



Bu bir MMO yayınıdır

# SERVOPNÖMATİK TEKNOLOJİSİNİN ROBOT SİSTEMLERE SAĞLADIĞI AVANTAJLAR

Savaş AYTEK<sup>1</sup>

<sup>1</sup> KUKA Roboter CEE GmbH Türkiye Şubesi



# SERVOPNÖMATİK TEKNOLOJİSİNİN ROBOT SİSTEMLERE SAĞLADIĞI AVANTAJLAR

Savaş AYTEK

KUKA Roboter CEE GmbH Türkiye Şubesi  
Şerifali Mah. Kible Sk. Optimum Plaza 28 Kat 1 Yukarı Dudullu / Ümraniye / İstanbul / Türkiye  
Tel.: +90 / 216 / 508 14 04 Fax: +90 / 216 / 508 14 03 Gsm: +90 / 533 / 168 50 42  
mailto: savas.aytek@kuka.com mail: service-turkey@kuka.com www.kuka.com

## ÖZET

Bu çalışmada, servopnömatik sistemlerin endüstriyel robot uygulamalarında kazandırdığı avantajlar değerlendirilmiştir. Ara konumlama hassasiyeti, dinamik yüklere karşı gösterdiği performans ve yüksek taşıma kapasitesi robot tutucularında ciddi kolaylıklar sağlamıştır. Günümüzde servo motor ve pnömatik sistemlerle donatılan robot elleri farklı endüstri ürünlerinde talepleri karşılamamakta, kuvvet kontrollü ve değişken pozisyonlama noktalarına ihtiyaç duymaktadır. Servopnömatik kontrol teknolojisinde son yıllarda yaşanan yenilikler daha düşük maliyetli ve bakımı kolay robot ellerinin dizayn edilmesine olanak sağlamıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Servo Pnömatik, Robot eli, Hassas konumlama, Dinamik yük

## ABSTRACT

In this project, the advantages of servo-pneumatic systems at industrial robotic applications were evaluated. In the robot holder, search for positioning accuracy, its performance against dynamic loads and high transport capacity were provided much convenience. Today, the robotic gripper equipped with servo motor and pneumatic systems does not fulfill the demand in different industrial products and there is a need for force controlled and variable positioning points. The developments in servo pneumatic control technology will enable the design of more costeffective and easy to maintain robotic hands.

**Key Words:** Servo pneumatic, Robot gripper, precise positioning, Dynamic load.

## GİRİŞ

Akışkan gücünün kullanımı insanlık tarihi kadar eskidir. Basınç altındaki su ve havanın aktarılması ile kazanılan enerji farklı makinaların veya düzeneklerin hareketlerinde kullanılmıştır. Günümüz üretim hatlarında bu akışkan gücü birçok iş elemanının hareketini sağlamaktadır. Pnömatik, kullanılan bu hareket birimlerinin en çok tercih edilen yöntemidir.

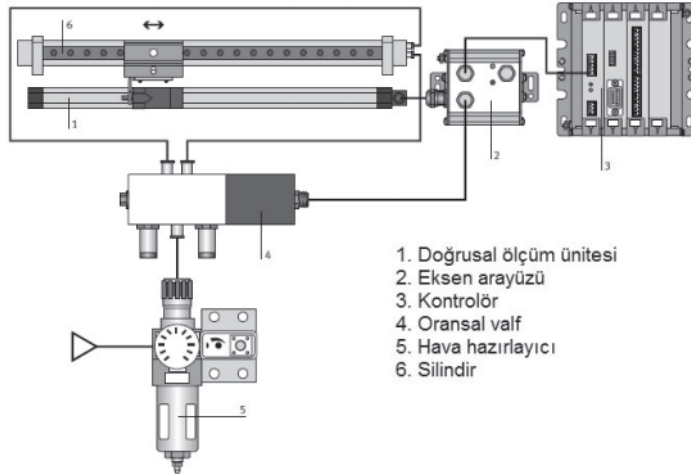
Pnömatik hareket sistemleri, yüksek kuvvet-ağırlık oranı, düşük maliyet ve temizlik gibi birçok avantajından dolayı robotik ve otomasyon uygulamalarında makinaların işletme yöntemleri olarak kullanılmaktadırlar. Ancak havanın sıkıştırılabilirliği ve pnömatik sistemlerin doğasında olan yüksek derecede nonlineerlik faktörü, pnömatik sistemlerin konum kontrolünde zorluklara neden olmaktadır [1].

