

PNÖMATİK SİLİNDİRLERDE BASINÇ GERİ BESLEMESİ İLE HASSAS KONUM KONTROLÜ

Ahmet KUZUCU *

Berrak KARACA **

Hakan Barış BENLİGİRAYOĞLU **

Turhan Oğuzhan GÖKSEL **

Pnömatik sürücülerin konumlarının istenen bir referans yörüngesi etrafında hassas, güvenilir ve ucuz biçimde kontrol edilebilmesi, programlanabilir konum kontrolü gerektiren otomasyon uygulamaları için esnek çözümler sunmaktadır. Basınç ölçümünün hız ölçümünden daha basit gerçekleştirilmesi, yalnız konum ve basınç ölçümlerini kullanan bir kontrol sistemini çekici kılar. Gerek basınç odaları, gerekse yük ataleti basınç ve kuvvet dalgalanmalarını önemli ölçüde söndürdüğü için hızlı aç-kapa valfleri ile uygulanacak "akıllı" ikili kontrol yöntemleri daha ucuz bileşenlerle istenen hassasiyeti sağlayabilmektedir. Basınç odalarındaki termodinamik davranışın modellenmesindeki zorluğa karşı "Bulanık Mantık" yaklaşımı da uygulanmıştır. Kullanılan deneysel düzenek için daha önceki çalışmalarda geçerliliği sınanmış bir sistem modeli ile benzetim ortamında elde edilen sonuçlar sunulmuştur. Bu çalışmadaki kontrol yaklaşımları ile sanayi tipi silindirlere $\pm 0,1$ mm konum hassasiyetinin sağlanabileceği görülmüştür.

Anahtar sözcükler: Pnömatik konum kontrolü, ikili kontrol, bulanık kontrol

Accurate, reliable and low-cost position control of pneumatic actuators around a desired trajectory offers flexible solutions to automation applications where programmable position control is required. Pressure measurements are simpler and easier to implement than velocity measurements, consequently a position control system using the pressure and position feedbacks is attractive. "Intelligent" bang-bang control implemented with fast valves having high commutation frequency satisfies the accuracy requirements with low cost components because sharp pressure and force variations are damped considerably by pressure chamber dynamics and load inertia. Fuzzy Control is adopted to cope with the modeling complexity of the pressure chamber thermodynamics. A nonlinear realistic system model, validated for an experimental set up in previous work, is used and simulation results are presented. An accuracy of $\pm 0,1$ mm may be reached with industrial cylinders using the proposed control approaches.

Keywords: Pneumatic position control, bang-bang control, fuzzy control

* Prof. Dr., İstanbul Teknik Üniversitesi Makina Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü

** İstanbul Teknik Üniversitesi Makina Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü

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 bozululara karşı yeterince katı (robust) olamamaktadır. Bu nedenlerle, otomasyon sisteminin çalışma alanı içinde farklı referans konumları arasında hızlı, kesin ve katı konumlandırma istenildiğinde genellikle strok sınırlarında çalışan birden fazla sürücü eleman veya kilit mekanizmaları kullanılmakta, sistem yalnızca bu donanımla 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 sınanması 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 sağlamak ve "sürekli kontrol" için kullanılmaktadır.

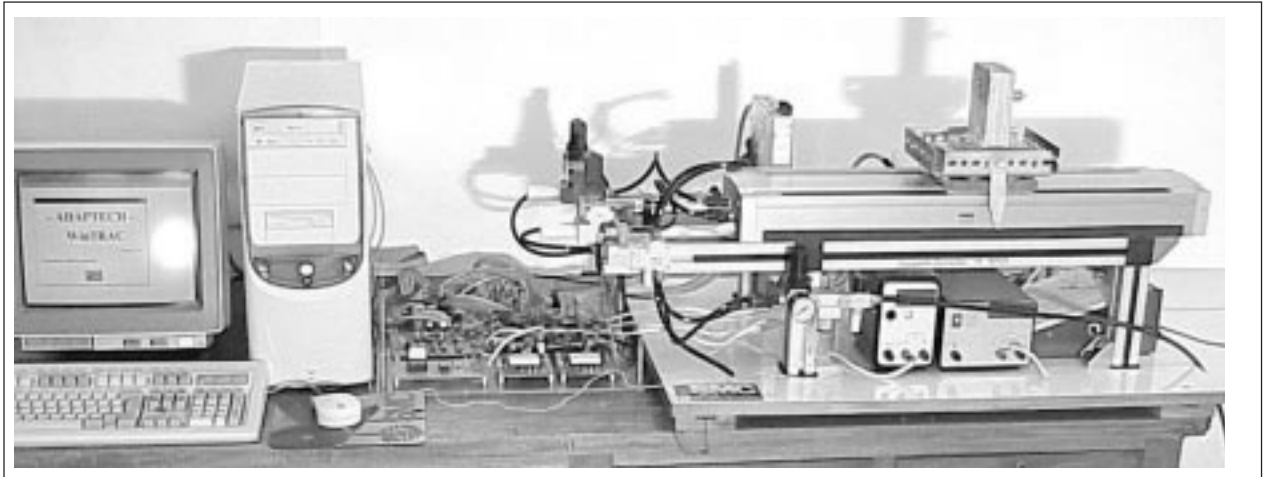
Konum ölçümünde 600 mm. etkin uzunluğa sahip bir manyetik cetvel kullanılmaktadır. Bu cetvel çıkışında sinüs dalgası vermekte ve bu sinyal, kendine ait filtresi ile kare dalgaya dönüştürülerek sayısal ölçme elde edilmektedir. Basınç değişimleri, gerilim çıkışlı 2 adet basınç

