

# SERVOVALF KUMANDALI ELEKTROHİDROLİK BİR KONUM DENETİM SİSTEMİNDE KARŞI YÜKÜN ETKİSİNİN İNCELENMESİ

**Elif ERZAN TOPÇU**  
**Mesut ŞENGİRGİN**  
**İbrahim YÜKSEL**

## ÖZET

Bu çalışmada servo valf kumandalı elektrohidrolik bir konum denetim sisteminin karşı yüklü ve yüksüz durumda gösterdiği dinamik davranış teorik ve deneysel olarak araştırılmıştır. Deneyler Uludağ Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği bölümü laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Sistemde kullanılan değişken karşı yük bir yay elemanı ile sağlanmıştır.

Sistemin benzetim çalışmaları için MATLAB/Simulink/SimHydraulics programı kullanılmıştır. Sistemin yüklü ve yüksüz durumdaki cevap eğrileri karşılaştırılmış ve birbirleriyle uyum içinde olduğu gözlemlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Elektrohidrolik sistem, konum denetimi, servovalf, MATLAB, Simhidrolik

## ABSTRACT

In this study, the dynamic behaviour of an electrohydraulic position control system with opposite load is theoretically and experimentally investigated. Experimental tests are carried on the hydraulic system test rig which is available in the Mechanical Engineering Department, Engineering and Architecture Faculty of Uludağ University. The variable opposite load used on the system is provided by a spring element. A MATLAB/Simulink/Simhydraulic model is build for simulation studies. The dynamic behaviour results with and without opposite load are compared with experimental and simulation results. A good agreement is shown between these results.

**Key Words:** Electrohydraulic system, position control, servovalve, MATLAB; Simhydraulics.

## 1. GİRİŞ

Hidrolik güç iletim sistemleri endüstride değişken seviyelerdeki büyük güçlerin kullanıldığı ve hassas denetim gerektiren yerlerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Basma ve kesme presleri, plastik enjeksiyon makineleri, robotlar, uzay araçları, uçaklar ve takım tezgahları hidrolik sistemlerin yaygın olarak kullanıldığı yerlerden bazılarıdır. Bu alanlarda kullanılan hidrolik sistemlerin pek çoğunda elektriksel denetim elemanları kullanılmaktadır. Elektrohidrolik denetim ise sistem de elektrohidrolik valflerin, elektriksel algılayıcıların ve denetim organının kullanılmasıyla oluşturulmaktadır.

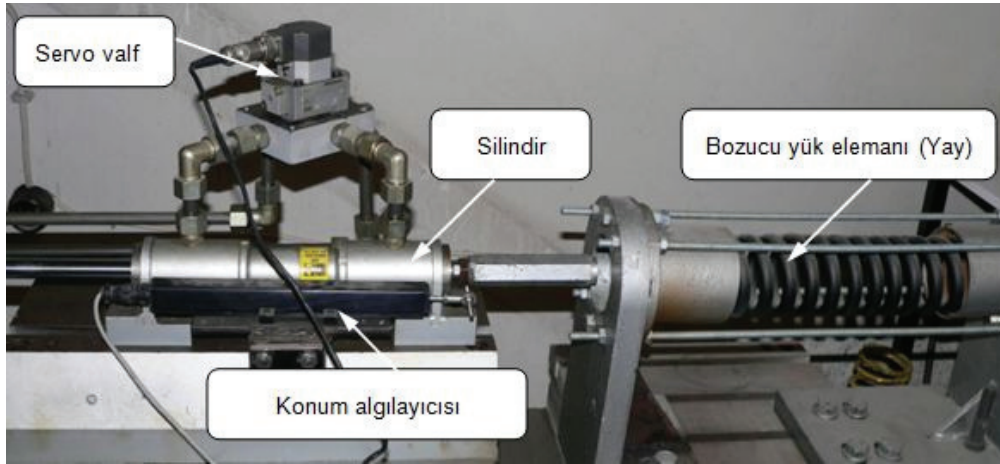
Hidrolik sistemler üzerindeki çalışmalar çeşitli araştırmacılar tarafından sürdürülmektedir. Bu çalışmalar hidrolik sistemlerin modellenmesi, denetimi, hidrolik sistem elemanlarının geliştirilmesi ve

karakteristiklerinin çıkarılması şeklinde olmaktadır. Hidrolik sistemlerin modellenmesi üzerine yapılan çalışmalar çoğunlukla konum ve kuvvet geribeslemeli sistemlerle ilgilidir. [1, 2, 3, 4, 5, 6].

