Lineer olmayan robot kol dinamiği ile eklem konum ve hızları gibi geri besleme bilgilerini kullanarak, kolun istenen bir yörüngede hareket etmesini sağlayacak bilgisayar ve çevre birimleriyle, uygun bir kontrol algoritmasını gerçekleyerek çözümlenebilir. Robot kontrolü aslında bir yörünge izleme problemidir. Yani, üç boyutlu uzayda verilen bir  $A ( x_1 , y_1 , z_1 )$  noktasından  $B ( x_2 , y_2 , z_2 )$  noktasına ulaşmak için bu noktalar arasındaki yörüngeyi izlemesi gerekir. Eğer bu noktalar arasındaki yolu, minimum zamanda ve minimum enerji ile maksimum hızda gitmesini istiyorsak o zamanda bu probleme "optimal yörünge izleme" problemi denir. Şayet yörüngeyi bilgisayara kaydetmiş ve robot kolunun modelini bu yörüngeyi izlemek üzere çözümlenerek, gerçek kolun bu çözümü izlemesini istiyorsak buna da "Adaptif Kontrol" problemi denir. Bu robot kolunun performans ölçütü şöyle sıralanabilir (Bezdek et al., 1981)

- 1-Robustluk (dayanıklılık) : Modelleme hatasından ve dış bozuculardan dolayı kontrolör performansının düşmemesi.
- 2- Cevap hızı : İzleme duyarlılığının yüksek hızlar içinde korunması
- 3- Hesaplama hızı : Gerçek zamanda yeteri kadar hızlı hesaplama kapasitesi
- 4-İzleme Duyarlılığı : Robot kolunun istenen yönergeyi hatasız veya minimum hata ile izlemesidir.

Bir robot kolunun kontrolünde en büyük güçlük, kol dinamiğinin oldukça karmaşık olmasından dolayı, kontrol için

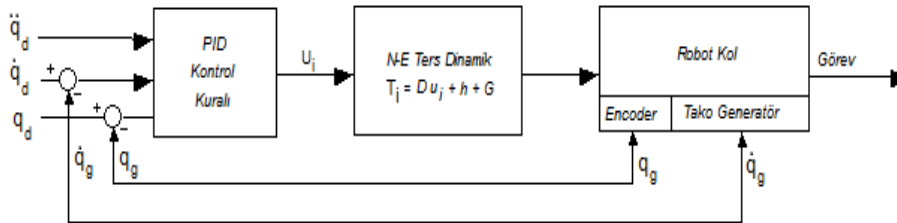
gerekli kontrolörlerine tasarımını da oldukça güçleştirmektedir. Bunu aşmak için genelde basitleştirilmiş model kullanılması yaygındır. Endüstride genelde modele uygun bir dijital PID türü bağımsız eklem kontrolörleri yapılarak kontrol problemi aşılmaya çalışılmıştır. Ancak bu tür kontrolörler yüksek hızlarda performans sağlayamamaktadırlar. Bir diğer problemde, robot kolunu meydana getiren uzuvların birbirine eklemlerle bağlanmış olması nedeniyle ortaya çıkar. Çünkü hareket sırasında bir bağ diğerini etkiler. Bu da eklemler üzerinden olur. Böylece bütün eklemler birbirini etkilemiş olurlar. Bunu yenmek için, bağımlı eklem kontrolü yapmak gerekir. Ancak bunu da başarmak oldukça zordur. Çünkü çok sayıda nonlineerlik ve belirsizlik mevcuttur. İşte bu sebeplerden dolayı bağımsız eklem kontrolü yapmak tercih edilmektedir. Burada PID kontrolörünün performansını artırmak için öncelikle ileri yol kompanzasyonu yapılarak önce momentler hesaplanır ve bu değerler sisteme kontrol işaretleri olarak uygulanır (Şekil 3).



