



PNÖMATİK SILINDIRLERDE BASINÇ GERİ BESLEMESİ İLE HASSAS KONUM KONTROLÜ

Ahmet KUZUCU
Berrak KARACA
Hakan Baris BENLİGIRAYOĞLU
Turhan Oguzhan GÖKSEL

ÖZET

Aynı eksen üzerinde birden çok referans değeri etrafında programlanabilir konum kontrolü otomasyon uygulamalarında esnek çözümler sunabilir. Pnömatik sürücülerin hassas konum kontrolünün güvenilir ve ucuz biçimde gerçekleştirilmesi bu uygulamalarda önemlidir.

Havanın sıkıştırılabilirliği nedeniyle etkin kontrol için konum ve hız ölçümleri yanında basınç ölçümü de gerekebilir. Basınç ölçümünün, hız ölçümünden daha basit gerçekleştirilebilmesi nedeniyle yalnızca konum ve basınç ölçümlerine dayalı kontrol uygulama açısından caziptir. Sistemin basınç dalgalanmalarını söndürmesi, hızlı aç-kapa valfleriyle basit ikili kontrol uygulamalarına; böylece daha ucuz bileşen kullanımına imkan sağlar.

“Bulanık Mantık” yaklaşımı, gerek sistem dinamik davranış modelinin karmaşıklığı, gerekse pnömatik sistem karakteristiklerinin zamanla değişmesi nedeniyle klasik PD kontrol yöntemlerine tercih edilebilir.

Bu çalışmada üç temel yaklaşım gözetilmiştir:

- Konum transferinde önceden belirlenen bir referans yörüngesi etrafında kontrol,
- Basınç referans yörüngesi etrafında basınç geri beslemeli doğrusal kontrol,
- Konum ve basınç referans yörüngeleri etrafında konum ve basınç geri beslemeli ikili ve bulanık kontrol.

Bir deneysel sistemin daha önceki çalışmalarda geçerliliği sınanmış matematik modeli kullanılarak yapılan benzetimle elde edilen sonuçlar sunulmuş ve irdelenmiştir. Elde edilen önemli sonuçlar şunlardır:

- Noktadan noktaya konum transferinde bir referans yörüngesinin kullanılması değişken parametrelerden duyarsız kılınabilen hassas konum kontrolünü sağlamıştır.
- Basınç ve konum ölçümleri hassas kontrol için yeterlidir. Hız ölçümüne gerek kalmamaktadır.
- Basınç yörüngesi etrafında ikili kontrol veya bulanık kontrol uygulamaları çok başarılı olmakta ve ucuz donanım ile gerçekleştirilebilmektedir.

1. GİRİŞ

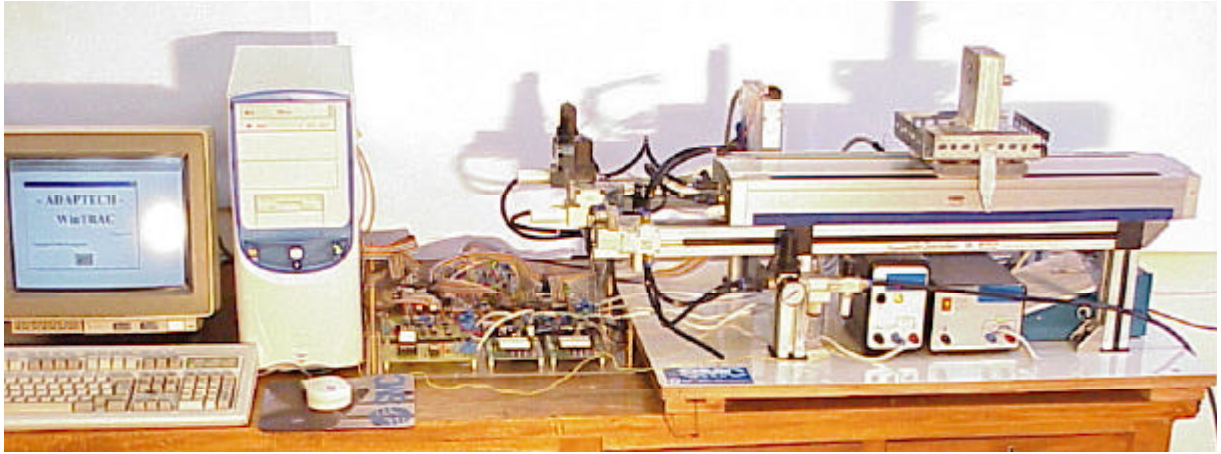
Bir pnömatik silindirin ara bir konumda istenen hassasiyette sabit tutulmasını ya da çalıştırılmasını, havanın sıkıştırılabilirliği, küçük sönüm oranları, mekanik sürtünmeler, sistemin nonlineer olması gibi faktörler güçleştirmektedir [10]. Ayrıca geleneksel konum kontrolü yaklaşımları zamana göre rastgele değişen dış kuvvet ve bozulmalara karşı yeterince kati (robust) olamamaktadır. Bu nedenlerle,

otomasyon sisteminin çalışma alanı içinde farklı referans konumları arasında hızlı, kesin ve kati konumlandırma istenildiğinde genellikle strok sınırlarında çalışan birden fazla sürücü eleman veya kilit mekanizmaları kullanılmakta, sistem yalnızca bu donanım ile belirlenmiş noktalar arasında transfer yapmaktadır. Bu çalışmada önerildiği gibi “referans konumları kullanım amacına göre programlanabilir” bir sistem ise, gerekli hassaslık ve katılık koşullarını sağladığı takdirde çok çeşitli alanlarda esnek biçimde uygulanabilir.

Endüstride karşılaşılan pnömatik kontrol ile ilgili sorunların deneysel ortamda incelenmesi, önerilen çözümlerin sinanması ve güncel kontrol teknolojilerinin bu alanda uygulanabilirliğinin araştırılması amacı ile bilgisayar kontrollü bir “pnömatik konum kontrolü sistemi” kurulmuştur. Kurulan sistemde bir adet her iki yönde de aynı kesite sahip, hassas lineer yatakları bulunan, 500 mm stroklu, üzerindeki arabaya magnetik olarak bağlı 32 mm. çaplı, çubuksuz silindir kullanılmıştır. Sistemde hızlı anahtarlama yapabilen iki adet ikili kontrol valfi bulunmaktadır. İkili valfler, 3 yollu elektro pnömatik, metal kaplı ve sürgülüdür. Bu valfler “ikili kontrol” uygulamalarında kullanılmaktadır. Sistemde ayrıca 2 adet oransal basınç kontrol valfi bulunmaktadır. Oransal valfler basınç tipi 3 yollu elektro pnömatiktir. Bu valfler, yollanan akım sinyaline karşılık gelen basıncı kontrol edilen hacimde sağlamakta ve “sürekli kontrol” için kullanılmaktadır.