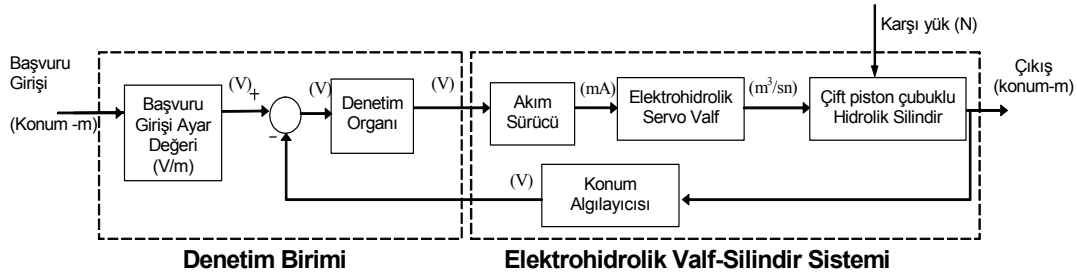
Bu çalışmada servo valf kumandalı elektrohidrolik bir konum denetim sisteminin karşı yüklü ve yüksüz durumda gösterdiği dinamik davranış teorik ve deneysel olarak araştırılmıştır. Sistemde kullanılacak değişken karşı yük bir yay elemanı ile sağlanmıştır. Bu yük hareket başladıktan bir süre sonra sisteme giriş olarak verilmiş ve bir bozucu yük olarak ele alınmıştır. Sistemin benzetim çalışmaları için MATLAB/Simulink/SimHydraulics programı kullanılmıştır. Sistemin yüklü ve yüksüz durumdaki konum değişim eğrileri karşılaştırılmış ve birbirleriyle uyum içinde olduğu gözlemlenmiştir.

## 2. ELEKTROHİDROLİK KONUM DENETİM SİSTEMİ DENEY DÜZENEĞİ

Bu çalışmada yer alan deneyler Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Otomatik Kontrol Laboratuvarı'nda kurulan deney düzeneğinde yürütülmüştür. Deney düzeneği silindir, servo valf, sürücü devreler, direnç tipi bir konum algılayıcısı, denetim birimi ve güç ünitesinden oluşmaktadır (Şekil1, Şekil 2). Hidrolik silindir 150 mm stroklu, 40mm piston, 22 mm piston çubuğu çaplı çift etkili-çift piston çubuklu senkronize bir silindirdir. Hareket eden toplam kütle 3 kg' dir. Sönümlenme katsayısı 2 N/mm olarak alınmıştır. Güç ünitesi 20 lt/dak ve 100 bar basınç sağlayabilen dişli bir pompa, 5 kW lık güce sahip elektrik motoru ve yağ tankından oluşmaktadır. Servo valfin kapasitesi 10 lt/dak, kazancı  $2,67 \cdot 10^{-5}$  m/mA ve zaman sabiti 5,5·ms' dir. Valf sürgüsü alan gradyeni  $3,85 \cdot 10^{-3}$  m<sup>2</sup>/m' dir. Akım sürücünün kazancı 3 mA/V' dur. Konum algılayıcısının kazancı ise 50 V/m' dir. Değişken karşı yük olarak kullanılan yayın yaylılık katsayısı yaklaşık 70000 N/m' dir. Yay kuvveti silindir hareketi başlar başlamaz oluşturulmamış ve bir bozucu etki gibi düşünülmüştür. Bunun için yay silindirin başlangıç konumundan 0,05 m uzak mesafeye konumlandırılmıştır. Silindir harekete başladığı andan yaya temas edene kadar yüksüz durumdadır.



Şekil 1. Elektrohidrolik Sistemin Genel Görünüşü



Şekil 2. Elektrohidrolik Konum Denetim Sisteminin Kapalı Döngü Blok Şeması

### 3. ELEKTROHİDROLİK VALF-SİLİNDİR SİSTEMİNİN MATEMATİKSEL MODELİ

Yüke maruz servovalf denetimli bir elektrohidrolik bir sistemin matematik modeli genel olarak valf debi denklemleri, silindir debi denklemleri, yük denklemleri ve denetim sistemini ifade eden denklemlerden oluşmaktadır. Burada amaç detaylı bir matematik analiz olmayıp, basitçe sistemin dinamik davranışına esas olan parametrelerin etkilerini göstermektir.

