

**PNÖMATİK SİSTEMLERDE KONUM GERİ
BESLEMESİ YAPILARAK BASINÇ AYARLAMASI
İLE HASSAS KONUM KONTROLÜ**

**2014
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MEKATRONİK MÜHENDİSLİĞİ**

Harun GEZİCİ

**PNÖMATİK SİSTEMLERDE KONUM GERİ BESLEMESİ YAPILARAK
BASINÇ AYARLAMASI İLE HASSAS KONUM KONTROLÜ**

Harun GEZİCİ

**Karabük Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK
Eylül 2014**

Harun GEZİCİ tarafından hazırlanan “PNÖMATİK SİSTEMLERDE KONUM GERİ BESLEMESİ YAPILARAK BASINÇ AYARLAMASI İLE HASSAS KONUM KONTROLÜ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Birhan IŞIK

Tez Danışmanı, Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı



Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir. 12/09/2014

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Doç. Dr. Raif BAYIR (KBÜ)



Üye : Yrd. Doç. Dr. Naci KURGAN (KBÜ)



Üye : Doç. Dr. Birhan IŞIK (KBÜ)



...../...../ 2014

KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Mustafa BOZ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü



“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Harun GEZİCİ

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

PNÖMATİK SİSTEMLERDE KONUM GERİ BESLEMESİ YAPILARAK BASINÇ AYARLAMASI İLE HASSAS KONUM KONTROLÜ

Harun GEZİCİ

Karabük Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Doç. Dr. Birhan IŞIK

Eylül 2014, 103 sayfa

Günümüz sanayinde hız ve maliyet avantajlarından dolayı geniş uygulama alanı bulunan pnömatik sistemlerde kullanılan havanın sıkışabilir olması pnömatik eyleyicilerin ilk ve son konumlarında kullanım mecburiyetini doğurmaktadır. Robot teknolojisindeki gelişmeler ışığında pnömatik eyleyicilerin diğer konumlarında durdurulmaları zorunlu haline gelmiştir. Bu sayede robotların maliyetleri ve hareket kabiliyetleri gelişme göstererek diğer teknoloji alanlarına da uygulanabilme imkânı doğacaktır. Özellikle biyomedikal alanındaki uygulamalarda son derece avantajlı olan pnömatik sistemler hastaların tedavisinde ve günlük ihtiyaçlarında her geçen gün kendisine daha fazla yer bulmaktadır. Yapay kas teknolojisindeki gelişmeler bu yönde devam etmektedir. Bu tez için oluşturulan deney setinde kontrol yöntemi olarak P (Proportional), PI (Proportional – Integral), PD (Proportional – Derivative) and PID (Proportional – Integral – Derivative) kontrol yöntemleri kullanılmıştır. Bu çalışmanın yapılmasındaki amaç uygun PID kat sayılarının ayarlanması ile pnömatik

silindirin hassas konum kontrolünü yapabilmektir. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda pnömatik eyleyicinin kurs boyunun herhangi bir noktasında durdurulabildiği görülmüştür. Uygulanan kontrol yöntemlerinden en iyi sonucu sırasıyla PD, PID, P ve PI kontrol yöntemleri vermiştir. Asimetrik çift etkili silindirin ileri ve geri hareketlerindeki davranışlarının aynı olmadığı görülmüştür. Basınç artışının sistemin kontrolü üzerinde olumsuz etkiler yaptığı tespit edilmiştir. Hareket mesafeleri değiştiğinde sistemim aşma ve oturma zamanı davranışları da değiştiği gözlenmiştir. Bu noktalardaki eksikliklerin PID katsayılarının tekrar ayarlanmasıyla ortadan kalktığı sonucuna varılmıştır.

Anahtar Sözcükler : PID, Pnömatik konum kontrolü, hızlı anahtarlama yön kontrol valfi.