Havanın sıkışabilir olması özellikle doğrusal hareketlerde pozisyonlama hassasiyetinin kaybolmasına yol açmaktadır. Tasarlanan sistemler sıcaklıkla bile değişen bu eğri temelinde çalışmak zorundadır. Bu da pozisyon kaybının yaşanmasına ve kontrolü zorlaştırmaktadır.

Pnömatik iş elemanlarının pozisyonlamada gösterdiği dezavantajları;

1. Hız kontrolünün yapılması
2. Havanın sıkışabilir olmasından dolayı pozisyon hassasiyeti ve kontrolü
3. Kuvvet kontrolü

Bu dezavantajların bir geri kazanımı olan servo pnömatik teknolojisi hareket ve kontrol iş elemanları ile günümüzde birçok endüstride tercih edilmektedir. Kapalı çevrim kontrol yöntemine sahip kontrolörler hassas oransal valfler ile kuvvet kontrolü de sağlayabilmektedir.



**Sekil 1.** Servo pnömatik devre şeması [2].



## 1. ENDÜSTRİYEL ROBOTLAR

### 1.1 Robotun Tanımı

Robot, otonom veya önceden programlanmış görevleri yerine getirebilen elektro-mekanik cihazlardır. Robotun, Amerikan Robot Enstitüsü tarafından yapılan bir tanımı ise “malzemelerin, parçaların ve araçların hareket ettirilebilmesi için tasarlanmış olan çok fonksiyonlu ve programlanabilir manipülatör veya farklı görevleri yerine getirebilmek için değişken programlı hareketleri gerçekleştirebilen “özel araç” şeklindedir. Sanayi robotunun en kapsamlı tanımı ve robot tiplerinin sınıflandırılması ISO 8373 standardında belirlenmiştir. Bu standarda göre bir sanayi robotu şöyle tanımlanır: “Endüstriyel uygulamalarda kullanılan, üç veya daha fazla programlanabilir eksenli olan, otomatik kontrollü, yeniden programlanabilir, çok amaçlı, bir yerde sabit duran veya hareket edebilen manipülatör” [4].

Robotlar üretim maliyetlerini düşürmek, kaliteli üretim sağlamak ve zor çalışma şartlarında kullanılmaktadır. Üretim süreçlerinin kısaltılmasında ve ürün çıktısındaki kalitenin tekrarlanabilirliğinde önemli rol oynayan robotlar entegre edilebilen görüntü işleme sistemleri ile de kalite kontrol süreçlerinde de çalışabilmektedir.

Koordinat sistemleri robotların kabiliyetlerini belirleyen temel özelliktir. Kartezyen, silindirik, küresel, scara ve mafsallı yapılar en çok kullanılan robot modelleridir.

### 1.2 Robotların Sınıflandırılması

Günümüzde robotlar endüstrinin farklı kollarında sahip oldukları koordinat sistemleri veya tahrik sistemine göre görevlendirilmektedir. Savunma sanayi, tıp ya da sahne, film amaçlı kullanımlarda büyük bir öneme sahip robotlar karşımıza en çok kaynak, montaj, taşıma ya da yüzey işlemleri gibi endüstriyel uygulamalarda çıkmaktadır. Farklı çalışma uzayları, kinematik yapı ve taşıma kapasitelerine sahip bu ürünler farklı tahrik mekanizmalarına sahiptirler.