#### 3.1. Servo Valfin Matematik Modeli

Çalışmamızda servovalfin ayrıntılı bir modeli çıkarılmamış olup sadece debi ve elektriksel kısmının dinamik davranışını tanımlayan denklemler verilmiştir. Yük basıncı ( $P_L$ ) ve valf sürgü konumuna ( $x_v$ ) bağlı olarak valfin debi denklemi

$$Q_L(t) = C_d w x_v(t) \sqrt{\frac{1}{\rho} (P_s - \frac{x_v(t)}{|x_v(t)|} P_L(t))} \quad (1)$$

ile ifade edilebilir [7]. Burada  $C_d$  boşaltım katsayısı,  $w$  ( $m^2/m$ ) valf sürgüsü alan gradyeni,  $x_v$  (m) valf sürgüsü yerdeğiştirme miktarı,  $\rho$  ( $kg/m^3$ ) akışkanın yoğunluğu,  $P_s$  ve  $P_L$  ( $N/m^2$ ) sırasıyla besleme ve yük basıncıdır. Valfin elektriksel kısmının dinamik davranışı ise birinci dereceden bir gecikme elemanı gibi modellenilebilir.

$$G_v(s) = \frac{X_v(s)}{I(s)} = \frac{K_v}{T_v s + 1} \approx K_v \quad (2)$$

Burada  $K_s$  valf kazancı,  $T_v$  valf zaman sabitidir. Çalışmamızda valfin zaman sabiti tüm sistemin zaman sabitinin yanında çok küçük kaldığı için ihmal edilmiş ve valf bir kazanç elemanı gibi ele alınmıştır.

#### 3.2. Silindir Sisteminin Matematik Modeli

Belirli bir karşı yüke, kütle ve sönümleyiciye sahip, sıkıştırılabilirliğin ve sızıntı kayıplarının da hesaba katıldığı çift piston çubuklu bir silindir sisteminin denklemleri aşağıdaki gibi ifade edilebilir. [7]

$$Q_L(t) = A \frac{dy(t)}{dt} + C_{tp} P_L(t) + \frac{V_t}{4\beta_e} \frac{dP_L(t)}{dt} \quad (3)$$

Burada,  $A$  ( $m^2$ ) piston etkin kesit alanı  $V_t$  ( $m^3$ ) toplam sıkıştırılabilir hacim,  $C_{tp}$  ( $(m^3/s)/(N/m^2)$ ) toplam sızıntı katsayısı,  $\beta_e$  ( $N/m^2$ ) bulk modülü,  $y$  (m) piston konumudur.

Silindir hareketli elemanların kütlesi  $m$  (kg), sönüm katsayısı  $B$  ( $N/(m/sn)$ ) olan bir sistemde hareket oluşturmaktadır. Sistemde silindir hareketini tamamlamadan yay kuvveti ile bozucu giriş etkisi oluşturulmaktadır. Buna göre hareket denklemi için;

$$A P_L(t) - F_y(t) = m \frac{d^2 y(t)}{dt^2} + B \frac{dy(t)}{dt} \quad (4)$$

ifadesi yazılabilir. Burada  $F_y$  (N) yay kuvveti bozucu giriş olup  $k \cdot x_h(t)$  i içermektedir.  $x_h(t)$  silindirin yaya temasından sonraki hareket miktarı,  $k$  yaylılık katsayısıdır.

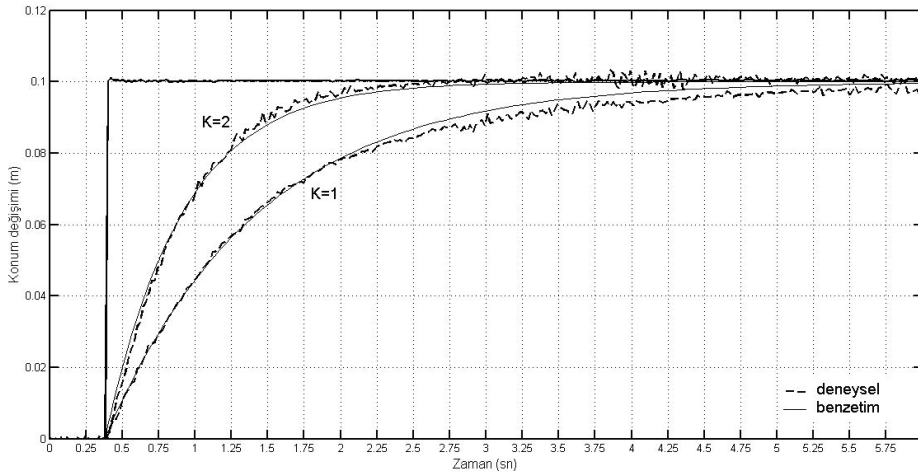


## 5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR VE BENZETİM SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