Şekil 3. Genel robot kol kontrol şeması

Bundan başka daha iyi bir performans içinse son yıllarda **'hesaplanmış moment yöntemi'** denilen yöntem geri besleme yoluna kompanzasyon yapması için konulmaktadır (Başbuğ, 1993).

Hesaplanmış tork yönteminde ters dinamik problemi hesaplanır. Her operasyonda tako generatör ve encoder den gelen bilgiler referans değerleri ile kıyaslanarak, kontrolöre gönderilir (Şekil 4).



**Şekil 4.** Robot kontrolünde hesaplanmış Moment Yöntemi blok şeması

Endüstriyel robotların eklemlerinde genelde sabit mıknatıslı fırçasız DC motorlar kullanılır. Son yıllarda sabit mıknatıslı senkron serve AC motorlarda kullanılmaya başlanmıştır. Bu motorların kullanım nedeni;

- 1-Yüksek moment / Güç Oranı
- 2-Yüksek güç / Ağırlık Oranı
- 3-Düşük rotar ataleti
- 4-Düşük hızlarda lineer moment / Hız karakteristiği
- 5-Lineer Akım / Moment Karakteristiği
- 6-Demagnetizasyona karşı yüksek direnç göstermesi
- 7-Küçük zaman sabitleri olarak sayılabilir.

Her eklem için gerekirse de, gerekli olan yerlerde redüksiyon mekanizmaları genellikle harmonic drive firmasının kendi adıyla ürettiği mekanizmalar kullanılır. Robotların büyük momentlere maruz kalan eklemlerinde boşluk olmaması için özel yataklar kullanılır. Harmonic drive'ların fiziksel boyutları aynı olup 50-80-100-120-160 gibi çevirme oranlarına sahiptir. Bunların çevrim oranları arttıkça uygulanabilecek moment değeri de artmaktadır.

$K_p$  ve  $K_v$ : PID kontrolörünün oran ve türev katsayıları olmak üzere sistemin kapalı çevrim transfer fonksiyonu şöyle verilebilir.

$$\frac{Q_s(s)}{Q_d(s)} = \frac{G(s)}{1+G(s)} = \frac{(K_a \cdot K_v s + K_a \cdot K_p) / R_a \cdot J_e}{s^2 + s(R_a \cdot f_e + K_a \cdot K_b + K_a \cdot K_v) / (R_a \cdot J_e) + (K_a \cdot K_p) / R_a \cdot J_e}$$

Burada  $K_a$ ,  $K_b$ ,  $R_a$ ,  $J_e$ ,  $f_e$  gibi nümerik değerler makine üreticileri tarafından verilir [8].

**Ana-Uydu Yapısı:** Endüstriyel robot kolu uygulamaları genelde bir ana bilgisayara bağlı her bir eklemi kontrol eden alt bilgisayarlar yani mikrokontrolörler mevcuttur. Bu sisteme "ana-uydu" yada "Master Slave" denir. Öncelikle ana bilgisayarda görevin yörüngesi tespit edilir. Yani bu yörünge planlaması (Trajectory Planning) yapılır. Sonra bu görev için ters kinematik denklemler

çözülerek eklemlere uygulanacak momentler hesaplanarak bulunur. Robot kontrolü işlemini adım adım şu şekilde verilebilir.

1-Ana bilgisayar tarafından her eklem kontrolörüne referans hız ve konum değeri gönderilir.

2-Gerçek konum bilgisi eklemlere bağlı olan motordaki “Encoder” lardan alınır.

3-Gerçek açısal hız bilgisi Takogeneratörlerden A/D çeviricileri üzerinden alınır.

4-Konum ve hız hatalarının oluşturulması ile birlikte eklem kontrolörleri PID kontrol konum kurallarını yürüterek o eklem için  $KP_i$  ve  $KV_i$  kazançlarını elde eder.

5-Hesaplanan kontrol kazanç katsayıları kullanılarak motoru (motor endüvi gerilimini) kontrol etmek için PWM (darbe genişlik modülasyonu) işareti üretilir.