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, sınanmak istenen kontrol algoritmaları programlanmıştır. Kullanılan matematik model, yapısı ve katsayıları daha önceki çalışmalarda deneysel biçimde sınanmış, gerçeğe çok yakın davranış veren bir modeldir. Bu çalışmada benzetim sonuçları sunulmakta ve irdelenmektedir. Gerçek zamanda kontrol ve deneysel çalışmalar sürmektedir.

Burada;

- P_b: Besleme basıncı;
u₁ : (+) yönde ilerlemeyi sağlayan kontrol sinyali;
u₂ : (-) yönde ilerlemeyi sağlayan kontrol sinyali;
P₁ , P₂ : 1. ve 2. kontrol hacimlerindeki 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 eşdeğer kütle;

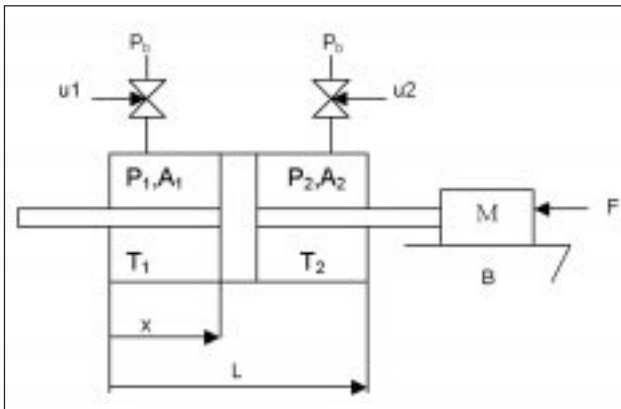


Şekil 1. Deneysel Sistem

SİSTEM BENZETİMİ

Pnömatik Sistemin Genel Yapısı:

Matematik modelin esas aldığı sistem yapısı aşağıdaki gibi tanımlanmıştır:



F: Sisteme verilen basınç sonucu araba üzerinde oluşan net kuvvet olarak ifade edilmektedir.

Silindir Mekanik Davranış Modeli:

Sistemin mekanik bölümünün dinamik davranış denklemi;

$$M\ddot{x} + B\dot{x} + F_s = (P_1A_1 - P_2A_2) \quad (1)$$

şeklinde.

Basınç Modeli:

Basınç denklemlerinin elde edilmesinde kontrol hacimlerindeki kütleli debi ele alınır;

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

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

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

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

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

Kontrol hacmine giren havanın birim kütesinin toplam enerjisi ya da durgunluk entalpisi

$$\dot{h} = u + \frac{P}{\rho} + \frac{v^2}{2} + gz = h + \frac{v^2}{2} + gz \text{ şeklinde yazılıp, entalpi}$$

için de $h = c_p T$ yazılarak, ayrıca yükseklik değişimi z ve akışkan kinetik enerjisi ihmal edilerek;

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

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

T_1 : Silindirin 1. bölmesindeki 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;

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

$$V_2 = V_{20} - A_2 X = A_2 \left(-X + \frac{V_{20}}{A_2} \right) = A_2 (-X + X_{20})$$

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;

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

$$\frac{dP_2}{dt} = -\frac{\gamma P_2}{V_{20} - A_2 X} A_2 \dot{X} + \frac{\gamma RT}{V_{20} - A_2 X} \dot{M}_2$$

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;

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

$$\frac{dX_2}{dt} = \dot{X}_2 = -\frac{B}{M} X_2 + \frac{1}{M} (A_1 X_3 - A_2 X_4) - \frac{F}{M} \quad (9)$$

$$\frac{dX_3}{dt} = \frac{\gamma}{X_{10} + X_1} \left[-X_2 X_3 + \frac{RT}{A_1} \dot{M}_1 \right] \quad (10)$$

$$\frac{dX_4}{dt} = \frac{\gamma}{X_{20} - X_1} \left[-X_2 X_4 + \frac{RT}{A_2} \dot{M}_2 \right] \quad (11)$$

biçiminde elde edilir.