Hidrolik, pnömatik teknolojisi ilk olarak robotların tahrik mekanizmalarında kullanılmaya başlanmıştır. Akışkan gücünün sağladığı avantajlar elektrik tahrik sistemleri öncesi hareket düzeneklerinde kullanılmasını sağlamıştır. Genel olarak akışkan gücünün yararları;

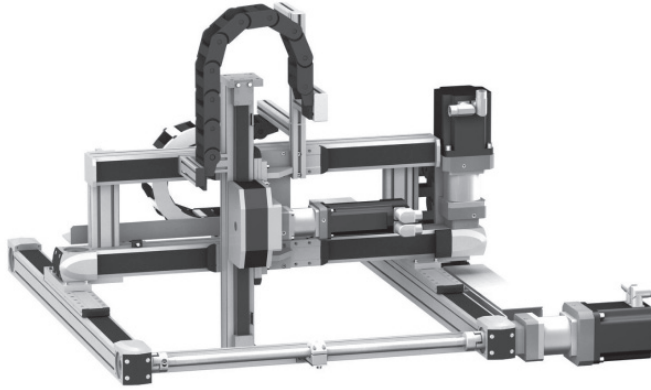
- Doğrusal ve dairesel harekette kolay ayarlanabilir ve geniş aralıklı hız imkanı sunmaktadır
- Elektrik sistemlere göre daha az ısı üretirler
- Patlama riski olan çalışma alanlarında çalışabilirler
- Elektrik, mekanik ve pnömatik olarak kumanda edilebilirler
- Sürekli güç uygulaması gereken sistemlerde elektrik hareket birimlerine göre daha avantajlıdır
- Sessiz çalışma özelliğine sahiptirler.

Robotlar ihtiyaç duyulan işleme göre farklı tasarımlar ve tahrik elemanları içerebilmektedirler. Hız, güç, boyut ve kontrol birimleri bu tahrik birimlerinin en önemli seçim etkenidir.

### 1.2.1 Elektrik Tahrikli Robotlar

Robotlarda en fazla kullanılan tahrik yöntemidir. Gelişen servo motor üniteleri günümüz endüstriyel robotlarının temel yapıtaşlarını oluşturmaktadır. Kontrol kolaylığı, hız ve hassasiyet üstünlüğü ve temizlik bu yöntemin avantajları olarak sayabiliriz. Güç/ağırlık oranının düşüklüğü ise motor ünitelerinin dişli sistemlere ihtiyacını doğurmaktadır. Dişli sistemlerdeki boşluk oranları bu yöntemin en büyük dezavantajlarından birini oluşturmaktadır. Motor bünyesinde oluşabilecek kıvılcım sebebiyle bu tahrik yöntemi ile çalışan robotların parlayıcı ortamlarda çalışması yakın zamana kadar sakıncalı iken geliştirilen ürünler ile bu handikap ortadan kaldırılmıştır.

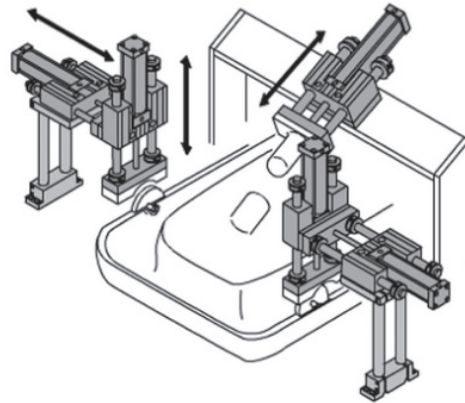
Daha az hassasiyet gerektiren sistemlerde ise step motor üniteleri açık çevrimli kontrol sistemleri ile robotlarda kullanılmaktadır. Bu sayede daha ekonomik bir tahrik sistemi dizayn edilebilmektedir.