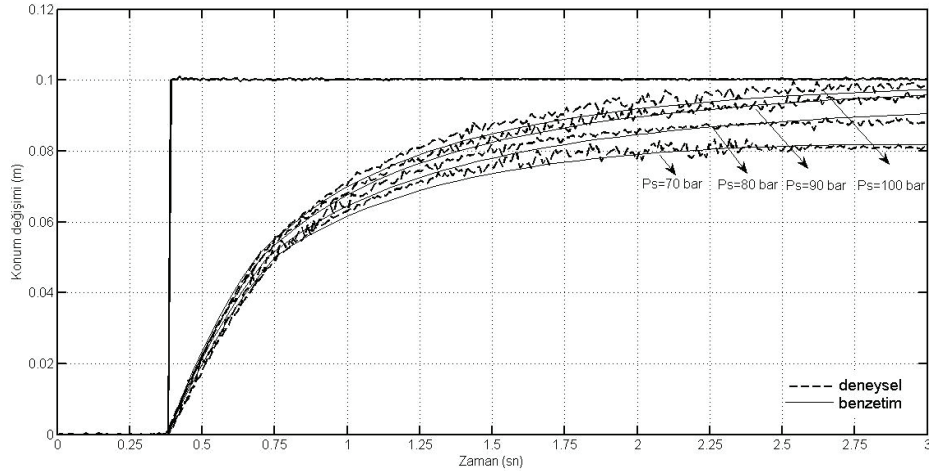
Servo valf denetimli silindir sisteminin konum denetim çalışmaları iki aşamalı olarak yapılmıştır. Birinci aşamada 70 bar besleme basıncında silindir sisteminin karşı yüksüz durumdaki basamak giriş cevabı incelenmiştir. Sistemin denetim organı orantı etkiyle çalıştırılmış ve çeşitli orantı kazancı ( $K=1$ ,  $K=2$ ) değerleri için sistemin dinamik davranış eğrileri elde edilmiştir (Şekil 4). Bu cevap eğrilerinden sistemin zaman sabiti ve yüksüz durumdaki kalıcı durum hatası gözlenmiştir. İkinci aşamada karşı yüklü durumda sistemin basamak giriş cevabı incelenmiştir. Farklı besleme basıncı değerleri için orantı tipi denetim organına ( $K=2$ ,  $K=4$ ) sahip sistemin bozucu yük karşısındaki dinamik davranışı gözlenmiştir (Şekil 5, Şekil 6) Her iki çalışma durumunda elde edilen sonuçlarla benzetim çalışmaları karşılaştırılmış ve benzetim sonuçlarının deneysel sonuçlarla uyumlu olduğu görülmüştür.

Yüksüz durumun dinamik davranış eğrilerinden sistemin zaman sabitinin  $K=1$  için 1 sn,  $K=2$  için ise 0,52 sn olduğu görülmüştür. Denetim organı kazancının  $K=2$  olduğu durumda kalıcı durum haline daha çabuk ulaşılmıştır. Oturma zamanı zaman sabitinin dört katı olarak alındığında bu duruma karşılık gelen kalıcı durum hataları 6 mm ve 4 mm olarak ölçülmüştür. Denetim organı kazancının  $K=2$  olduğu durumda sistem sıfır hataya 2,5 sn de ulaşırken, kazancın  $K=1$  olduğu durumda bu değere yaklaşık 6 sn sonra ulaşmıştır. (Şekil 4)