6-İşlem tamamlandıktan sonra “uydu” kontrolör ana bilgisayara görevin tamamlandığını bildirir. Bu işlem ardışık olarak yinelenerek robotun istenilen bir yörüngeyi izlemesi sağlanır (Özgören, 1993).

#### 4. YÖRÜNGE REFERANSLARININ TESBİT EDİLMESİ

Bu çalışmada, iki eklemlilik bir robot manipülatörünün, eksponansiyel ( üstel ) bir yörüngeyi izlediği kabul edilmiştir. Bunun yanı sıra birinci uzvun eksponansiyel bir yörüngeyi izlemesini, ikinci uzvun ise sabit ve hareketsiz olması öngörülmüştür. İkinci uzvun; birinci uzvun etkisiyle hareket etmesi istenmiştir. Ayrıca her iki uzvun da hareketlerinin başlangıç ve bitiş anlarındaki hızları sıfırdır. Belirtilen bu sınır şartlarına göre yörünge denklemleri şu şekilde hesaplanmıştır ;

Birinci uzvun konumu :  $\theta_1 = 0.78539 ( 1 + 6.e ( -t / 0,3 ) - 8.e ( -t / 0,4 ) )$

İkinci uzvun konumu :  $\theta_2 = 0$

Birinci uzvun hızı :  $\dot{\theta}_1 = 15,7078 ( -e ( -t / 0.3 ) + e ( -t / 0.4 ) )$

İkinci uzvun hızı :  $\dot{\theta}_2 = 0$

Simülasyonu yapılan iki eklemlilik bir SCARA manipülatörü için, uzuv ağırlıkları ve uzunlukları ile uzuvların kendilerine göre ve



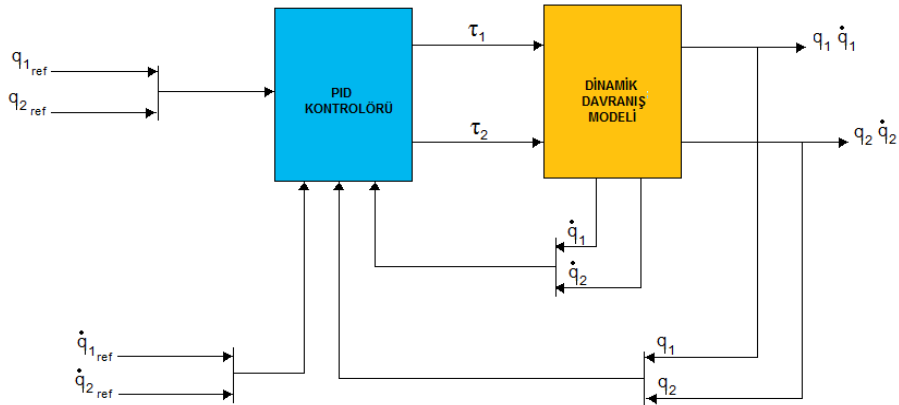
birbirlerine göre olan  $I$  eylemsizlik momentleri gibi fiziksel özellikler Çizelge 1 de verilmiştir.

**Çizelge 1.** SCARA robotunun simülasyonda kullanılan fiziksel özellikleri

$m_1$	$m_2$	$L_1$	$L_2$	$I_1$	$I_2$	$I_{01}$	$I_{02}$
( kg )	( kg )	( m )	( m )	(kg m <sup>2</sup> )	(kg m <sup>2</sup> )	(kg m <sup>2</sup> )	(kg m <sup>2</sup> )
0.61	2.11	0.18	0.18	0.116	0.2368	0.2368	0.05

Eklemlerdeki viskoz sürtünme katsayıları ile, sönüm katsayısı sırasıyla  $B_1, B_2 = 0.04$  ve  $\zeta = 0,875$  olması öngörülmüştür. Konum geri besleme ve hız geri kazanım katsayıları  $K_P$  ve  $K_V$  değerleri,  $K_P = \omega_0^2$ ,  $\omega_0^2 = 10$  rad/s ve  $\zeta = 0,875$  alınarak  $K_V = 2\zeta\omega_0$  şeklinde hesaplanmıştır. Sonuç olarak  $K_P = 986.96$ ,  $K_V = 54.34$  olarak bulunmuştur.  $H$ : Zaman aralığıdır. Bu programda 0.001 sn alınmıştır.  $T_f$ : Hareket süresidir. Bu programda 3 sn alınmıştır.  $K_{P1}, K_{P2}$ : 1. ve 2. uzuvların hız geri besleme kazançlarıdır.