Valf Modeli:

Valf modelinin oluşturulmasında kullanılan ifadeler;
 P_{vc} : Vena Contracta'daki statik basınç; P_{atm} : Atmosfer basıncı; P_b : Besleme basıncı; s : Valf etkin kesit alanı;
 C_d : Boşaltma katsayısı; C_m : Sıkıştırılabilir kütle akış hızı fonksiyonu; γ : Özgül ısılar oranı şeklinde tanımlanmıştır.

Valften geçen kütleli debi, bu tanımlarla

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

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

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

$\frac{P_{vc}}{P_b} > 0.528$ ise akış boğulmamış akıştır. Bu durumda akış P_{vc} ve P_b büyüklüklerinden her ikisinin de büyüklüğüne bağlıdır. C_m ise;

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

ifadesi ile verilmektedir.

$\frac{P_{vc}}{P_b} < 0.528$ ise akış boğulmuş akıştır. Bu durumda akış sadece P_b 'nin fonksiyonu olur. Çıkış basıncının daha fazla düşürülmesi kütleli debinin artmasına etki etmez.

$$C_m = 0.6861 \frac{P_b}{\sqrt{T_b R}} \text{ olur.}$$

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;

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

$$\frac{0.9P_1}{\sqrt{P_b}} > 0.528 \text{ ise;}$$

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

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

2. hazne için kütleli debi ifadeleri;

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

$$\frac{0.9P_{atm}}{\sqrt{P_b}} > 0.528 \text{ ise;}$$

$$C_{m2} = \frac{P_b}{\sqrt{T_b R}} \sqrt{\frac{2\gamma}{(\gamma-1)} \left\{ \left(\frac{0.9P_{atm}}{P_b}\right)^{\frac{2}{\gamma}} - \left(\frac{0.9P_{atm}}{P_b}\right)^{\frac{\gamma+1}{\gamma}} \right\}} \quad (17)$$

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

Kumanda ve Kütleli Debiler:

Deney tesisatında valfler silindirin tek yönde hareketini sağlamak için eş 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 akış" 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.

Sistem Durum Denklemleri:

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

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

$$\frac{dX_2}{dt} = \dot{X}_2 = -\frac{B}{M}X_2 + \frac{1}{M}(A_1X_3 - A_2X_4) - \frac{F}{M} \quad (20)$$

$$\frac{dX_3}{dt} = \frac{\gamma}{X_{10} + X_1} \left[-X_2X_3 + \frac{RT}{A_1}C_d u s C_{m1} \right] \quad (21)$$

$$\frac{dX_4}{dt} = \frac{\gamma}{X_{20} - X_1} \left[-X_2X_4 + \frac{RT}{A_2}C_d (-u) s C_{m2} \right] \quad (22)$$

Referans Yörüngelerinin Hesaplanması:

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

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

Buna göre hız, ivme ve basınç yörüngeleri:

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

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

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

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

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

Basınç Geri Beslemeli Ölü Bölgeli 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 bölgeli kontrol kanunu;