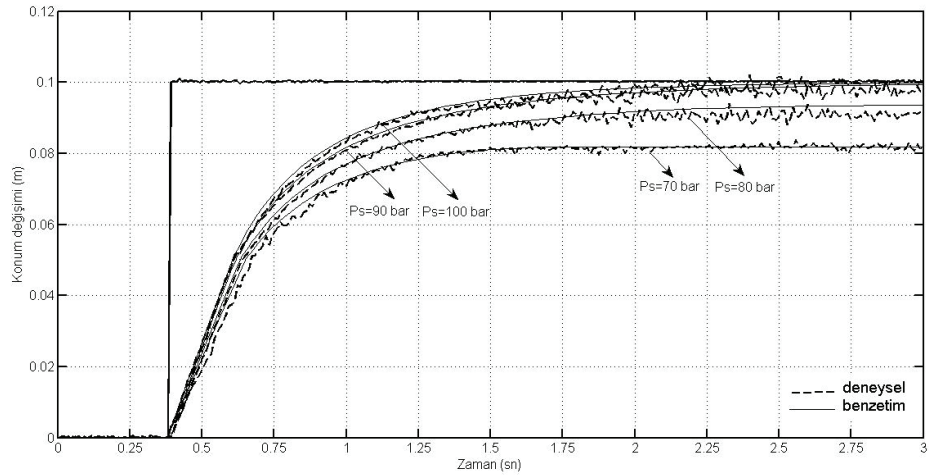
Yüklü durumda  $K=2$  ve  $K=4$  kazanç değerlerinde sistemin zaman sabitleri 70 bar besleme basıncında sırasıyla 0,4 sn ve 0,29 sn olarak ölçülmüştür. Kazancın artması burada da sistemin cevap hızını arttırmıştır. Sisteme değişken karşı yük uygulandığı durumda farklı kazanç değerleri için sistemin cevap eğrileri incelendiğinde sistemde kalıcı durum hataları olduğu görülmüştür. 70 bar besleme basıncında yüksüz durumda  $K=2$  kazanç değeri için herhangi bir kalıcı durum hatası oluşmazken yüklü durum için 18 mm değerinde bir kalıcı durum hatası meydana gelmiştir. Aynı değer  $K=4$  kazanç değeri için tekrarlandığında kalıcı durum hatası değişmemiştir. Kazancı artırılması kalıcı durum hatasını azaltamamıştır. Farklı besleme basıncı değerleri için ( $P_s=70, 80, 90$  ve  $100$  bar ) deneyler her iki kazanç değeri için tekrarlandığında basıncın artmasıyla basınç kuvveti de arttığı için kalıcı durum hatası da azalmıştır.



Şekil 4. Yüksüz Durum İçin Sistemin Basamak Cevabı Eğrisi ( $P_s=70$  bar)



**Şekil 5.** Karşı Yüklü Durum İçin Sistemin Basamak Cevabı Eğrisi (K=2)



**Şekil 6.** Karşı Yüklü Durum İçin Sistemin Basamak Cevabı Eğrisi (K=4)

## SONUÇ

Çalışmamızda servo valf denetimli elektrohidrolik bir sistemin konum denetimi ve benzetimi incelenmiştir. Sistemin yüklü ve değişken yüklü durumdaki dinamik davranışı deneysel ve benzetim çalışmalarıyla gözlenmiştir. Benzetim çalışmalarında kullanıcıya fiziksel bir sistemi kurar gibi modelleme yapma olanağı sağlayan MATLAB/Simulink/SimHydraulics modülü kullanılmıştır. Benzetim ve deneysel çalışmaların sonuçlarının birbirleriyle uyumlu sonuçlar verdiği görülmüştür.

Sistem yüksüz ve karşı yüklü durumda çalışırken kazanç değerinin artmasıyla sistemin cevap hızı artmıştır. Sistemin yüksüz durumda her iki kazanç değeri için de kalıcı durum hatası vermediği gözlemlenmiştir. Yüklü duruma geçildiğinde ise sistemin aynı besleme basıncı ve kazanç değeri için kalıcı durum hatası verdiği görülmüştür. Kazancın artırılması ile de bu hata değeri azaltılamamıştır. Besleme basıncı değeri yükseltildiğinden de ise kalıcı durum hatasının basınç kuvvetindeki artış sebebiyle azaltılabildiği görülmüştür.

Konum denetimi için sadece orantı etki kullanılmıştır. Sistemin kazanç ve besleme basıncı değişimleri ile karşı yüke gösterdiği cevap incelenmiştir. Daha sonraki çalışmalarımızda sistemin farklı denetim yordamlarıyla farklı çalışma şartları altındaki davranışı incelenecektir.