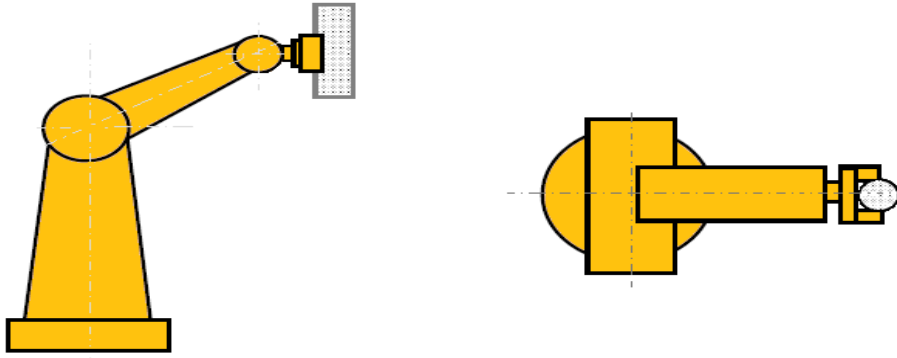
Şekil 5'de programın çalışmasını daha iyi anlatabilmek için manipülatörün yörünge kontrollü yapısal diyagramı verilmiştir.



**Şekil 5.** Manipülatörün Yörünge kontrollü yapısal diyagramı

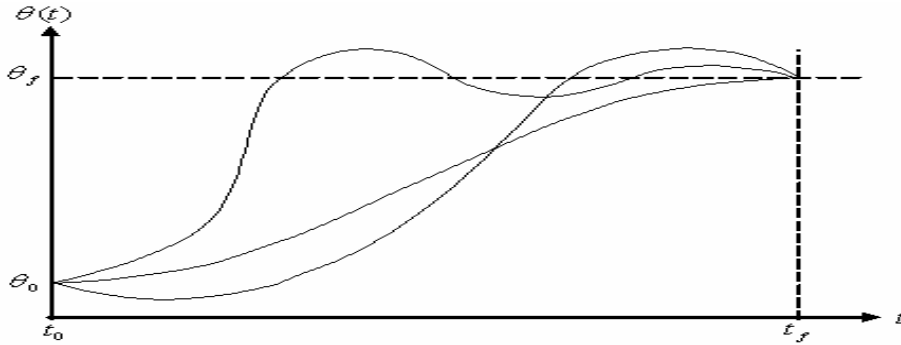
Simülasyon sırasında robot kol sistemine değişik bakış açılarından bakabilmek mümkündür. AutoCAD ekranı, örneğin 5 farklı pencereye ayrılarak robotun ön, yan, üst, alt ve perspektif

şekillerde görüntülenmesi sağlanabilir. Simulasyonu yapılan robot kolunun herhangi bir eksen etrafında dönmesini sağlayabilmek için, robotu oluşturan bütün noktaların bu eksen etrafında hareketinin sağlanması gerekmektedir. Bu nedenle her nokta için matris olarak hesaplanmış koordinat denklemleri yazmak gerekir. Simulasyon programında kullanılan örnek robotun yaklaşık 30 kadar temel çizim noktası vardır. Bu noktaların hareketlerinin sürekliliği sağlanması halinde simulasyon programı doğru biçimde çalışacaktır (Şekil 6).