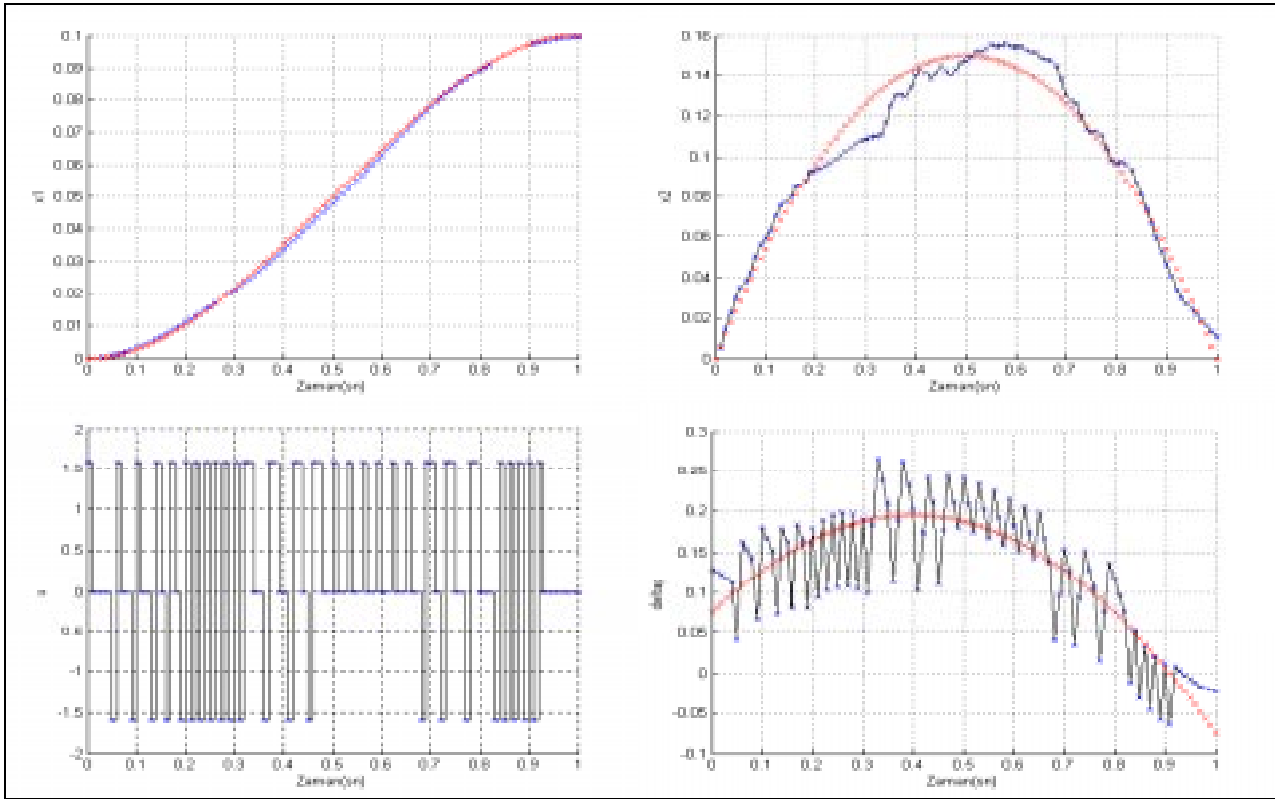
$$\text{Eğer } -0.02 \leq e_b \leq 0.02 \text{ ise } u=0;$$

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

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

olarak tarif edilmiştir. Burada $e_b = \Delta P_{ref} - \Delta P$ şeklinde ifade edilmiştir. Basınç geri beslemeli ölü bölgeli 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 değiştirmesini, kırmızı ise referans yörüngesini göstermektedir. Grafiklerde sistemin konum referans yörüngesini oldukça iyi takip ettiği, basınç referansı etrafındaki salınımların konum yörüngesine yansımadağı görülmektedir. Bu sonuçlar basınç geri beslemeli ölü bölgeli ikili kontrol uygulanarak sistemin hassas olarak kontrol edilebildiğini göstermektedir.



Şekil 2. Basınç Geri Beslemeli Ölü Bölge İkili Kontrol Grafikleri

Basınç ve Konum Geri Beslemeli Ölü Bölge 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 hatası 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 bölge kontrol kanunu:

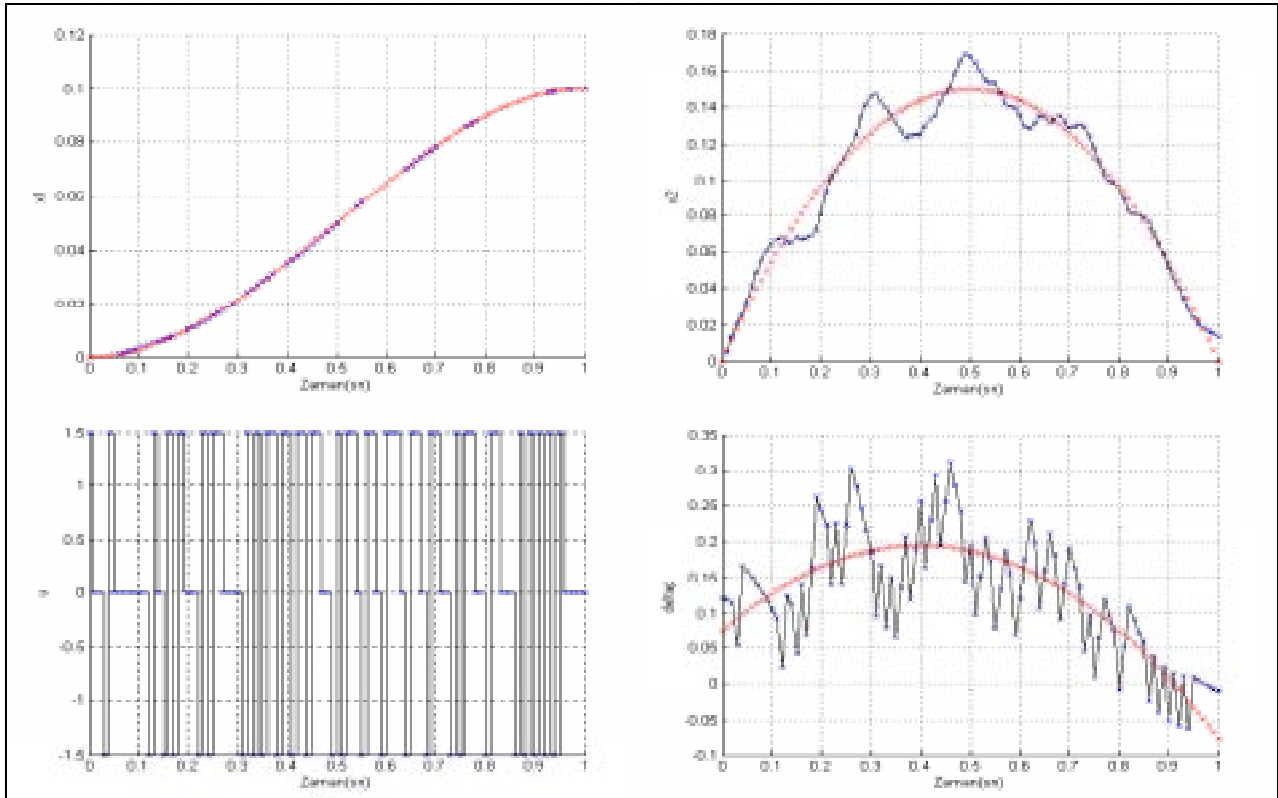
$$\text{Eğer } -0.025 \leq (e_b + (100 * e_x)) \leq 0.025 \text{ ise } u = 0;$$

$$\text{Eğer } (e_b + (100 * e_x)) > 0.025 \text{ ise } u = M * \text{sign}(e_b + (100 * e_x));$$

$$\text{Eğer } (e_b + (100 * e_x)) < -0.025 \text{ ise } u = M * \text{sign}(e_b + (100 * e_x));$$

olarak tarif edilmiştir. Burada $e_b = \Delta P_{ref} - \Delta P$; $e_x = X_{ref} - X$ şeklinde ifade edilmiştir.

Aynı benzetim ortamında yapılan deneyler sonucunda elde edilen grafikler Şekil 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.



Şekil 3. Basınç ve Konum Geri Beslemeli Ölü Bölge İkilili Kontrol

BULANIK MANTIK KONTROL ALGORİTMASI

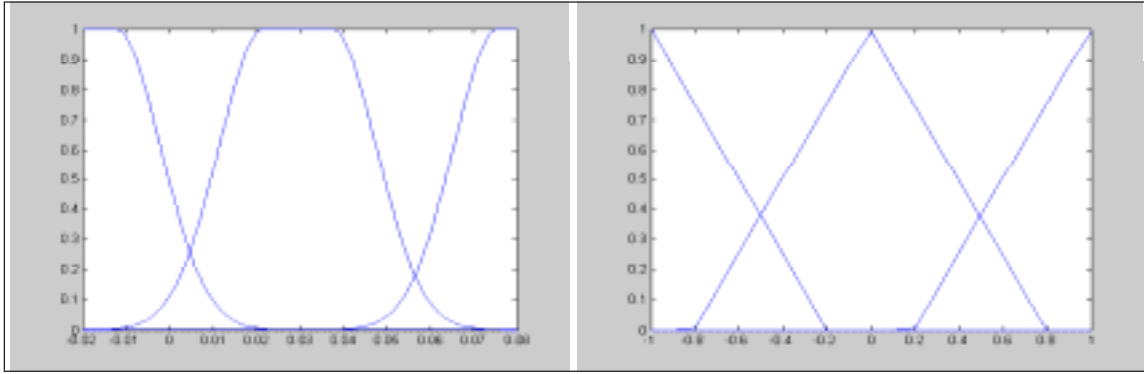
Sistem üzerinde bulanık mantık kontrol denenerek, pnömatik sistemlerde konum referansını hassas ve hızlı izleyen sonuçlar elde edilebileceği gösterilmek istenmiştir. Pnömatik sistem üzerinde bulanık mantık algoritması, "basınç geri beslemeli üçer üyelik fonksiyonlu" ve "basınç ve konum geri beslemeli beşer 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 bulanık mantık algoritmaları sınanmış, sistem için en uygun üyelik fonksiyonları ve kural tabanı oluşturulmuştur. SIMULINK® programında ise sistemin blok diyagramı çizilmiş, "fuzzy logic" blok'u sayesinde tanımlanan bulanık mantık