Sekil 2. Elektrik Tahrikli Robotlar

### 1.2.2 Pnömatik Tahrikli Robotlar

Pnömatik, hava basıncı ile çalışan sistemlerin hareket ve kontrolünü gerçekleştiren uygulama alanıdır. Bu tahrik yönteminin en önemli avantajları ekonomik oluşu ve temizliğidir. Günümüz robotlarında lineer hareketlerde sıklıkla tercih edilen yöntem havanın sıkıştırılabilir olmasından dolayı kullanıcılara konum problemi yaşatmaktadır.



Sekil 3. Pnömatik Tahrikli Robotlar

### 1.2.3 Hidrolik Tahrikli Robotlar

Hidrolik sistemlerin endüstrisinde kullanılmasının asıl nedeni büyük kuvvet ihtiyaçlarıdır. Robot tahrik yöntemlerinde kullanılmasının başlıca nedeni de sağladığı bu yüksek güç ve akışkanın sıkıştırılmasından ötürü sağladığı yüksek hassasiyet ve konumlama kabiliyetidir.



**Sekil 4.** Hidrolik Tahrikli Robotlar

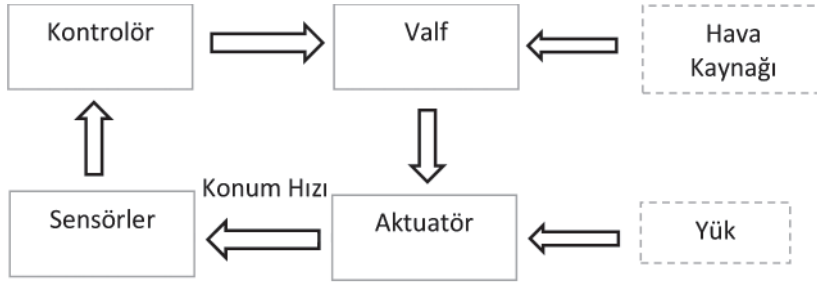
## 2. SERVOPNÖMATİK TEKNOLJİSİ

### 2.1 Sistem Elemanları

Servopnömatik teknoloji, havanın kullanılması esnasında yarattığı tüm dezavantajları geliştirilen kontrol ürünleri ile avantaja dönüştürmüştür. Temiz çalışma ortamı sunması oransal hidrolik sistemlere ihtiyaç talebini azaltmıştır. Bu sayede gıda, laboratuvar proses robotlarında tercih sebebi olmuştur. Robot uygulamalarında sağladığı avantajlar;

1. Yüksek güç-ağırlık oranı,
2. Dinamik yüklerde, yüksek hız ve ivme sağlama,
3. Temiz ve güvenli olması,
4. Hassas ve değişken pozisyonlama imkanı,

Servopnömatik sistemin temel elemanları pnömatik aktuatör, valfler, kontrolör ve geri besleme sensörleridir. Servopnömatik sistemde konum bilgisi dijital konum sensörü ya da analog transdüser yardımıyla elde edilir. Kontrolör, elde edilen konum bilgisi ve referans sinyali karşılaştırılarak hatayı belirler ve bu hatayı belirli oranlarda kazançla büyütür servo valfin bobinlerine, üretilen sinyal gönderilerek konum kontrolü gerçekleştirilmektedir[3].



**Sekil 5.** Servopnömatik Sistem Elamanları.

Servopnömatik uygulamalarda kapalı çevrim kontrol yapısı pozisyonlama sırasında kuvvet kontrolü yapılmasını sağlamaktadır. Anlık değer kontrolü tutuculara sıkılan paçanın maruz kalacağı kuvveti ayarlayabilmektedir. Bu sayede robotik taşıma uygulamalarında hassas parçaların taşınmasında verimli sonuçlar elde edilebilmektedir.