Konum ölçümünde 600 mm. etkin uzunluğa sahip bir manyetik cetvel kullanılmaktadır. Bu cetvel çıkışında sinüs dalgası vermekte ve bu sinyal, kendine ait filtresi ile kare dalgaya dönüştürülerek sayısal ölçme elde edilmektedir. Basınç değişimleri, gerilim çıkışlı 2 adet basınç sensörü ile ölçülmekte ve bir A/D dönüştürücü ile bilgisayara beslenmektedir.

MATLAB® programlama dili ve bu program paketi ile ilişkili SIMULINK® benzetim paketi kullanılarak sistem benzetimi gerçekleştirilmiş, sinanmak istenen kontrol algoritmaları programlanmıştır. Kullanılan matematik model, yapısı ve katsayıları daha önceki çalışmalarda deneysel biçimde sinanmış, gerçeğe çok yakın davranış veren bir modeldir. Bu çalışmada benzetim sonuçları sunulmakta ve irdelenmektedir. Gerçek zamanda kontrol ve deneysel çalışmalar sürmektedir.

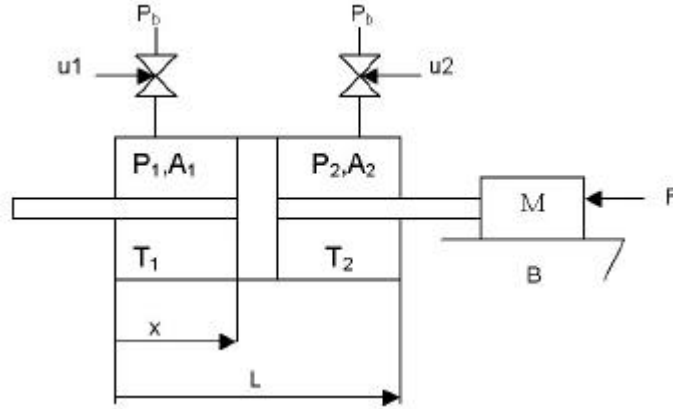


Sekil 1. Deneysel Sistem

2. SISTEM BENZETİMİ

2.1. Pnömatik Sistemin Genel Yapısı:

Matematik modelin esas aldığı sistem yapısı aşağıdaki gibi tanımlanmıştır:



Burada;

- Pb: Besleme basıncı;
u₁: (+) yönde ilerlemeyi sağlayan kontrol sinyali;
u₂: (-) yönde ilerlemeyi sağlayan kontrol sinyali;
P₁, P₂: 1. ve 2. kontrol hacimlerdeki basınç;
A₁, A₂: Pistonun 1. ve 2. tarafındaki kesit alanları;
T₁, T₂: Silindirin 1. ve 2. bölmelerindeki hava sıcaklığı;
x: Silindirin sağ tarafa ilerlemesi;
L: Silindirin uzunluğu;
B: Viskoz sürtünme katsayısı;
M: Sürülen esdeğer kütle;
F: Sisteme verilen basınç sonucu araba üzerinde oluşan net kuvvet

olarak ifade edilmektedir.

2.2. Silindir Mekanik Davranış Modeli:

Sistemin mekanik bölümünün dinamik davranış denklemini;

$$M\ddot{x} + B\dot{x} + F_s = (P_1 A_1 - P_2 A_2) \quad (1)$$

şeklindedir.

2.3. Basınç Modeli:

Basınç denklemlerinin elde edilmesinde kontrol hacimlerdeki kütleli debi ele alınırsa;

$$\frac{dM_1}{dt} = \frac{d}{dt}(\rho_1 V_1) \quad (2)$$

Havanın ideal gaz olarak kabulüyle yoğunluk; $\rho_1 = \frac{P_1}{R_1 T_1}$ olarak yazılır ve kontrol hacminde enerjinin korunumu ilkesi uygulanırsa;

$$\sum \dot{M}_g \dot{h}_g - \sum \dot{M}_\zeta \dot{h}_\zeta + \left(\frac{dQ_1}{dt} - \frac{dW_1}{dt} \right) = \frac{dE_1}{dt} \quad (3)$$

elde edilir. Burada; ρ : Yoğunluk; V: Hacim; h: Havanın entalpisi; z: Yükseklik; \dot{h}_g, \dot{h}_ζ : Kontrol hacmine giren ve çıkan havanın birim kütlelerinin toplam enerjisi; u: Birim kütle için iç enerji; v: Havanın hızı;



\dot{Q} : Kontrol hacmindeki ısı akışı; \dot{W} : Sistem tarafından yapılan ısı (Kontrol hacminin çevreye yaptığı ısı); E : Kontrol hacmindeki toplam enerji; g : Yerçekimi ivmesi; R : Gaz sabiti; \dot{M}_g : Kontrol hacmine giren havanın kütleli debisi; \dot{M}_g : Kontrol hacminden çıkan havanın kütleli debisi olarak tanımlanmıştır.

Kontrol hacmine giren havanın birim kütleli toplam enerjisi ya da durgunluk entalpisi $\dot{h} = u + \frac{P}{\rho} + \frac{v^2}{2} + gz = h + \frac{V^2}{2} + gz$ şeklinde yazılıp, entalpi için de $h = c_p T$ yazılarak, ayrıca yükseklik değişimi z ve akışkan kinetik enerjisi ihmal edilerek;

$$c_p \dot{M}_1 T_1 - P_1 \frac{dV_1}{dt} + \frac{dQ_1}{dt} = \frac{d}{dt} (c_v \rho_1 V_1 T_1) \quad (4)$$

bulunur. Burada; c_p : Havanın sabit basınçtaki özgül ısısı; c_v : Havanın sabit hacimdeki özgül ısısı;

T_1 : Silindirin 1. bölümündeki hava sıcaklığı olarak tanımlanmıştır.