Bilim Kodu :

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

SENSITIVE POSITION CONTROL BY PRESSURE ADJUSTMENT IN PNEUMATIC SYSTEMS WITH POSITION FEEDBACK

Harun GEZİCİ

Karabük University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechatronics Engineer

Thesis Advisor:

Assoc. Prof. Dr. Birhan IŞIK

September 2014, 103 Pages

Nowadays, pneumatic actuators which are operated by air pressure are widely used in industry because of their speed and cost advantage but also air pressure cause them work within some physical boundaries. Along with improvement in robotic technologies, pneumatic actuators must be operated beyond these boundaries. This way the cost of robots will reduce and also their movement capability will be improved for other application area. Especially, biomedical applications, which are used for patient's daily routines or physical treatment, need advanced pneumatic systems. Artificial muscle technology is being also developed within these improvements. In this thesis, a pneumatic control system has been operated with P (Proportional), PI (Proportional – Integral), PD (Proportional – Derivative) and PID (Proportional – Integral – Derivative) control techniques. Aim of this work is determining how PID parameters' changes effect on sensitive control of pneumatic cylinder. As a result of these experiments, it seems that pneumatic actuator can be

stopped in any position along piston path. Best control techniques are resulted in order to PD, PID, P and PI. Forward and backward movements of asymmetric double-acting cylinder are different from each other. It has been observed that increase of air pressure has negative effect on controlling the system. Also different movement distance changes passing over and settling time behavior. In this point, tuning of the system has been adjusted by manipulating PID parameters.

Key Words : PID, Pneumatic position control, High-speed switching direction control valve.

Science Code :

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimin boyunca benden her türlü desteğini esirgemeyen, ilgi ve alakasıyla bu tezin sonuçlanmasına büyük katkı sağlayan ve bilgi ve tecrübelerini her fırsatta paylaşarak yol gösteren değerli danışmanım Doç. Dr. Birhan IŞIK'a teşekkürlerimi sunarım.

Bu tezin yapımı sırasında benimle birlikte bilgi ve emeklerini esirgmeden ortaya koyan değerli meslektaşlarım Sayın Sıtkı KOCAOĞLU'na ve Sayın Ercan KURAK 'a ayrı ve özel olarak teşekkürlerimi iletmek isterim.

Bu tezi yapmak gayretinde olduğum süreçte zor zamanlarında yanında olmadığım ama zor zamanlarımda yanımda daima olan sevgili eşim Ayşen GEZİCİ 'ye canı gönülden teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xvi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xvii
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	6
LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	6
BÖLÜM 3	17
SİSTEMİN TASARIMI ve KONTROLÜ	17
3.1. ELEKTRONİK SİSTEM	17
3.1.1. Elektronik Kart Dizaynı	17
3.1.2. Mikrodenetleyici	19
3.1.3. Yazılım	20
3.1.4. Gösterge.....	20
3.1.5. Kontrol Paneli.....	21
3.1.6. Güç Kaynağı.....	22
3.1.7. Lineer Potansiyometre.....	23
3.1.8. Mekanik Sistem.....	24
3.1.9. Şartlandırıcı	24
3.1.10. Yön Kontrol Valfleri	25

	<u>Sayfa</u>
3.1.11. Susturucu	26
3.1.12. Pnömatik Silindir	27
3.1.13. Deney Seti Dolabı.....	28
3.1.14. Gerçekleştirilen Pnömatik Sistem ve Deney Seti	28
3.1.15. Pnömatik Sistemin Matematiksel Modeli.....	30
3.1.16. Deney Setindeki Basınç Kayıpları.....	31
3.2. PID KONTROLÖR.....	32
3.2.1. PID Kontrolörün Yapısı.....	33
3.2.2. PID Kontrolörlerin Özellikleri.....	34
3.2.3. Oransal Kontrol	35
3.2.4. Oransal – İntegral Kontrol	36
3.2.5. Oransal - Türevsel Kontrol	37
3.2.6. Oransal – İntegral – Türevsel Kontrolör.....	39
3.3. SİSTEMİN ÇALIŞMASI.....	40
BÖLÜM 4	51
DENEYSEL ÇALIŞMALAR	51
4.1. DENEY PARAMETRELERİ	51
4.1.1. Oransal Kazanç	51
4.1.2. İntegral Kazanç	51
4.1.3. Türevsel Kazanç	52
4.1.4. Çalışma Basıncı	52
4.1.5. Hareket.....	52
4.1.6. Aşma	52
4.1.7. Sürekli Rejim Hatası.....	52
4.1.8. Deneylerin Uygulanması	55
BÖLÜM 5	57
DENEYSEL SONUÇLAR	57
5.1. ORANSAL KONTROL İLERİ HAREKET	61
5.2. ORANSAL KONTROL GERİ HAREKET	65
5.3. ORANSAL – İNTEGRAL KONTROL İLERİ HAREKET	69