## KAYNAKLAR

- [1] Ferreira J.A., P. Sun, J.J. Gracio. Close loop control of a hydraulic press for springback analysis. Journal of Materials Processing Technology. Vol: 177. p. 377–381. 2006.
- [2] Guan C., S. Pan. Adaptive sliding mode control of electro-hydraulic system with nonlinear unknown parameters. Control Engineering Practice 16. p.1275– 1284. 2008
- [3] Yousefi H., H. Handroos, A. Soleymani. Application of differential evolution in system identification of a servo-hydraulic system with a flexible load. Mechatronics 18 513–528. 2008.
- [4] Wang S., S Habibi, and R Burton. Sliding mode control for an electrohydraulic actuator system with discontinuous non-linear friction. Proc. IMechE Vol. 222 Part I: J. Systems and Control Engineering. p.799 -815. 2008.
- [5] Wang, Y. and Huang, C., The Simplest Identification Model of An Asymmetric Hydraulic System. JSME International Journal, Series C, Vol.39, No.4, 738-745, 1996.
- [6] Martin D.J. and Burrows, C.R., The Dynamic Characteristics of An Electrohydraulic Servovalve. Transaction of the ASME Journal of Dynamic Systems, Measurement and Control, 395-406, 1976.
- [7] Merritt, H.E., Hydraulic Control Systems, John Wiley & Sons Inc., New York, London, Sydney, 1967.
- [8] Yüksel, İ. "MATLAB ile Mühendislik Sistemlerinin Analizi ve Çözümü- Sürüm 6.X". 3. Baskı. Nobel Yayın. 2004.
- [9] <http://www.mathworks.com/products/simhydraulics/> (Tarih: 11.08.2011)

## ÖZGEÇMİŞ

### Elif ERZAN TOPÇU

1978 yılı Bursa doğumludur. 1998 yılında Uludağ Üniversitesi Mühendislik- Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'nden birincilikle mezun oldu. 2000 yılında Uludağ Üniversitesi Makine Mühendisliği ABD Konstrüksiyon ve İmalat Bilim Dalı'nda yüksek lisans öğrenimini, 2005 yılında Makine Teorisi ve Dinamiği Bilim Dalı'nda doktora öğrenimini tamamladı. 1998- 2005 yılları arasında Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde Araştırma görevlisi olarak, 2005 yılından beri de aynı bölümde öğretim görevlisi olarak çalışmaktadır. Elektropnömatik, elektrohidrolik, elektromekanik, otomatik kontrol ve mekatronik alanlarında çalışmalar yapmaktadır. Çeşitli konularda yayınlanmış ulusal ve uluslararası çalışmaları bulunmaktadır.

### Mesut ŞENGİRGİN

1967 yılında Mustafakemalpaşa-BURSA'da doğdu. Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'nden 1989 yılında "Lisans", Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nden 1992 yılında "Yüksek Lisans" ve 2000 yılında "Doktora" derecelerini aldı. Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde 1989- 1997 yılları arasında Araştırma Görevlisi olarak çalıştı. 1997 yılından bu yana halen aynı üniversitede Öğretim Görevlisi olarak görev yapmaktadır. Çalışmaları sistem dinamiği, hidrolik ve pnömatik sistemlerin modellenmesi ve kontrolü, sistem modelleme ve benzetimi alanlarında yoğunlaşmaktadır.

### İbrahim YÜKSEL

1951 yılı İzmit doğumludur. Doktorasını İngiltere' de University of Surrey' de tamamladı. 1982 yılından bu yana Uludağ Üniversitesi Mühendislik- Mimarlık Fakültesi, Makine, Tekstil, Endüstri ve Elektronik Mühendisliği Bölümlerinde Otomatik Kontrol ve Sistem Dinamiği, Hidrolik ve Pnömatik Güç İletimi konularında Lisans ve Lisansüstü seviyelerinde çeşitli dersler ve araştırma çalışmaları yürütmektedir. Temmuz 1997-Ekim 2000 yılları arasında U.Ü. Mühendislik- Mimarlık Fakültesi Dekanlığı görevi yaptı. Ulusal ve uluslararası alanda yayınlanmış çeşitli makaleleri mevcut olup "Otomatik Kontrol- Sistem Dinamiği ve Denetim Sistemleri" ve "MATLAB ile Mühendislik Sistemlerinin Analizi ve Çözümü" isimli kitapları bulunmaktadır.