Matematiksel modelde kullanılan yoğunluk, özgül ısılar oranı ve özgül ısılar göre gaz sabiti aşağıdaki gibidir:

$$\rho = \frac{P}{RT} \quad c_p = \frac{\gamma R}{\gamma - 1} \quad \gamma = \frac{c_p}{c_v} \quad R = c_p - c_v \quad (5)$$

1. ve 2. kontrol hacmi ve kontrol hacmi değişimi ifadeleri için;

$$V_1 = V_{10} + A_1 X = A_1 \left(X + \frac{V_{10}}{A_1} \right) = A_1 (X + X_{10})$$
$$V_2 = V_{20} - A_2 X = A_2 \left(-X + \frac{V_{20}}{A_2} \right) = A_2 (-X + X_{20}) \quad (6)$$

V_{10}, V_{20} : Başlangıçta silindirin 1. ve 2. taraflarındaki hacimler; A_1, A_2 : Pistonun 1. ve 2. tarafındaki kesit alanları; X : Silindirin sağ tarafa ilerlemesi; $X_{10} = \frac{V_{10}}{A_1}$: silindirin 1. haznesinin başlangıçtaki

uzunluğu; $X_{20} = \frac{V_{20}}{A_2}$: silindirin 2. haznesinin başlangıçtaki uzunluğu olmak üzere; kontrol

hacimlerinin zamanla değişimi için $T = T_1 = T_2$ kabulü ve adyabatik hal değişimi kabulüyle;

$$\frac{dP_1}{dt} = -\frac{\gamma P_1}{V_{10} + A_1 X} A_1 \dot{X} + \frac{\gamma RT}{V_{10} + A_1 X} \dot{M}_1$$
$$\frac{dP_2}{dt} = -\frac{\gamma P_2}{V_{20} - A_2 X} A_2 \dot{X} + \frac{\gamma RT}{V_{20} - A_2 X} \dot{M}_2 \quad (7)$$

şeklinde yazılabilir.

Sistemin (1) ve (7) ifadeleri ile tanımlanan çok giriş – çok çıkışlı dinamik davranış modelinde durum değişkenleri $X_1 = x$, $X_2 = \dot{x}$, $X_3 = P_1$, $X_4 = P_2$ olarak tanımlanır ve denklemler bu değişkenler cinsinden yazılırsa, sistem durum denklemleri;

$$\frac{dX_1}{dt} = \dot{X}_1 = X_2 \quad (8)$$



$$\frac{dX_2}{dt} = \dot{X}_2 = -\frac{B}{M}X_2 + \frac{1}{M}(A_1X_3 - A_2X_4) - \frac{F}{M} \quad (9)$$

$$\frac{dX_3}{dt} = \frac{\gamma}{X_{10} + X_1} \left[-X_2X_3 + \frac{RT}{A_1}\dot{M}_1 \right] \quad (10)$$

$$\frac{dX_4}{dt} = \frac{\gamma}{X_{20} - X_1} \left[-X_3X_4 + \frac{RT}{A_2}\dot{M}_2 \right] \quad (11)$$

biçiminde elde edilir.

2.4. Valf Modeli:

Valf modelinin oluşturulmasında kullanılan ifadeler; P_{vc} : Vena Contrekta'daki statik basınç;

P_{atm} : Atmosfer basıncı; P_b : Besleme basıncı; s : Valf etkin kesit alanı; C_d : Bosaltma katsayısı;

C_m : Sikistirilabilir kütle akis hızı fonksiyonu; γ : Özgül isilar oranı şeklinde tanımlanmıştır.

Valften geçen kütleli debi, bu tanımlarla

$$\dot{M} = C_d s_{max} C_m \quad \text{olur.} \quad (12)$$

C_m 'nin hesabında $\frac{P_{vc}}{P_b}$ ve $\left(\frac{2}{\gamma+1}\right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}}$ değerlerinin karşılaştırılması kritiktir.

Hava için $\left(\frac{2}{\gamma+1}\right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}} = 0.528$ 'dir.

$\frac{P_{vc}}{P_b} > 0.528$ ise akis boğulmamış akistir. Bu durumda akis P_{vc} ve P_b büyüklüklerinden her ikisinin de

büyükliğüne bağlıdır. C_m ise;

$$C_m = \frac{P_b}{\sqrt{T_b R}} \sqrt{\frac{2\gamma}{(\gamma-1)} \left\{ \left(\frac{P_{vc}}{P_b}\right)^{\frac{2}{\gamma}} - \left(\frac{P_{vc}}{P_b}\right)^{\frac{\gamma+1}{\gamma}} \right\}} \quad \text{ifadesi ile verilmektedir.} \quad (13)$$

$\frac{P_{vc}}{P_b} < 0.528$ ise akis boğulmuş akistir. Bu durumda akis sadece P_b 'nin fonksiyonu olur. Çıkış

basıncının daha fazla düşürülmesi kütleli debinin artmasına etki etmez.

$$C_m = 0.6861 \frac{P_b}{\sqrt{T_b R}} \quad \text{olur} \quad (14)$$

1. ve 2. hazne için kütleli debi ifadeleri yazıldığında; $C_{d1}=C_{d2}$; $s_1=s_2$; $R=287$; $P_{vc1}=0.9 P_1$; $P_{vc2}=0.9P_{atm}$ olmak üzere;

1. hazne için kütleli debi ifadeleri;

$$\dot{M}_1 = C_d s_{max} C_{m1}$$

$$\frac{0.9P_1}{\sqrt{P_b}} > 0.528 \text{ ise; } C_{m1} = \frac{P_b}{\sqrt{T_b R}} \sqrt{\frac{2\gamma}{(\gamma-1)} \left\{ \left(\frac{0.9P_1}{P_b}\right)^{\frac{2}{\gamma}} - \left(\frac{0.9P_1}{P_b}\right)^{\frac{\gamma+1}{\gamma}} \right\}} \quad (15)$$



$$\frac{0.9P_1}{\sqrt{P_b}} < 0.528 \text{ ise; } C_{m1} = 0.6861 \frac{P_b}{\sqrt{T_b R}} \quad \text{olur.} \quad (16)$$

2. hazne için kütleli debi ifadeleri;

$$\dot{M}_2 = C_d s_{\max} C_{m2}$$

$$\frac{0.9P_{\text{atm}}}{\sqrt{P_b}} > 0.528 \text{ ise; } C_{m2} = \frac{P_b}{\sqrt{T_b R}} \sqrt{\frac{2\gamma}{(\gamma-1)} \left[\left(\frac{0.9P_{\text{atm}}}{P_b} \right)^{\frac{2}{\gamma}} - \left(\frac{0.9P_{\text{atm}}}{P_b} \right)^{\frac{\gamma+1}{\gamma}} \right]} \quad (17)$$

$$\frac{0.9P_{\text{atm}}}{\sqrt{P_b}} < 0.528 \text{ ise; } C_{m2} = 0.6861 \frac{P_b}{\sqrt{T_b R}} \quad \text{olur.} \quad (18)$$

2.5. Kumanda ve Kütleli Debiler:

Deney tesisatında valfler silindirin tek yönde hareketini sağlamak için es zamanlı olarak ve ters çalışırlar. Valflerin kumanda sinyali u olarak gösterilirse, Herhangi bir t anında;

- Kontrol sinyali $u > 0$ ise; 1. valf 1. kontrol hacmini besleme basıncına açmıştır; 2. valf 2. kontrol hacmini atmosfer basıncına açmıştır.
- Kontrol sinyali $u < 0$ ise; 1. valf 1. kontrol hacmini atmosfer basıncına açmıştır; 2. valf 1. kontrol hacmini besleme basıncına açmıştır.
- Kontrol sinyali $u = 0$ ise; 1. valf hem besleme hem atmosfer basıncına kapalıdır; 2. valf hem besleme hem atmosfer basıncına kapalıdır.