	<u>Sayfa</u>
5.4. ORANSAL – İNTEGRAL KONTROL GERİ HAREKET	73
5.5. ORANSAL – TÜREV KONTROL İLERİ HAREKET.....	77
5.6. ORANSAL – TÜREV KONTROL GERİ HAREKET.....	81
5.7. ORANSAL – İNTEGRAL – TÜREV KONTROL İLERİ HAREKET.....	85
5.8. ORANSAL – İNTEGRAL – TÜREV KONTROL GERİ HAREKET.....	89
BÖLÜM 6	93
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	93
KAYNAKLAR	99
ÖZGEÇMİŞ	103

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 3.1. Proteus ISIS programı ile devre modellenmesi	18
Şekil 3.2. Proteus ARES programı ile baskı devre	18
Şekil 3.3. PIC18F4550 Pin diyagramı	20
Şekil 3.4. LCD Ekran	21
Şekil 3.5. Kontrol kutusu	22
Şekil 3.6. 24V Güç kaynağı.	23
Şekil 3.7. 150mm lineer potansiyometre	23
Şekil 3.8. Şartlandırıcı.....	24
Şekil 3.9. 5/2 Çift selenoidli yön kontrol valfi.....	25
Şekil 3.10. 2/2 Selenoid tetiklemeli yay geri getirmeli yön kontrol valfi	26
Şekil 3.11. Susturucu resmi.....	27
Şekil 3.12. Ø32 mm x 100 mm çift etkili pnömatik silindir	28
Şekil 3.13. Deney seti dolabı.....	28
Şekil 3.14. Pnömatik sistemin sembolik gösterimi	29
Şekil 3.15. Deney seti.....	29
Şekil 3.16. Pnömatik sistem görünümü.....	30
Şekil 3.17. PID Kontrol sisteminin genel yapısı	33
Şekil 3.18. P Kontrol sistem cevabı	36
Şekil 3.19. P Blok diyagramı	36
Şekil 3.20. PI Kontrol sistem cevabı.....	37
Şekil 3.21. PI Blok diyagramı	37
Şekil 3.22. PD Kontrol sistem cevabı	38
Şekil 3.23. PD Blok diyagramı	38
Şekil 3.24. PID Kontrol sistem cevabı	39
Şekil 3.25. PID Blok diyagramı	40
Şekil 3.26. Deney seti blok diyagramı	40
Şekil 3.27. Kontrol paneli görünümü.....	41
Şekil 3.28. Açılış ekranı	41