Şekil 6. AutoCAD Simulasyon programında önden ve üstten görünüş

Sabit bir zaman aralığında robot kolunu bir başlangıç konumundan bir hedef konumuna getirme problemini göz önüne alınsın. Sistem kinematiği kullanılarak başlangıç ve hedef konuma karşılık gelen eklem açıları hesaplanabilir. Burada istenen, sabit bir zaman aralığında eklem başlangıç konumu ile hedef konumu arasında her bir eklem için zamana bağlı bir  $q(t)$  fonksiyonu elde etmektir. Bu amaçla kullanılacak birçok düzgün fonksiyon mevcuttur (Şekil 7).



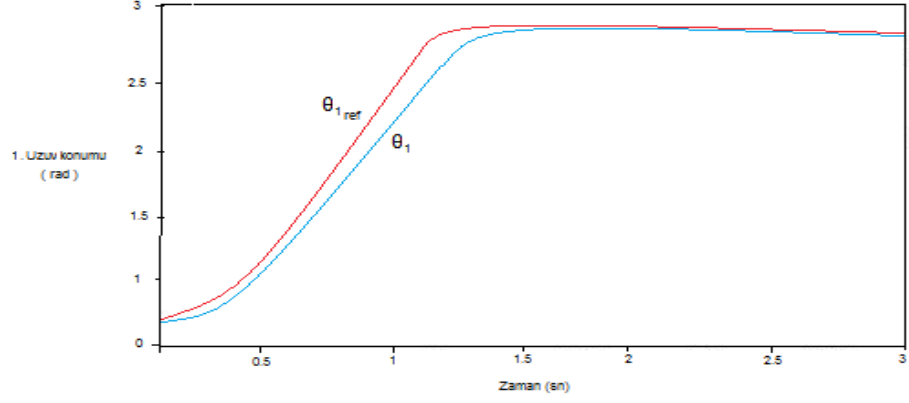
Şekil 7. Her bir eklem için uygun yörünge planları

Yol tanımlamada detayları içine alan bir yöntem; noktalar yoluyla istenen hareket sırasını göstermek yani başlangıç noktasından bitiş noktasına kadar yörüngeyi ara noktalarla temsil etmektir. Hareketin sarsıntısız ve düzenli olabilmesi için bu ara noktalar uygun bir düzgünleştirme fonksiyonunu takip edecek şekilde seçilmelidir. Noktalar denmesine rağmen bunlar pozisyon ve yönelmeyi gösteren koordinatlardır.