Eğer "ters akis" durumu yoksa;

- Kontrol sinyalinin $u > 0$ olduğu durumda silindir sağa doğru hareket etmektedir ve $\dot{M}_1 > 0$ ve $\dot{M}_2 < 0$ 'dir.
- Kontrol sinyalinin $u < 0$ olduğu durumda silindir sola doğru hareket etmektedir ve $\dot{M}_1 < 0$ ve $\dot{M}_2 > 0$ 'dir.

2.6. Sistem Durum Denklemleri:

Yukarıdaki tanım ve ilişkilerin kullanılması ile sistem durum denklemlerinin aşağıdaki ifadeleri elde edilir:

$$\frac{dX_1}{dt} = \dot{X}_1 = X_2 \quad (19)$$

$$\frac{dX_2}{dt} = \dot{X}_2 = -\frac{B}{M} X_2 + \frac{1}{M} (A_1 X_3 - A_2 X_4) - \frac{F}{M} \quad (20)$$

$$\frac{dX_3}{dt} = \frac{g}{X_{10} + X_1} \left[-X_2 X_3 + \frac{RT}{A_1} C_d u s C_{m1} \right] \quad (21)$$

$$\frac{dX_4}{dt} = \frac{g}{X_{20} - X_1} \left[-X_2 X_4 + \frac{RT}{A_2} C_d (-u) s C_{m2} \right] \quad (22)$$



2.7. Referans Yörüngelerinin Hesaplanması:

Konum referans yörüngesi için zamana göre 3. dereceden bir polinom benimsenmiştir:

$$x_{ref}(t) = at^3 + bt^2 + ct \quad (23)$$

Buna göre hız, ivme ve basınç yörüngeleri:

$$\dot{x}_{ref}(t) = 3at^2 + 2bt + c \quad (24)$$

$$\ddot{x}_{ref}(t) = 6at + 2b \quad (25)$$

$$P_{ref}(t) = \frac{M\ddot{x}_{ref}(t) + B\dot{x}_{ref}(t)}{A} \quad (26)$$

Bu referans yörüngelerinin istenen davranışa göre katsayıları bulunarak konum, hız, ivme ve basınç için yörünge takimi elde edilmektedir.

3. İKİLİ KONTROL ALGORİTMALARI

Pnömatik sisteme ikili kontrol algoritmalarının uygulanmasının sebebi ikili kontrolde aç-kapa tür basınç valflerinin kullanılması ve bu valflerin oransal basınç kontrol valflerine oranla daha ucuz olmasıdır. Bu çalışmada ucuz ve basit olan ikili kontrol valfleri ile de hassas konum kontrolü yapılabileceği gösterilmek istenmiştir. Sisteme uygulanan ikili kontrol algoritmaları;

- Basınç geri beslemeli ikili kontrol,
- Basınç geri beslemeli ölü bölgesi ikili kontrol,
- Basınç ve konum geri beslemeli ölü bölgesi ikili kontroldür.

3.1. Basınç Geri Beslemeli Ölü Bölgesi İkili Kontrol:

Sistemin dinamik davranışını tanımlayan durum değişkenlerinin referans yörüngeleri etrafındaki salınımlarını azaltmak için basınç referans yörüngesi etrafında ölü bölge tanımlanmıştır. Ölü bölgenin genişliği, referans yörünge hassasiyeti ve sistem cevabını doğrudan etkilemektedir [6].

Pnömatik sisteme uygulanan basınç geri beslemeli ikili ölü bölgesi kontrol kanunu;

Eğer $-0.02 \leq e_b \leq 0.02$ ise $u=0$;

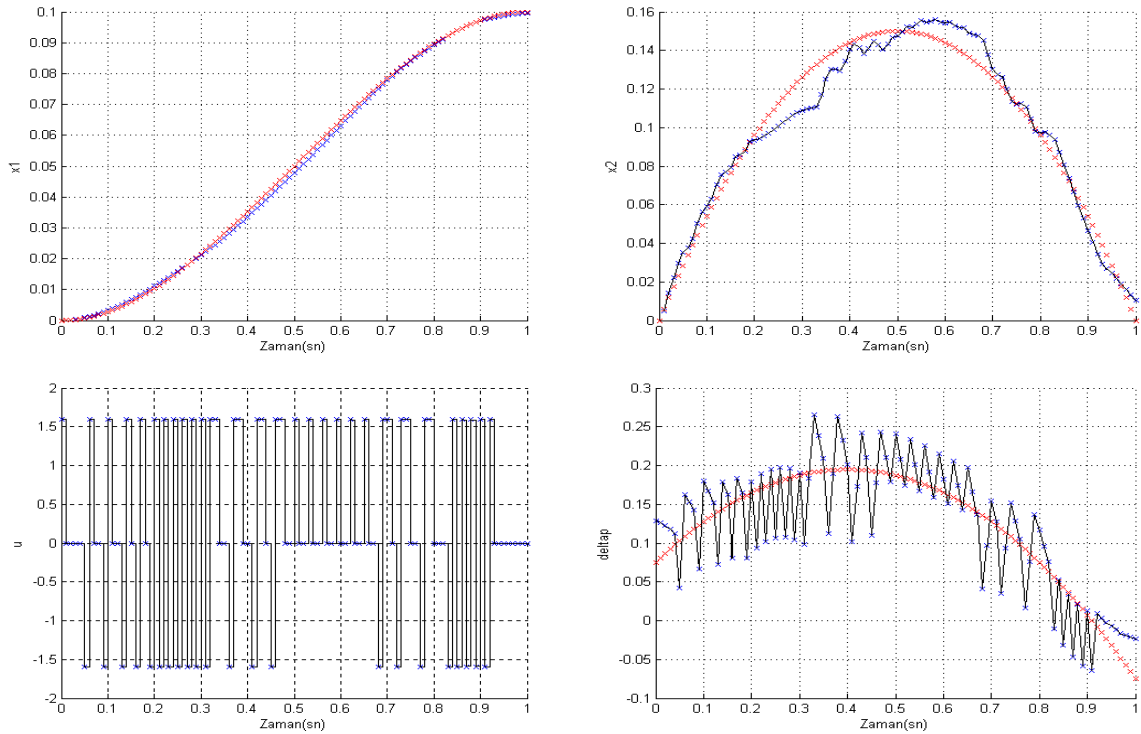
Eğer $e_b > 0.02$ ise $u=M \cdot \text{sign}(e_b)$;

Eğer $e_b < -0.02$ ise $u=M \cdot \text{sign}(e_b)$;

olarak tarif edilmektedir. Burada $e_b = x_{ref} - x$ şeklinde ifade edilmektedir. Basınç geri beslemeli ölü bölgesi ikili kontrol algoritması sonucunda kumanda değerleri basınç hatasının ölü bölge içinde olup olmamasına göre değerler almaktadır. Basınç hatası ölü bölge içinde kalacak kadar küçükse kumanda değeri 0 olmaktadır.