Şekil 3.29. Sistem ayarlarının silinmesi	42
Şekil 3.30. Sistem ana ekranı	43
Şekil 3.31. Sistem referansının ayarlanması	44
Şekil 3.32. Kp Kazanç değerinin ayarlanması	45
Şekil 3.33. Kd Kazanç değerinin ayarlanması	45
Şekil 3.34. Ki Kazanç değerinin ayarlanması	46
Şekil 3.35. Sinyal akış diyagramı.....	50
Şekil 5.1. Konum (X) – Zaman (T) grafiği (P kontrol, 0-10 mm).....	61
Şekil 5.2. Konum (X) – Zaman (T) grafiği (P kontrol, 0-20 mm).....	62
Şekil 5.3. Konum (X) – Zaman (T) grafiği (P kontrol, 0-30 mm).....	62
Şekil 5.4. Konum (X) – Zaman (T) grafiği (P kontrol, 0-40 mm).....	62
Şekil 5.5. Konum (X) – Zaman (T) grafiği (P kontrol, 0-50 mm).....	63
Şekil 5.6. Konum (X) – Zaman (T) grafiği (P kontrol, 0-60 mm).....	63
Şekil 5.7. Konum (X) – Zaman (T) grafiği (P kontrol, 0-70 mm).....	63
Şekil 5.8. Konum (X) – Zaman (T) grafiği (P kontrol, 0-80 mm).....	64
Şekil 5.9. Konum (X) – Zaman (T) grafiği (P kontrol, 0-90 mm).....	64
Şekil 5.10. Konum (X) – Zaman (T) grafiği (P kontrol, 100-10 mm).....	65
Şekil 5.11. Konum (X) – Zaman (T) grafiği (P kontrol, 100-20 mm).....	65
Şekil 5.12. Konum (X) – Zaman (T) grafiği (P kontrol, 100-30 mm).....	66
Şekil 5.13. Konum (X) – Zaman (T) grafiği (P kontrol, 100-40 mm).....	66
Şekil 5.14. Konum (X) – Zaman (T) grafiği (P kontrol, 100-50 mm).....	66
Şekil 5.15. Konum (X) – Zaman (T) grafiği (P kontrol, 100-60 mm).....	67
Şekil 5.16. Konum (X) – Zaman (T) grafiği (P kontrol, 100-70 mm).....	67
Şekil 5.17. Konum (X) – Zaman (T) grafiği (P kontrol, 100-80 mm).....	67
Şekil 5.18. Konum (X) – Zaman (T) grafiği (P kontrol, 100-90 mm).....	68
Şekil 5.19. Konum (X) – Zaman (T) grafiği (PI kontrol, 0-10 mm).....	69
Şekil 5.20. Konum (X) – Zaman (T) grafiği (PI kontrol, 0-20 mm).....	69
Şekil 5.21. Konum (X) – Zaman (T) grafiği (PI kontrol, 0-30 mm).....	70
Şekil 5.22. Konum (X) – Zaman (T) grafiği (PI kontrol, 0-40 mm).....	70
Şekil 5.23. Konum (X) – Zaman (T) grafiği (PI kontrol, 0-50 mm).....	70
Şekil 5.24. Konum (X) – Zaman (T) grafiği (PI kontrol, 0-60 mm).....	71
Şekil 5.25. Konum (X) – Zaman (T) grafiği (PI kontrol, 0-70 mm).....	71