### 2.1.1 Pnömatik Aktüatörler

Günümüzde farklı pnömatik iş elemanları mevcuttur. Milsiz silindirler servopnömatik uygulamalarda en çok kullanılan modeldir. Milsiz silindirin sağladığı avantajlar;

- Piston dış gövdesinin olmayışından ötürü sağladığı boyut avantajı
- Geri besleme sensörlerine kolay montaj imkanı sunma
- İleri ve geri hareketlerde eşit hız imkanı
- Yüksek hızlarda sağladığı rijit yapı
- Yanal yüklerle karşı gösterdiği direnç

### 2.1.2 Valf

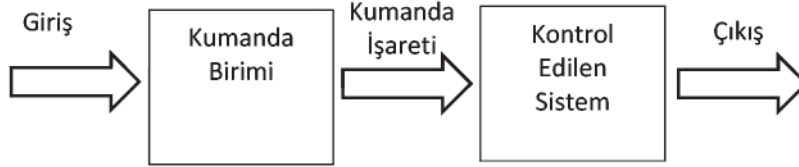
Oransal valfler analog elektrik sinyallerini oransal kuvvet veya akışa dönüştüren elemanlardır. Giriş sinyaline göre pnömatik uygulamalarda yön kontrolü, basınç ve akış kontrolü yapan valfler geri beslemeli kontrol birimleriyle hassas konum kontrolü sağlamaktadır. Kontrol çevriminde çıkış değeri sensörlerle anlık ölçülerek valfe düzeltici sinyal gönderilir. 5/3 orta konum merkezlemeli valfler kapalı çevrim uygulamalarında sıklıkla kullanılmaktadır.

### 2.1.3 Kontrolör

Kontrolör birimi programlanan hareket sinyallerini valf'e ileten ünedir. Kapalı ve açık kontrol tipleri mevcuttur.

### 2.1.3.1 Açık Kontrol Çevrimi

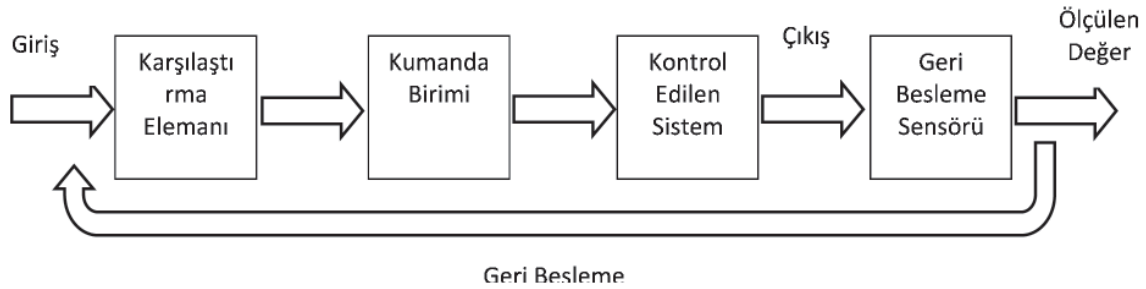
Kontrol işlemi üzerinde, çıkışın etkisinin olmadığı sistemler açık çevrim kontrol olarak bilinir. Diğer bir deyişle, bir açık kontrol sisteminde ne çıkış ölçülür ne de referans girişle karşılaştırmak için geri beslenir. Açık çevrimli kontrol genelde, kumanda edilen sistemin yapısının ve sisteme etkileyen diğer girişlerin önceden çok iyi bilindiği uygulamalarda kullanılır. Açık çevrim kontrol sisteminde çıkış, referans giriş ile karşılaştırılmadığından, her referans giriş sabit bir operasyon şartına karşılık gelir. Sonuçta, sistemin hassasiyeti kalibrasyona bağlıdır[5].



Sekil 6. Açık Kontrol Çevrim Blok Şeması

### 2.1.3.2 Kapalı Kontrol Çevrimi

Kapalı çevrim kontrol sistemi prosesi etkileyen şartların değişken olduğu durumlarda kullanılmaktadır. Açık çevrim bir sistemde çıkışa etki eden faktörlere karşı müdahale edecek bir sistem yoktur kapalı çevrimde ise geri besleme sensörlerinden gelen bilgi yorumlanarak sisteme uygun kontrol sinyal üretilir.