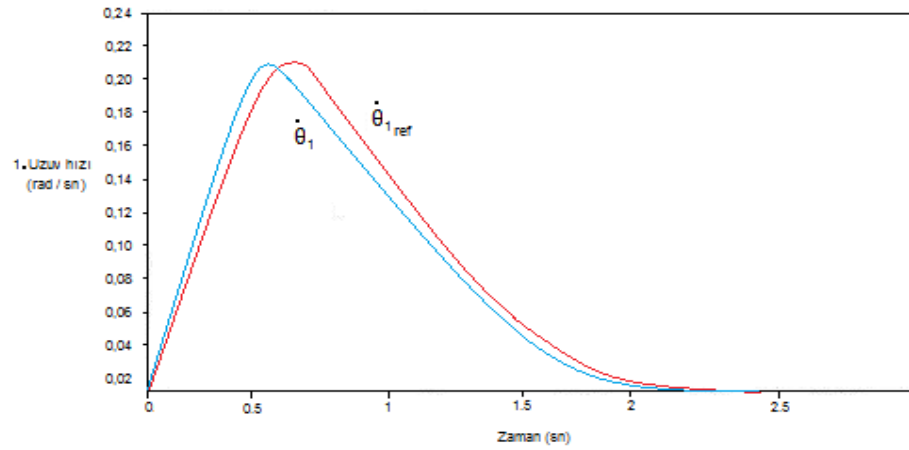
## **5. ELDE EDİLEN GRAFİKLER VE GRAFİKLERİN YORUMLANMASI**

Yapılan simülasyon sonucu elde edilen eğriler aşağıda gösterilmiştir. Bu diyagramdan da görüleceği gibi önce referans konum ve hız değerleri hesaplanmıştır. Bu programda toplam simülasyon süresi 3 sn olarak alındığından 0.001 sn artımlarla 3000 adet referans değeri hesaplanmıştır. Çıkışta her 5 adımda bir değerler ekrana yazdırılmıştır. Burada esas olarak birinci ve ikinci uzuvlara verilmesi gereken torklar hesaplanmaktadır. Bu nedenle sayısal integrasyonla hesaplanan manipülatörün gerçek hız ve konum değerleriyle manipülatörden istenilen hız ve konum değerleri karşılaştırılır. Sayısal integrasyon programında elde edilen değerler ile manipülatöre önceden verilen referans değerlerinin birbirine yakın olması istenir. Bu değerler birbirine yakın ise manipülatörün istenen yörüngeyi izlediğine kanaat getirilir.

Yukarıda bahsedilen işlemler 3000 kez devam ederek her 5 adımda bir gerçek hız ve konum değerleri ekrana yazdırılmıştır. Ayrıca bu değerlerin daha rahat bir şekilde irdelenmesi için bilgi dosyaları oluşturulmuştur. Bu dosyalar yardımıyla Matlab paket programının kullanılması neticesinde her iki uzvunda hız ve konum grafikleri çıkarılmıştır. Böylece uzuvların istenen konum ve hız değerleri kontrol edilerek gözlenmiştir. Şekil 8' de birinci uzuvun referans konum değerleri ile gerçek konum değerleri şekil 9' da ise birinci uzuvun referans hız değerleri ile gerçek hız değerleri eğriler halinde görülmektedir.



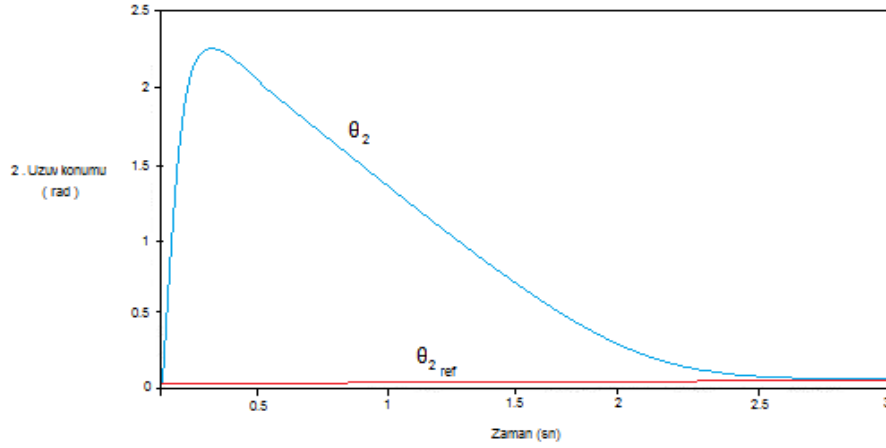
Şekil 8. Birinci Uzuvun referans konum değerleri ile gerçek konum değerleri



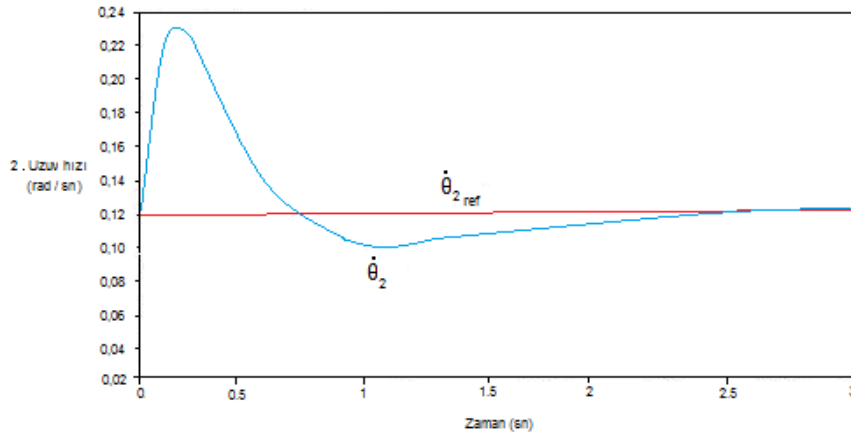
Şekil 9. Birinci uzuvun referans hız değerleri ile gerçek hız değerleri