MATLAB® programlama dili kullanılarak yazılan benzetim programı yardımıyla yapılan deneyler sonucunda elde edilen grafikler Şekil 2'de verilmiştir. Bu grafiklerde mavi renk sistemin yer degistirmesini, kırmızı ise referans yörüngesini göstermektedir. Grafiklerde sistemin konum referans yörüngesini oldukça iyi takip ettiği, basınç referansı etrafındaki salınımların konum yörüngesine

yansımadiği görülmektedir. Bu sonuçlar basınç geri beslemeli ölü bölgesi ikili kontrol uygulanarak sistemin hassas olarak kontrol edilebildiğini göstermektedir.



Sekil 2. Basınç Geri Beslemeli Ölü Bölgesi İkili Kontrol Grafikleri

3.2. Basınç ve Konum Geri Beslemeli Ölü Bölgesi İkili Kontrol:

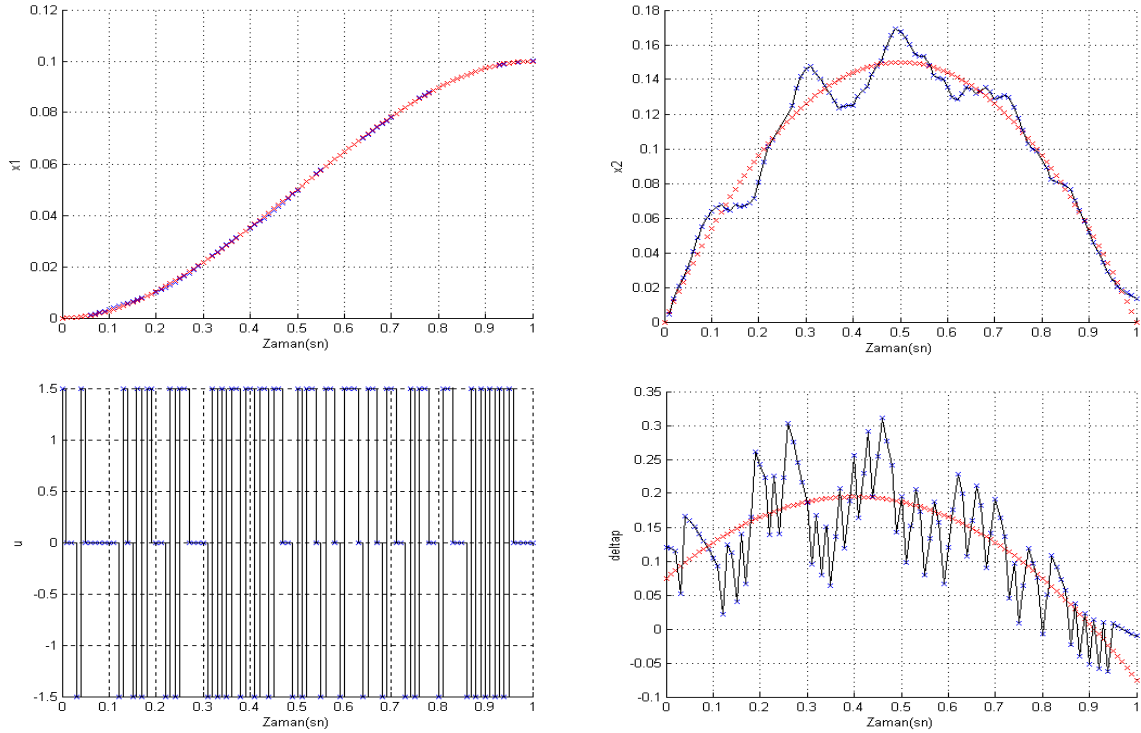
İkili kontrol için ölü bölge tanımlandıktan ve sonuçları görüldükten sonra daha hassas kontrol sonuçları elde edilmesi amacıyla sistem üzerinde basınç ve konum geri beslemesi uygulanmıştır. Burada bu iki değişkenin toplanması sonucu oluşan değer ölü bölge dışında ise işaretine bakılarak, ölü bölge içinde ise sıfır çıkış uygulanarak kumanda üretilmiştir. Konum hatası değerleri basınç değerlerine göre 10^{-2} mertebesinde daha küçük olduğundan konum hatası değerleri toplama işleminden önce 100 ile çarpılarak kullanılmıştır.

Pnömatik sisteme uygulanan basınç ve konum geri beslemeli ikili ölü bölgesi kontrol kanunu:

$$\begin{aligned} \text{Eger } -0.025 &\leq (e_b + (100 * e_x)) < 0.025 \text{ ise } u = 0; \\ \text{Eger } (e_b + (100 * e_x)) &> 0.025 \text{ ise } u = M * \text{sign}(e_b + (100 * e_x)); \\ \text{Eger } (e_b + (100 * e_x)) &< -0.025 \text{ ise } u = M * \text{sign}(e_b + (100 * e_x)); \end{aligned}$$

olarak tarif edilmiştir. Burada $e_b = P_{ref} - P$; $e_x = x_{ref} - x$ şeklinde ifade edilmiştir.

Aynı benzetim ortamında yapılan deneyler sonucunda elde edilen grafikler Sekil 3'te verilmiştir. Bu grafiklerde mavi renk sistemin yer değiştirmesini, kırmızı ise referans yörüngesini göstermektedir. Elde edilen grafiklerden sistemin konum referans yörüngesini önceki yaklaşıma göre daha da hassas olarak takip ettiği görülmüştür. Bu sonuçlar pnömatik sistemlerde hassas konum kontrolünde ikili kontrol valfleri kullanılarak oldukça iyi sonuçlar alınabileceğini göstermektedir.