Şekil 5.26. Konum (X) – Zaman (T) grafiği (PI kontrol, 0-80 mm).....	71
Şekil 5.27. Konum (X) – Zaman (T) grafiği (PI kontrol, 0-90 mm).....	72
Şekil 5.28. Konum (X) – Zaman (T) grafiği (PI kontrol, 100-10 mm).....	73
Şekil 5.29. Konum (X) – Zaman (T) grafiği (PI kontrol, 100-20 mm).....	73
Şekil 5.30. Konum (X) – Zaman (T) grafiği (PI kontrol, 100-30 mm).....	74
Şekil 5.31. Konum (X) – Zaman (T) grafiği (PI kontrol, 100-40 mm).....	74
Şekil 5.32. Konum (X) – Zaman (T) grafiği (PI kontrol, 100-50 mm).....	74
Şekil 5.33. Konum (X) – Zaman (T) grafiği (PI kontrol, 100-60 mm).....	75
Şekil 5.34. Konum (X) – Zaman (T) grafiği (PI kontrol, 100-70 mm).....	75
Şekil 5.35. Konum (X) – Zaman (T) grafiği (PI kontrol, 100-80 mm).....	75
Şekil 5.36. Konum (X) – Zaman (T) grafiği (PI kontrol, 100-90 mm).....	76
Şekil 5.37. Konum (X) – Zaman (T) grafiği (PD kontrol, 0-10 mm)	77
Şekil 5.38. Konum (X) – Zaman (T) grafiği (PD kontrol, 0-20 mm)	77
Şekil 5.39. Konum (X) – Zaman (T) grafiği (PD kontrol, 0-30 mm)	78
Şekil 5.40. Konum (X) – Zaman (T) grafiği (PD kontrol, 0-40 mm)	78
Şekil 5.41. Konum (X) – Zaman (T) grafiği (PD kontrol, 0-50 mm)	78
Şekil 5.42. Konum (X) – Zaman (T) grafiği (PD kontrol, 0-60 mm)	79
Şekil 5.43. Konum (X) – Zaman (T) grafiği (PD kontrol, 0-70 mm)	79
Şekil 5.44. Konum (X) – Zaman (T) grafiği (PD kontrol, 0-80 mm)	79
Şekil 5.45. Konum (X) – Zaman (T) grafiği (PD kontrol, 0-90 mm)	80
Şekil 5.46. Konum (X) – Zaman (T) grafiği (PD kontrol, 100-10 mm)	81
Şekil 5.47. Konum (X) – Zaman (T) grafiği (PD kontrol, 100-20 mm)	81
Şekil 5.48. Konum (X) – Zaman (T) grafiği (PD kontrol, 100-30 mm)	82
Şekil 5.49. Konum (X) – Zaman (T) grafiği (PD kontrol, 100-40 mm)	82
Şekil 5.50. Konum (X) – Zaman (T) grafiği (PD kontrol, 100-50 mm)	82
Şekil 5.51. Konum (X) – Zaman (T) grafiği (PD kontrol, 100-60 mm)	83
Şekil 5.52. Konum (X) – Zaman (T) grafiği (PD kontrol, 100-70 mm)	83
Şekil 5.53. Konum (X) – Zaman (T) grafiği (PD kontrol, 100-80 mm)	83
Şekil 5.54. Konum (X) – Zaman (T) grafiği (PD kontrol, 100-90 mm)	84
Şekil 5.55. Konum (X) – Zaman (T) grafiği (PID kontrol, 0-10 mm).....	85
Şekil 5.56. Konum (X) – Zaman (T) grafiği (PID kontrol, 0-20 mm).....	85
Şekil 5.57. Konum (X) – Zaman (T) grafiği (PID kontrol, 0-30 mm).....	86

Sayfa

Şekil 5.58. Konum (X) – Zaman (T) grafiği (PID kontrol, 0-40 mm).....	86
Şekil 5.59. Konum (X) – Zaman (T) grafiği (PID kontrol, 0-50 mm).....	86
Şekil 5.60. Konum (X) – Zaman (T) grafiği (PID kontrol, 0-60 mm).....	87
Şekil 5.61. Konum (X) – Zaman (T) grafiği (PID kontrol, 0-70 mm).....	87
Şekil 5.62. Konum (X) – Zaman (T) grafiği (PID kontrol, 0-80 mm).....	87
Şekil 5.63. Konum (X) – Zaman (T) grafiği (PID kontrol, 0-90 mm).....	88
Şekil 5.64. Konum (X) – Zaman (T) grafiği (PID kontrol, 100-10 mm).....	89
Şekil 5.65. Konum (X) – Zaman (T) grafiği (PID kontrol, 100-20 mm).....	89
Şekil 5.66. Konum (X) – Zaman (T) grafiği (PID kontrol, 100-30 mm).....	90
Şekil 5.67. Konum (X) – Zaman (T) grafiği (PID kontrol, 100-40 mm).....	90
Şekil 5.68. Konum (X) – Zaman (T) grafiği (PID kontrol, 100-50 mm).....	90
Şekil 5.69. Konum (X) – Zaman (T) grafiği (PID kontrol, 100-60 mm).....	91
Şekil 5.70. Konum (X) – Zaman (T) grafiği (PID kontrol, 100-70 mm).....	91
Şekil 5.71. Konum (X) – Zaman (T) grafiği (PID kontrol, 100-80 mm).....	91
Şekil 5.72. Konum (X) – Zaman (T) grafiği (PID kontrol, 100-90 mm).....	92