algoritmasının kullanılması sağlanmıştır. Sistemin blok diyagramının çizilmesinde oransal basınç kontrol valfleri ile ilgili değerler kullanılmış ve daha önceki çalışmalardan[1-3] yararlanılmıştır.

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)", "sıfır (S)", "pozitif küçük (PK)", "pozitif büyük (PB)" olmaktadır. Basınç geri beslemeli bulanık mantık kontrolde basınç hatası ve kumanda için tanımlanan üyelik fonksiyonları Şekil 4'teki gibidir. Basınç ve konum geri beslemeli bulanık mantık kontrolde de üyelik fonksiyonları benzer şekildedir.



Şekil 4. Basınç Hatası ve Kumanda için Tanımlanan Bulanık Mantık Üyelik Fonksiyonları

Kural Tablosu:

Basınç ve konum geri beslemeli bulanık mantık 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

Şekil 5. Basınç ve Konum Geri Beslemeli Bulanık Mantık Kontrol için Kural Tablosu

Basınç ve Konum Geri Beslemeli Bulanık Mantık Konum Kontrolü:

Sistem modeli üzerinde sınanan basınç ve konum geri beslemeli bulanık mantık kontrolünde bulanık mantık algoritması "iki giriş bir çıkışlı" olarak oluşturulmuş ve girişler ve çıkış için beşer adet üyelik fonksiyonu tanımlanmıştır. Girişler basınç hatası ve konum hatası; çıkış ise kumanda olacaktır. Uygulanan kontrol algoritmasında basınç hatası ve konum hatası bulanık mantık 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. Şekil 6'da bu kontrol sisteminin SIMULINK® diyagramı verilmiştir.

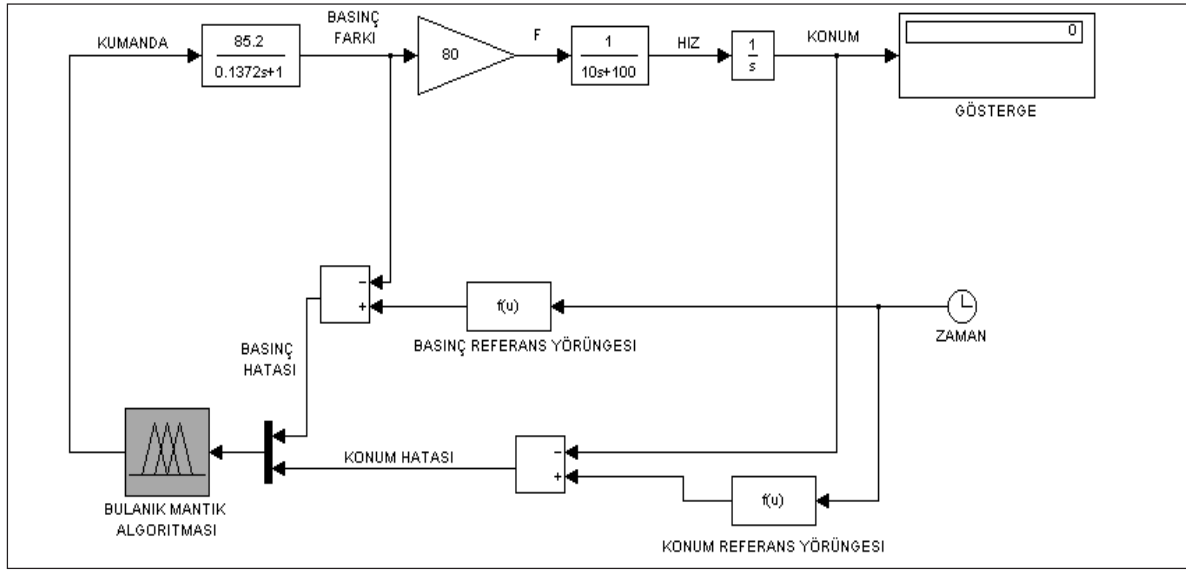
Şekil 7'de bu kontrol yaklaşımı ile sistemden elde edilen konum-zaman, hız-zaman, basınç farkı-zaman ve kumanda-zaman grafikleri verilmiştir. Bu grafiklerde mavi renk sistemden elde edilen davranışı, yeşil renk ise

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.