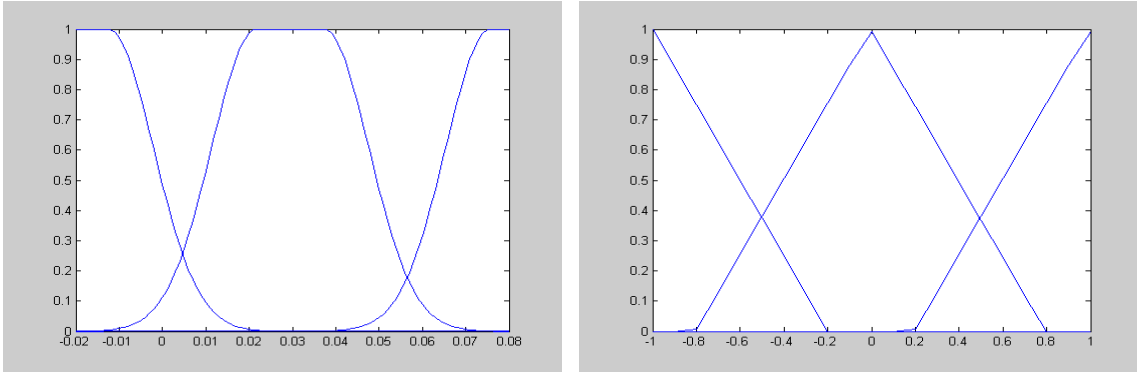
Sekil 3. Basınç ve Konum Geri Beslemeli Ölü Bölge İki Kontrol

4. BULANIK MANTIK KONTROL ALGORİTMASI

Sistem üzerinde bulanik mantik kontrol denenerek, pnömatik sistemlerde konum referansini hassas ve hızlı izleyen sonuçlar elde edilebileceği gösterilmek istenmiştir. Pnömatik sistem üzerinde bulanik mantik algoritması, “basınç geri beslemeli üçer üyelik fonksiyonlu” ve “basınç ve konum geri beslemeli beser üyelik fonksiyonlu” olmak üzere iki şekilde uygulanmıştır. Çalışmanın bu aşamasında MATLAB® programında bulunan “Fuzzy Logic Toolbox” ve SIMULINK® programı kullanılmıştır. Fuzzy Logic Toolbox kullanılarak çeşitli bulanik mantik algoritmaları sinanmış, sistem için en uygun üyelik fonksiyonları ve kural tabanı oluşturulmuştur. SIMULINK® programında ise sistemin blok diyagramı çizilmiş, “fuzzy logic” bloğu sayesinde tanımlanan bulanik mantik algoritmasının kullanılması sağlanmıştır. Sistemin blok diyagramının çizilmesinde oransal basınç kontrol valfleri ile ilgili değerler kullanılmış ve daha önceki çalışmalardan[1-3] yararlanılmıştır.

4.1. Üyelik Fonksiyonları:

Basınç hatası ve konum hatası için üyelik fonksiyonları gauss tipi; kumanda için üyelik fonksiyonları ise üçgen tip tanımlanmıştır. Burada her üç değişkenin üyelik fonksiyonu grafiğinde düşük değerlerden yüksek değerlere doğru alabilecekleri dilsel değerler “negatif büyük (NB)”, “negatif küçük (NK)”, “sifir (S)”, “pozitif küçük (PK)”, “pozitif büyük (PB)” olmaktadır. Basınç geri beslemeli bulanik mantik kontrolde basınç hatası ve kumanda için tanımlanan üyelik fonksiyonları Sekil 4’teki gibidir. Basınç ve konum geri beslemeli bulanik mantik kontrolde de üyelik fonksiyonları benzer sekildedir.



Sekil 4. Basınç Hatası ve Kumanda için Tanımlanan Bulanık Mantik Üyelik Fonksiyonları

4.2. Kural tablosu:

Basınç ve konum geri beslemeli bulanık mantik kontrol algoritmasında aşağıdaki tabloda verilen kural tabanı en başarılı sonuçları vermiştir.

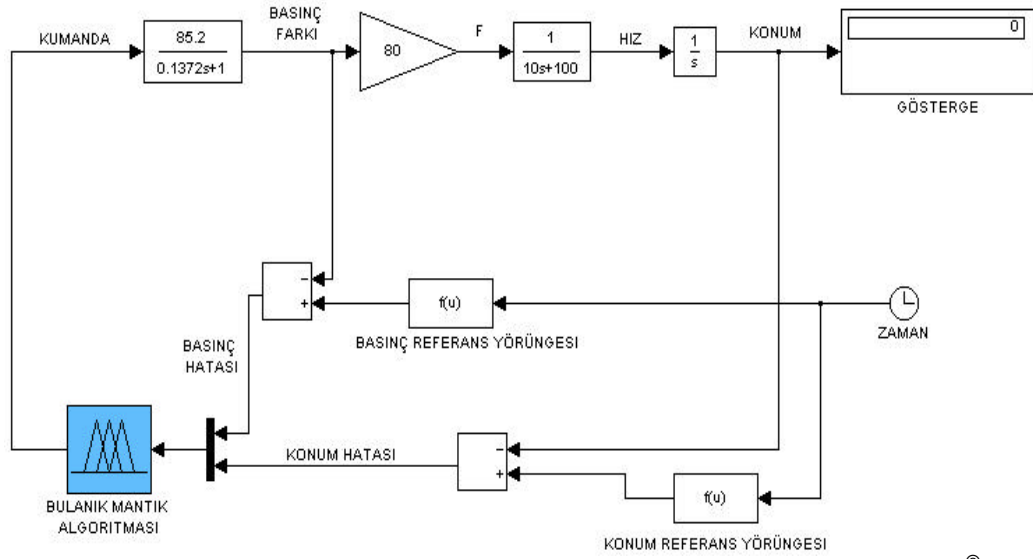
konum hatası \ basınç hatası	NB	NK	S	PK	PB
NB	NB	NK	S	S	S
NK	NK	S	S	S	S
S	S	S	PK	PK	PK
PK	PK	PK	PK	PB	PB
PB	PB	PB	PB	PB	PB

Sekil 5. Basınç ve Konum Geri Beslemeli Bulanık Mantik Kontrol için Kural Tablosu