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 3.1. Kapalı çevrim sisteminde kontrolörlerin etkileri	35
Çizelge 4.1. Deneyde kullanılan parametreler	53
Çizelge 5.1. Deney parametreleri ve sonuçları	59

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

- A_a : Silindirin a bölümündeki alan.
 A_b : Silindirin b bölümündeki alan.
 C_m : Kütleli akış parametresi.
 C_q : Boşaltım katsayısı.
 $C_{(s)}$: PID denetleyicisi.
 $E_{(s)}$: Kontrol sinyali ile sistem cevabı arasındaki fark.
 E : Hata.
 M_s : Milisaniye.
 M_m : Milimetre.
 M_a : Giren havanın kütleli debisi.
 M_b : Çıkan havanın kütleli debisi.
 P_a : Silindirin a bölümündeki hava basıncı.
 P_{atm} : Atmosfer basıncı.
 P_b : Silindirin b bölümündeki hava basıncı.
 P_s : Besleme basıncı.
 $P_{(s)}$: Kontrol edilecek sistem.
 R : Gaz sabiti.
 $R_{(s)}$: Kontrol sinyali.
 (s) : Frekans Domeni.
 s : Saniye.
 (t) : Zaman Domeni.
 T_a : Silindirin a bölümündeki sıcaklık.
 T_b : Silindirin b bölümündeki sıcaklık.
 $U_{(s)}$: PID denetleyicisinin ürettiği sinyal.
 V_a : Silindirin a bölümündeki hacim.

V_b : Silindirin b bölümündeki hacim.

$Y_{(s)}$: Sistem cevabı.

λ : Özgül ısı.

A : Akım.

V : Volt.

I : Pnömatik hortum uzunluğu.

D : Hortum iç çapı.

Δp : Basınç kaybı.

θ : Debi.

P : Çalışma basıncı.

KISALTMALAR

- DA : Doğru Akım.
DGM : Darbe Genişlik Modülasyonu.
Kd : Türevsel Katsayısı.
Ki : İntegral Katsayısı.
Kp : Oransal Katsayısı.
PID : Oransal İntegral Türev.
P : Oransal.
PD : Oransal Türev.
PI : Oransal İntegral.
X : Konum.
T : Zaman.
CNC : Bilgisayarlı Sayısal Kontrol.
PLC : Programlanabilir Lojik Kontrolör.
LCD : Sıvı Kristal Ekran.

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Pnömatik sistemlerin günümüz teknolojisindeki gibi kullanımının çok bir geçmişi olmasa da insanoğlunun basınçlı havayı kullanması milattan önceye denk gelmektedir. Ancak yaygın olarak kullanılmaya sanayi devrimiyle birlikte başlanmıştır. Bu dönemde basınçlı hava pnömatik el aletlerinde kullanılmaya başlanmıştır. Günümüze kadar pek çok alanda kullanım imkânı bulan pnömatik sistemler özellikle elektro-pnömatik teknolojisindeki gelişmelerle birlikte sanayideki kullanım alanını bir hayli genişletmiştir. Bu alan genişlemesi üretim sistemlerinde seri üretime geçilmesiyle olmuştur. Sanayi kuruluşlarının yüksek miktarlarda siparişlerini insan gücüyle değil otomasyonla hızlı ve güvenilir olarak yapmaya karar verdiklerinde pnömatik sistemler çok fazla tercih edilir olmuştur [1,2].

Pnömatik sistemler bazı avantajları sebebiyle otomasyon sistemlerinde kullanılabilen diğer teknolojilerden daha fazla tercih edilmektedir. Pnömatik sistemlerde enerji kaynağı olarak kullanılan hava her yerde rahatlıkla bulunabilmektedir. İletimi konusunda herhangi bir zorluğu bulunmayan havanın basınçlandırıldığı zaman depo edilebilir olması çok önemli bir avantajdır.