Şekil 10' da ikinci uzuvun referans konum değerleri ile gerçek konum değerleri Şekil 11' de ikinci uzuvun referans hız değerleri ile gerçek hız değerleri eğriler halinde görülmektedir.

*İki Eklemlili Bir Scara Robot Manipülatorünün Hesaplanmış Tork Yöntemi ile Yörünge Kontrolü*

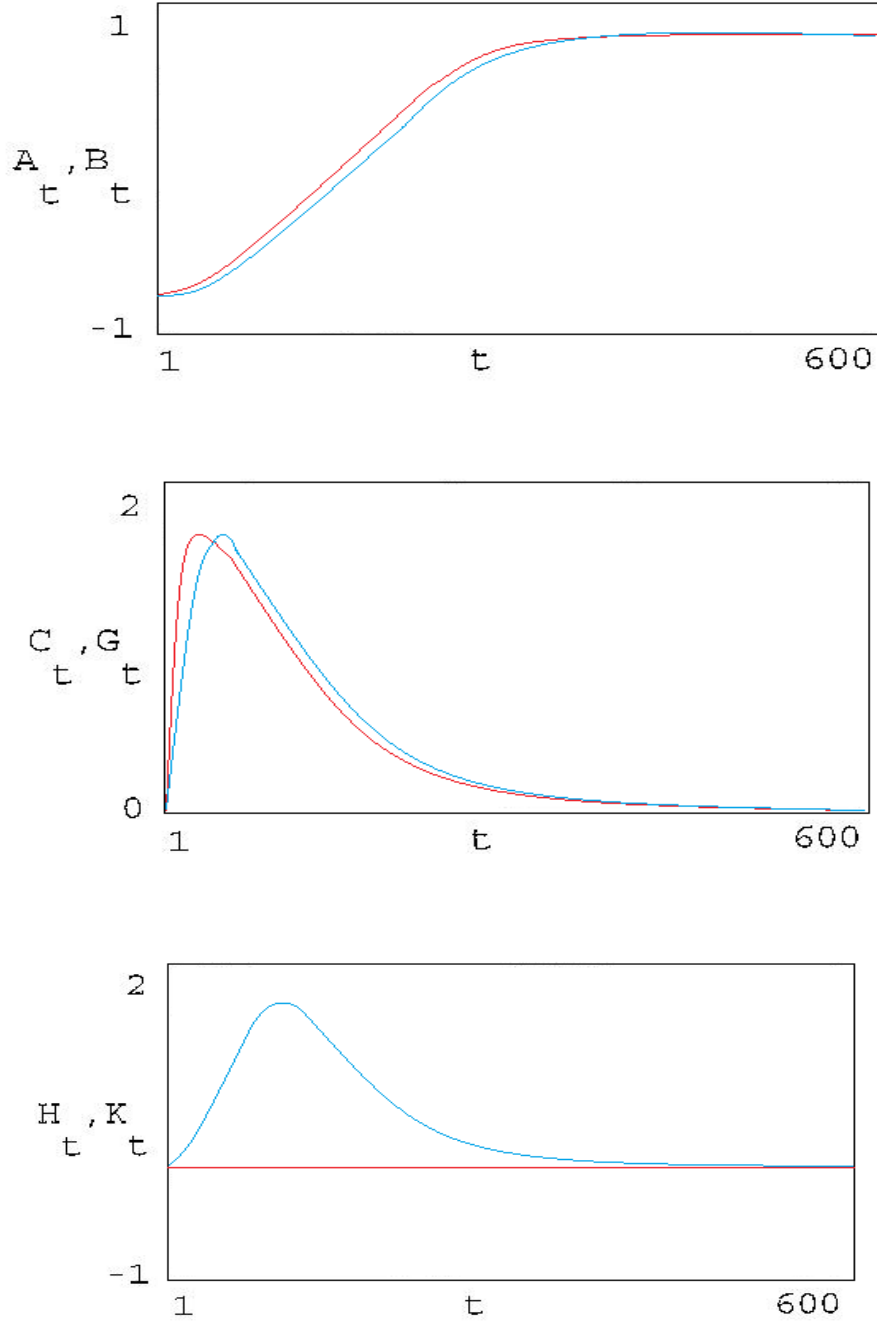


**Şekil 10.** ikinci uzuvun referans konum değerleri ile gerçek konum değerleri



**Şekil 11.** İkinci uzuvun referans hız değerleri ile gerçek hız değerleri

Bu grafikler, 0.001 sn'lik artımlarla çizilmiştir. Final zamanı 3 sn olduğundan grafikler çizilirken  $3000/5=600$  ayrı nokta göz önüne alınmıştır (Şekil 12).



Şekil 12. Grafik Oluşumu

## 6. SONUÇ

Eğriler incelenecek olursa; klasik kontrol algoritması olmasına rağmen hesaplanmış tork yöntemi ile başlangıçtaki kararlı duruma gelinceye kadarki hatalar hariç, eğrilerin gayet iyi bir yakınsama sağladığı görülmektedir. Hataları minimize etmek için  $K_p$  ve  $K_v$  değerlerinin optimize edilmesi koşulunun sağlanması daima mümkündür. Birinci ve ikinci uzvun konum değerleri, referans konum değerlerini, 1,5-2,5 sn gibi bir zaman aralığında yakalamaktadır. Birinci ve ikinci uzvun hız değerleri, referans hız değerlerini, ortalama 2,5 sn gibi bir zamanda yakalamaktadır. Elde edilen sonuçlar, basit bir kontrol algoritması kullanılmasına rağmen tatmin edicidir.