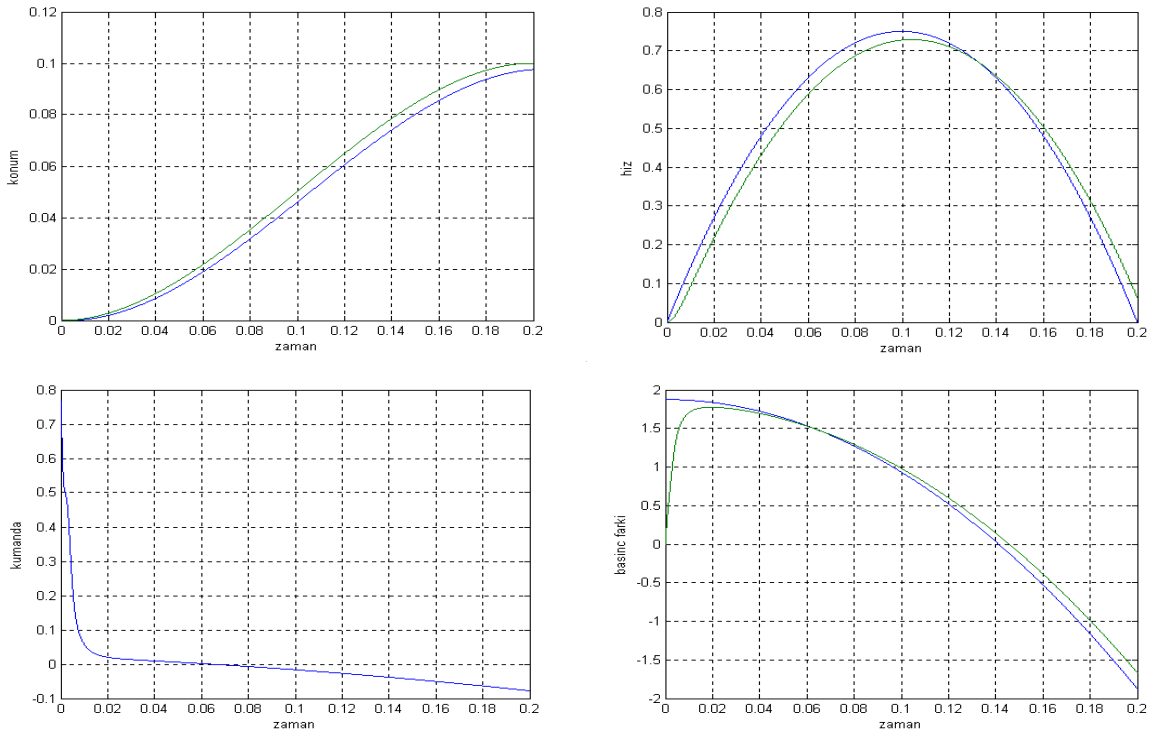
4.3. Basınç ve Konum Geri Beslemeli Bulanık Mantik Konum Kontrolü:

Sistem modeli üzerinde sinanan basınç ve konum geri beslemeli bulanık mantik kontrolünde bulanık mantik algoritması “iki giriş bir çıkışlı” olarak oluşturulmuş ve girişler ve çıkış için beser adet üyelik fonksiyonu tanımlanmıştır. Girişler basınç hatası ve konum hatası; çıkış ise kumanda olacaktır. Uygulanan kontrol algoritmasında basınç hatası ve konum hatası bulanık mantik algoritmasında ait oldukları üyelik fonksiyonlarına göre dilsel olarak tanımlanmış, bu dilsel değerlere karşılık gelen kumanda dilsel değeri, oluşturulan 25 kural sonucunda belirlenerek ve ağırlık merkezi yöntemi uygulanarak berraklaştırılma yapıldıktan sonra kumandanın sayısal değerine ulaşılmıştır. Sekil 6’da bu kontrol sisteminin SIMULINK[®] diyagramı verilmiştir.

Sekil 7’de bu kontrol yaklaşımları ile sistemden elde edilen konum-zaman, hız-zaman, basınç farkı-zaman ve kumanda-zaman grafikleri verilmiştir. Bu grafiklerde mavi renk sistemden elde edilen davranışı, yeşil renk ise 1 sn.’de 0.1 m. yer değişimi için elde edilen referans yörüngelerini göstermektedir. Bu sonuçlardan sistemin bu kontrol algoritması sonucunda konum ve hız referans yörüngelerini başarılı şekilde izlediği görülmektedir.



Sekil 6. Basınç ve Konum Geri Beslemeli Bulanik Mantik Kontrollü Sistemin SIMULINK® Diyagramı



Sekil 7. Basınç ve Konum Geri Beslemeli Bulanik Mantik Konum Kontrolü Grafikleri

4.4. Hizlandırılmış Sistem Davranışı:

Yapılan çalışmalar sonunda bulanik mantik algoritması kullanıldığında sistemin hizlandırılabilceği görülmüş ve 5 kat daha hızlı bir sistem için referans yörüngeleri tanımlanarak deneyler yapılmıştır. Deneyler sonucunda sistemin 0.2 saniyede 0.1 m. yer degistirmesi için de tanımlanan referans yörüngesini hassas izlediği görülmüştür.

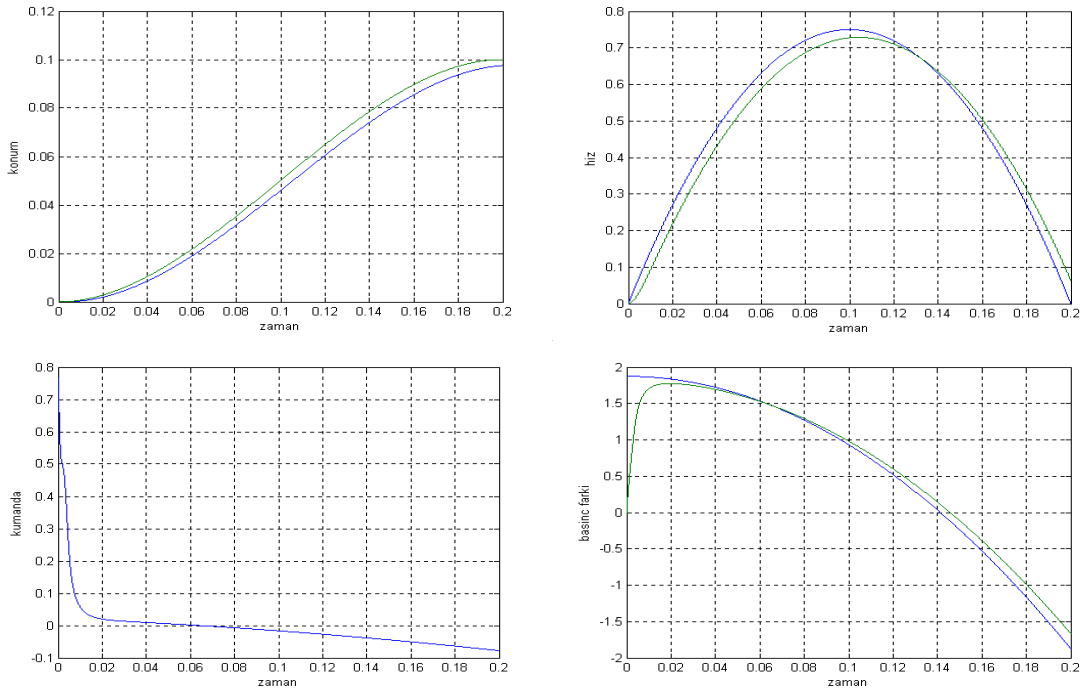
Sekil 8'de bu kontrol algoritması ile daha hızlı referans yörüngeleri için sistemden elde edilen konum-zaman, hız-zaman, basınç farkı-zaman ve kumanda-zaman grafikleri görülmektedir. Bu grafiklerde

mavi renk sistemden elde edilen davranisi, yesil renk ise 0.2 sn.'de 0.1 m. yerdegistirilmesi için elde edilen referans yörüngelerini göstermektedir. Bu grafiklerden de açıkça görüldüğü gibi sistem 5 kat hizlandiginda da konum ve hiz referanslarini oldukça iyi izlemekte, istenen konuma 0.2 saniyede hassas olarak gitmektedir. Böylelikle bulanik mantik algoritmasi ile hizli ve hassas konum kontrolü yapilabildigi görülmüştür.