Pnömatik sistemlerin avantajlarının olmasının yanında havanın sıkıştırılabilir olmasından dolayı bir dezavantajı bulunmaktadır. Havanın sıkıştırılabilir olması yük değişimlerinde emniyetli olması nedeniyle avantajlı olsa da hassas konumlandırma istenen yerlerde buna imkân vermemektedir. Bilindiği üzere pnömatik sistemlerde kullanılan eyleyiciler döner ve doğrusal hareket etmektedir. Konstrüksiyonları uyarınca bu eyleyiciler stroklarının başlarında ya da sonlarında konumlanmak zorundadır. Bunun nedeni havanın sıkışabilir olmasındandır. Orta konumda durdurmak için basınçlı hava girişine uygulanan hava kesilse de eyleyici içerisindeki iki bölmede hava basıncı eşitlenene kadar hareket ilgili tarafa doğru devam edecektir.

Bu sayılan nedenlerden dolayı pnömatik eyleyiciler ilk ya da son konumlarında kullanılırlar.

Son zamanlarda klasik pnömatik eyleyicilerin yanında birçok konfigürasyonda pnömatik ekipmanlar üretilmekte ve çalışmalar gerçekleştirilmektedir. Artık pnömatik sistemler mekanik robotların yerini almaya başlayacak seri üretimde montaj, kaynak vb. işleri yapacaklardır. Bu hem robotların maliyetini hem ağırlığını hem de boyutlarını küçültecektir. Bunun yanında robotların serbestlik derecelerini arttıracaktır. Günümüzde kullanılan robot sistemlerinin kontrol zorlukları geride bırakılacaktır. Festo firmasının gerçekleştirdiği biyonik robot kol uygulaması bu anlatılanlara en çarpıcı örnek olarak karşımıza çıkmaktadır [3]. Bu tip sistemler aynı zamanda talaşlı imalat sistemlerine de adapte edilecek olursa CNC (Computer Numerical Control) kontrollü talaşlı imalat teknolojisi de ciddi bir devrim yaşayacaktır. Robotların günümüz yapılarından kurtulmaları ve pnömatik sisteme dönüşmeleri yapılarını basitleştirecek kullanılan malzeme miktarını ve işçiliği azaltacaktır. Nitekim maliyetlerin ucuzlaması birçok firmanın bu teknolojiyi rahatlıkla kullanmasının önünü açacak ve kapasite kullanımını artarak üretim artması maliyetlerin azalması söz konusu olacaktır. Bunlar göz önüne alındığında ülke ekonomilerine büyük katkıda bulunacaktır.

Pnömatik sistemlerde asıl kumanda şekli yön kontrol valfleri ile pnömatik silindirlerin kontrolüdür. Bu husustaki çalışmalarda bu yön kontrol valflerinin herhangi bir tanesinin üzerinden devam ettirilmektedir. Yani otomatik kontrol yöntemlerinden herhangi biri seçilerek bu valflere uygulanmaktadır. İlk önce konunun daha iyi anlaşılması adına bu yön kontrol valfi kumanda çeşitlerine değinmek doğru olacaktır.

Bu valflerden ilki servo valflerdir. Servo valfler pnömatik sistemlerde kullanılabildiği gibi hidrolik sistemlerde de kullanım alanı bulmaktadır. Yüksek hassasiyetin istenildiği yerde kullanılan servo valfler daha çok askeri alanda kullanılmaktadır. Servo valflerin kumandasında kullanılan giriş sinyali ile valften alınan debi sinyali arasında tam bir lineerlik mevcuttur. Servo valfler daha çok hidrolik sistemlerde kullanılmakta olup düşük basınç değerlerinden (0,8 MPa) dolayı

pnömatik sistemlerde yaygın olarak kullanılmadığı görülmektedir. İmalat işlemlerinin karmaşık olması nedeniyle maliyetleri yüksek olan servo valflerin yerine pnömatik sistemlerde daha çok oransal ya da selenoid ve çeşitleri kullanılmaktadır.