Sekil 7. Kapalı Kontrol Çevrim Blok Şeması

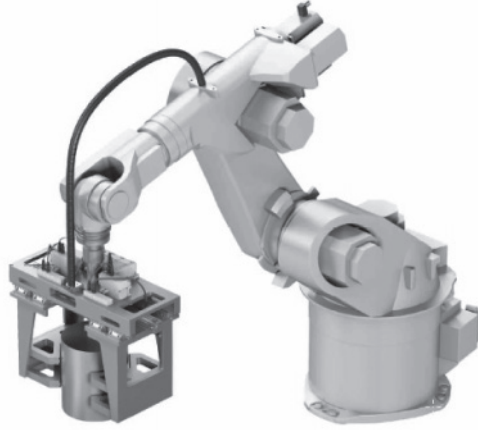
### 2.1.4 Geri Besleme Sensörleri

Servopnömatik uygulamaların en önemli birimlerinden olan sensörler sistemin konum bilgisini yorumlanmak üzere kontrolöre iletmektedir. Analog akım veya voltaj bilgisi üreten sensörler farklı uzunluklarda olabilmektedir. Veri iletim hızı sistemin pozisyon hassasiyetini oluşturmaktadır. 10 m/s hızlarda dahi ölçüm yapabilen sensörler yüksek ivmelerde dahi sisteme cevap verebilmektedir.



### 3. SERVOPNÖMATİK KONTROLLÜ ROBOTİK TUTUCULAR

Tasıma, endüstriyel robotların yoğunlukla kullanıldığı proseslerin başında gelmektedir. Bu uygulamalarda değişken parça boyutları ve şekilleri tutucu robot ellerinin esnek imal edilmesini gerekmektedir. Servopnömatik tutucular farklı parça boyutlarında basınç, pozisyon kontrollü kapalı kontrol çevrimi ile hasarsız konumlama ve sabitleme sağlamaktadır.



**Sekil 8.** Servopnömatik Robot Tutucu Örneği [2].

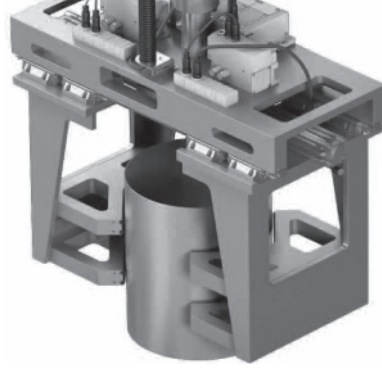
Tutucu tasarımı ve seçimi sırasında dikkat edilmesi gereken durumlardan ikisi parça şekillerinde farklılıklar ve ihtiyaç duyulacak kuvvet. Tutulacak malzeme mukavemeti azami tutma kuvvetinin belirlenmesinde önemli rol oynamaktadır. Servomotorlu tutucularda baskı kuvvetini motor üzerinden okunan akım değerlerine göre yapılmaktadır. Servopnömatik sistemlerde ise basınç veya konum sensörü üzerinden alınan bilgi tekrar pozisyonlama ve bu sayede sabit baskı kuvveti sağlamaktadır. Bu sayede robotlu taşıma uygulamalarında hassas ve değişken ölçülerdeki parçalar güvenli bir şekilde işlem görmektedir. Tutma kuvveti hesabında ise;

$$G = n \cdot \mu \cdot F_G$$

$$F_G = m \cdot g / n \cdot \mu$$

- $F_G$  = Azami gerekli olan tutma kuvveti, N olarak  
 $G$  = Tutulacak nesnenin ağırlık kuvveti, N olarak  
 $g$  = Yer çekim katsayısı,  $m/s^2$  olarak  
 $m$  = Parça kütlesi,  
 $n$  = Yanakların adedi  
 $\mu$  = Çene ve nesne arası sürtünme katsayısı