SONUÇ

Bu çalışma ile elde edilen sonuçlar sunlardır:

- Noktadan noktaya konum kontrolu sirasinda bir referans yörüngesinin kullanilmasi degisken parametrelerden duyarsiz kilinabilen hassas konum kontrolunu saglamistir. Yörünge üzerinde pnömatik konum kontrolü endüstriyel uygulamalarda yaygin bir sekilde kullanilabilecek bir teknolojidir. Sistemin belirli bir referans yörüngesini hassas takip etmesi gıda sanayinden, takım tezgahlarına ve robot teknolojisine kadar çeşitli otomasyon alanlarında pnömatik sistemlerin kullanımını daha da etkinlestirecek niteliktedir.



Sekil 8. Hizli yörüngelerle Sistem Davranis Grafikleri

- Çalışma neticesinde elde edilen konum kontrolü basarimi isiginda basinc ve konum ölçmelerinin hassas kontrol için yeterli oldugu, hiz ölçümünden vazgeçilebilecegi görülmüştür.
- Basinc yörüngesi etrafında ikili kontrol veya bulanik kontrol uygulamalarının çok basarili oldugu ve ucuz donanimla gerçekleştirilebildigi görülmüştür.

KAYNAKLAR

- [1] DENİZ, U., Pnömatik Kuvvet Kontrolü, Bitirme Çalışması, I.T.Ü. Makine Fakültesi, İstanbul, 2001
- [2] KOÇ, I. M., Hassas ve Kati Pnömatik Konum Kontrolü, Yüksek Lisans Tezi, I.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1998



- [3] KOCATÜRK, S., YURT, H., Pnömatik Konum Kontrolü Sistemi Tasarım ve Simülasyonu, Bitirme Tasarım Projesi, I.T.Ü. Makine Fakültesi, İstanbul, 2002
- [4] ZORLU, A., Pnömatik Bir Sistemin Deneysel Modellenmesi ve Simülasyonu, Doktora Tezi, I.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2002
- [5] ÖZDAS, M.N., DINİBÜTÜN, A.T., KUZUCU, A., "Otomatik Kontrol Temelleri", Birsen Yayınevi, İstanbul, 1988
- [6] GÜVENÇ, L., ERTUGRUL, S., "Bulanik Mantık ve Endüstriyel Uygulamaları", I.T.Ü. Matbaası, İstanbul, 1998
- [7] BISHOP, R. H., "Modern Control Systems Analysis and Design Using Matlab and Simulink", Addison-Wesley, Menlo Park, Calif., 1997
- [8] DORF, R.C., BISHOP, R.H., "Modern Control Systems", Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, 2001
- [10] ÖZCAN, F., ISIL, S., KIRCI, A., "Pnömatik Akiskan Gücü", MERT Eğitim Yayınları, İstanbul, 1986

ÖZGEÇMİSLER

Ahmet KUZUCU

1948'de Erzurum'da doğdu. 1971'de I. T. Ü. Makine Fakültesi'nden mezun oldu. 1979 yılında İsviçre Lausanne Federal Politeknik Okulu'ndan "Bilim Doktoru" unvanını aldı. 1980'de Bogaziçi Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'ne Yardımcı Doçent olarak katıldı. Burada "Akiskan Gücü Laboratuvarı"ni kurdu. 1985'te I.T.Ü. Makine Fakültesi'ne Doçent olarak atandı, 1989'da Profesör oldu. Çok sayıda teknolojik uygulama projesi yürütmüş, Türkçe bir kitap yazmış, Türkçe, İngilizce ve Fransızca yayınlar yapmış, ileri teknolojilere yönelik yeni beş ders açmıştır. Otomatik Kontrol Vakfı ve Otomatik Kontrol Türk Milli Komitesi Kurucu Üyesidir. "Hassas ve Kati Pnömatik Konum Kontrolü", "Tasit Seyir Sistemleri", "Robotik", "Yapay Sinir Ağları", "Bulanik Kontrol Uygulamaları" alanları üzerine yoğunlaşmıştır. Hidrolik Pnömatik Kongreleri Danışma Kurulu üyesidir.

Berrak KARACA

1980 yılında Samsun'da doğdu. Orta ve lise eğitimini Samsun Anadolu Lisesi'nde tamamladı. 1988 yılında Dünya Havacılık Federasyonu'nun düzenlediği resim yarışmasında 5-8 yaş grubunda Dünya 1.si oldu. 1998 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü'nde lisans eğitimine başladı. 1999 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü'ne yatay geçiş yaptı. I.T.Ü. Makina Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü'nden "Lisans" derecesini Haziran 2003'te alan Karaca, I.T.Ü. Mimarlık Fakültesi Endüstri Ürünleri Tasarımı Bölümü'nde ikinci anadal öğrenimine (ÇAP) devam etmektedir. Berrak Karaca aynı zamanda I.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Sistem Dinamiği ve Kontrol Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimini sürdürmektedir.

Hakan Baris BENLİGIRAYOĞLU

1979 yılında İstanbul'da doğdu. Ortaokul eğitimini Vedide Baha Pars Ortaokulu'nda, lise eğitimini Pertevniyal Süper Lisesi'nde tamamladı. 1998 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü'nde lisans eğitimine başladı. 1999 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü'ne yatay geçiş yaptı. I.T.Ü. Makina Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü'nden "Lisans" derecesini Haziran 2003'te alan Benligirayoglu, I.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Sistem Dinamiği ve Kontrol Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimini sürdürmektedir.

Turhan Oguzhan GÖKSEL

1980 yılında İstanbul'da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini F.M.V. Özel Ayazaga Isık Lisesi'nde tamamladı. 1998 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü'nde lisans eğitimine başladı. 1999 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü'ne yatay geçiş yaptı. Göksel, I.T.Ü. Makina Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü'nden "Lisans" derecesini Haziran 2003'te almıştır.