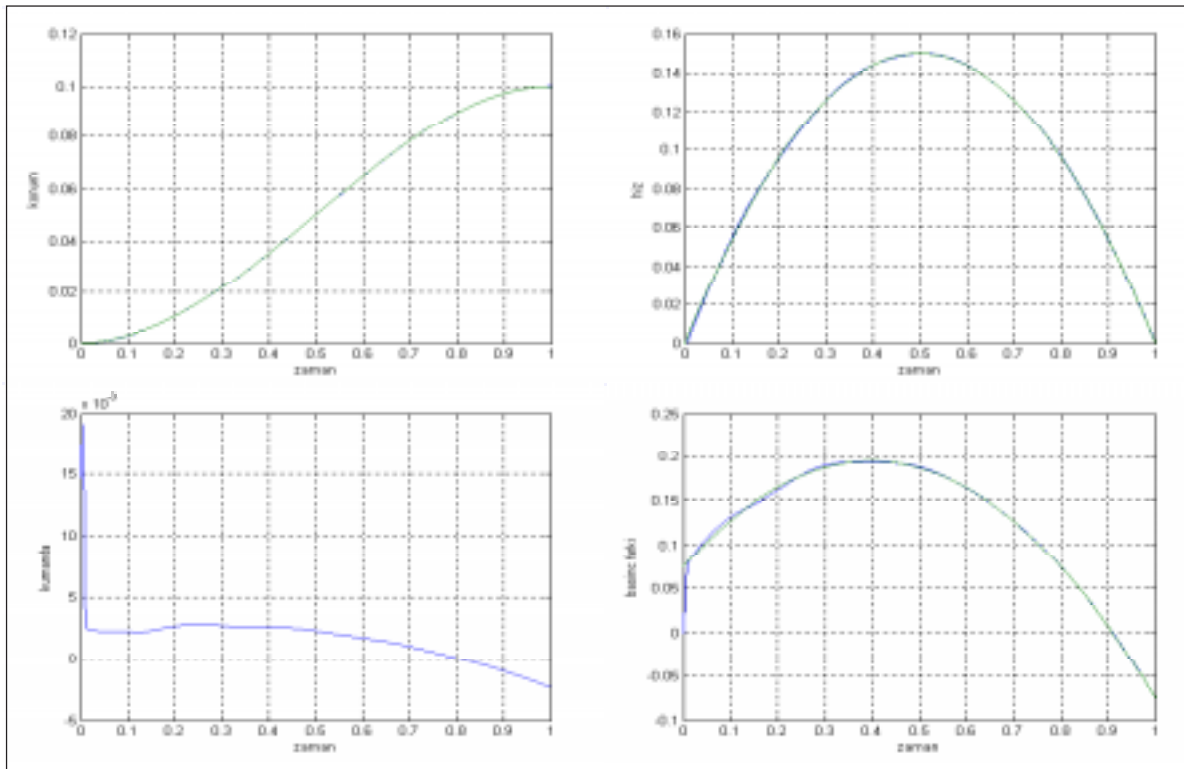
Hızlandırılmış Sistem Davranışı:

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

Şekil 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



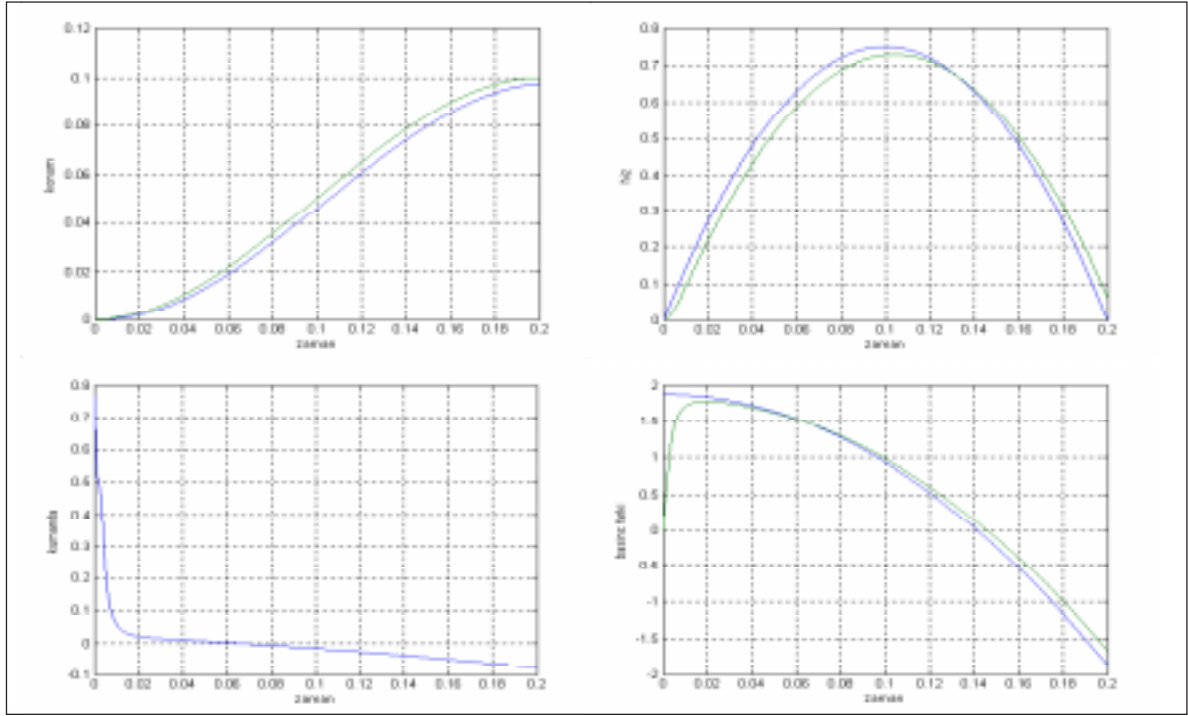
Şekil 6. Basınç ve Konum Geri Beslemeli Bulanık Mantık Kontrollü Sistemin SIMULINK® Diyagramı



Şekil 7. Basınç ve Konum Geri Beslemeli Bulanık Mantık Konum Kontrolü Grafikleri

görülmektedir. Bu grafiklerde mavi renk sistemden elde edilen davranışı, yeşil renk ise 0.2 sn.'de 0.1 m. yerdeğiştirilmesi için elde edilen referans yörüngelerini göstermektedir. Bu grafiklerden de açıkça görüldüğü gibi

sistem 5 kat hızlandırıldığında da konum ve hız referanslarını oldukça iyi izlemekte, istenen konuma 0.2 saniyede hassas olarak gitmektedir. Böylelikle bulanık mantık algoritması ile hızlı ve hassas konum kontrolü yapılabildiği görülmüştür.



Şekil 8. Hızlı Yörüngelerle Sistem Davranış Grafikleri

SONUÇ

Bu çalışma ile elde edilen sonuçlar şunlardır:

- Noktadan noktaya konum kontrolü sırasında bir referans yörüngesinin kullanılması değişken parametrelerden duyarsız kılınabilen hassas konum kontrolünü sağlamıştır. Yörünge üzerinde pnömatik konum kontrolü endüstriyel uygulamalarda yaygın bir şekilde kullanılabilir 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 etkinleştirecek niteliktedir.
- Çalışma neticesinde elde edilen konum kontrolü başarımı ışığında basınç ve konum ölçmelerinin hassas kontrol için yeterli olduğu, hız ölçümünden vazgeçilebileceği görülmüştür.
- Basınç yörüngesi etrafında ikili kontrol veya bulanık kontrol uygulamalarının çok başarılı olduğu ve ucuz donanım ile gerçekleştirilebileceği görülmüştür.

KAYNAKÇA

1. Deniz, U., Pnömatik Kuvvet Kontrolü, Bitirme Çalışması, İ.T.Ü. Makina Fakültesi, İstanbul, 2001
2. Koç, İ. M., Hassas ve Katı Pnömatik Konum Kontrolü, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1998
3. Kocatürk, S., Yurt, H., Pnömatik Konum Kontrolü Sistemi Tasarım ve Simülasyonu, Bitirme Tasarım Projesi, İ.T.Ü. Makina Fakültesi, İstanbul, 2002
4. Zorlu, A., Pnömatik Bir Sistemin Deneysel Modellenmesi ve Simülasyonu, Doktora Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2002
5. Özdaş, M.N., Dinibütün, A.T., Kuzucu, A., "Otomatik Kontrol Temelleri", Birsan Yayınevi, İstanbul, 1988
6. Güvenç, L., Ertuğrul, Ş., "Bulanık Mantık ve Endüstriyel Uygulamaları", İ.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
9. Özcan, F., Işıl, Ş., Kırcı, A., "Pnömatik Akışkan Gücü", MERT Eğitim Yayınları, İstanbul, 1986