Pnömatik tutucularda ara konumlama için ek sensörler ve yastıklamalı stopperler kullanılmaktaydı. Bu yöntem pozisyon kaybını ve çevrim zamanlarında kayıba yol açmaktaydı. Farklı pozisyonlama özelliği sunan Servo Motor teknolojisi ise tork gerektiren uygulamalarda ihtiyaç duyduğu dişli sistemlerdeki boşluklar nedeniyle bu sefer hassasiyet kaybı yaşamaktadır. Servopnömatik tutucuların hidrolik ve servo motor sistemler ile kıyaslandığında sağladığı avantajlar,



**Sekil 9.** Servopnömatik Robot Tutucu Tasarımı.

- Sessiz ve temiz iş elemanları
- Hassas pozisyonlama hassasiyeti
- Geniş hız ve ivme aralığı
- Bakım maliyetlerinin daha az olması
- Kuvvet kontrolü imkanı

## SONUÇ

Robot tutucularında ihtiyaç duyulan farklı konumlama noktaları, kuvvet kontrolü, pozisyonlama hassasiyeti gibi özellikler servopnömatik çözümlerin tasarlanmasına neden olmuştur. Ayrıca bakım kolaylığı ve çalışma ortamını kirliletmeyen özelliği temiz ortam robotlarında da kullanılmasının nedenlerindedir.

Robot tutucularda parça taşınma sırasında yaşanabilen güvenlik problemlerinin önüne geçmek için pozisyon kilitlemeli ya da parça üzerine sürekli kuvvet uygulayan yapılar kullanılmaktaydı. Servopnömatik doğrusal iş elemanlarının, pozisyon konumu farketmeksizin ve robot hareketlerine bağlı ayarlanabilen hassas baskı kuvvetleri güvenli ve hasarsız konumlama imkanı sunmaktadır.

Elektrik kontrollü hareket modüllerinin devamlı yükte bırakılması sürücü ve motorlarda zorlanma ve ısınmalara yol açmaktadır. Servopnömatik doğrusal hareketlerde devamlı yük ya da baskı altında sorunsuz kalabilme özelliği robotlu taşıma veya montaj işlemlerinde sabit ve kontrollü baskı imkanı sağlamaktadır.

## KAYNAKLAR

- [1] Xiangrong Shen, X.: "Exploiting Natural Characteristics Of Pneumatic Servoactuation Through Multi-Input Control", PhD Thesis, Faculty of the Graduate School, Vanderbilt, Nashville- Tennessee, USA, (2006) 69-70.
- [2] H.-J. Eberhardt, D. Scholz., "Servo-Pneumatic Positioning", FESTO, 2001.
- [3] İLTER Y. , "Pid Kontrolör ile Servopnömatik Konum Kontrolü, 2008.



- [4] POYRAZ S:,"Pnömatik İki-Eksenli Bir Kartezyen Robot Sistemi İle Malzeme Taşıma Otomasyonu, 2010.
- [5] ÇİGDEM N:,"Gazaltı Kaynak Yönteminde Torç Hareketinin Servo Pnömatik Sistemle Gerçekleştirilmesi ve Kaynak Kalitesine Etkisinin İncelenmesi, 2009.

## ÖZGEÇMİS

### Savas AYTEK

1984 yılı Diyarbakır doğumludur. 2002 Yılında STFA Anadolu Teknik Lisesi Elektronik, 2007 yılında ise Marmara Üniversitesi Mekatronik Bölümünden mezun oldu. Çalışma hayatına 2007 yılında proje mühendisi olarak Teknodrom Robotik Otomasyon firmasında başladı. 2013 yılından beri KUKA Robot firmasında Servis Mühendisi olarak görev almaktadır.