## KAYNAKLAR

- Aydın S., Temeltas H. 2005. Planning Optimal Trajectories for Mobile Robots Using an Evolutionary Method with Fuzzy Components. *Advances in Natural Computation Lecture Notes in Computer Science Volume 3612*, pp 703-712
- Wang, K. Chen and Y.S. Ong, 2005. *Advances in Natural Computation*, Eds by L. Springer, LNCS 3612, 703- 712.
- Hollerbach, J.M. 1984. "Dynamic Scaling of Manipulator Trajectories", *ASME jour of Dyn. Systems*,102-106 p.
- Craig, J.J. 1986. "Introduction to Robotics, Mechanics and Control", Wesley, 301 p.
- Koivo, A.J. 1985, "Self Tuning Manipulator Control in Cartesian Base Coordinate System", *ASME Jour of Dyn. Systems*, 316-322
- Bezdek J. C., Coray C., Gunderson R., and Watson J. 1981. Detection and Characterization of Cluster Substructure" *SIAM Journal of Applied Mathematics*, 40(2): 339-372.
- Başbuğ, M.R. 1993. Robotik Sistemler 1-2, Bilgi İşlem İstanbul, s: 51-56
- Kazan, R. 1994. Sakarya, Robot Teknolojisi Ders Notları, 85 s. Sakarya Üniv. Müh. Fak. Y.lisans Dersleri
- Özgören, K.; 1993. Robotics Lecture Notes, ODTÜ Makine Fakültesi 57. s
- Durmus, B. Temurtas, H. Yumusak, N. Temurtas F. 2006. Puma 560 Robot Arm Manipulator', *Elec Lett Sci Eng* , vol. 2(2), 21-30.

\*\*\*\*