Bir diğer yön kontrol valfi kumanda şekli ise elektro-pnömatik kontroldür. Bu kontrol yöntemi pnömatik sistemlerde çok fazla kullanım alanına sahiptir ve kendi içerisinde kumanda şekli bakımından alt başlıklara ayrılır. Bunlar arasında en çok kullanılanı basit aç - kapa selenoid valflerdir. Bir diğer tipi ise oransal selenoid valf ve son olarak da son zamanlarda üzerinde fazlaca durulan hızlı anahtarlamalı valftir.

Basit bir yapıya ve kontrol şekline sahip olan aç – kapa tipi selenoid valfler kontrol şekillerine göre ikiye ayrılmaktadır. Düşük basınç değerlerinde doğrudan tetiklemeli olanları kullanılırken, yüksek basınç değerlerinde dolaylı kumandalı olanları kullanılır. Doğrudan kumandalı aç – kapa tipi selenoid valfler valfin içerisinde bulunan ve yolları açıp kapayan sürgü veya oturma elemanını (hareketli parça) hareket ettirerek valfin konum değiştirmesini sağlar. Konum değişikliğinin gerçekleştirilmesi için valfin içerisinde manyetik alan üreten bir bobin bulunmaktadır. Bobinin oluşturduğu manyetik alan mıknatis özelliğine sahip sürgü ya da oturma elemanını hareket ettirecektir. Geri dönüş şeklide önemli olsa da basınç yolundan (P) gelen basınçlı hava eğer yüksek değerlerde değil ise bobinin oluşturduğu manyetik alan sürgü veya oturma elemanını hareket ettirme kabiliyetine sahip olacaktır. Ancak basınç değeri yüksek ise sürgü veya oturma elemanı yüksek basınca maruz kaldığı için bobinin meydana getirdiği manyetik alan sürgü veya oturma elemanını hareket ettiremeyecektir. Bu gibi durumlarda oturma elemanının hareketini kolaylaştırmak adına valfin basınç hattından gelen basınçlı hava sürgünün ya da oturma elemanının hareketinde kullanılır. Bu tip valflerde valfin basınç hattına basınçlı hava gelmeden valf konum değiştirmez. Bu valfler pilot uyarılı veya dolaylı kumandalı olarak isimlendirilir [4].

Basit yapıya aç – kapa selenoid valfler ile servo valfler arasında yer alan bir valf türü olan oransal valflerin debileriyle giriş gerilimi ya da akımı belirli bir bölgede lineerlik göstermektedir. İşte bu yüzden dolayı valfin adına oransal valf denmektedir. Oransal elektro-pnömatik valfler genel olarak basıncı ya da akımı kontrol etmektedir.

Eğer giriş akımı ile basınç arasında bir bağıntı söz konusu ise bu valfe oransal basınç kontrol valfi ve eğer giriş akımı ile valf debisi arasında bir bağıntı söz konusu ise bu valf de oransal akış kontrol valfi olarak isimlendirilir. Oransal basınç kontrol valfleri bir pnömatik silindirin basıncını ayarlamak için kullanılırken oransal akış kontrol valfi ise pnömatik silindirlerin hızını veya konumunu ayarlamak için kullanılır. Çoklu konumda kullanılmak istenen bir pnömatik silindir bu valf çeşidiyle kontrol edilebilir ve bu da klasik bir pnömatik silindir ve oransal bir valf ile fazla veya özel donanım kullanılmasının önüne geçer.

Yukarıda sayılan yön kontrol valflerinin kontrol ve kumandasına dair yöntemlerin kimisi ucuz ancak hassas konumlama yapamamak da kimisi ise hassas konumlama yapsa da hem maliyeti yüksek olmakta hem de kumanda edilebilirliği zor olmaktadır. İşte bu nedenden dolayı hem maliyeti düşük hem hassas konumlama yapabilen hem de kumandası kolay olan bir yöntem geliştirmek üzere çalışmalar yoğunlaşmıştır. Kumanda şekillerine bakıldığında en kolayının bir elektriksel sinyal ile ki bu DC bir akım ile oluşturulan bir kare dalgadır valfin kumanda edilmesi en kolay yöntem olarak karşımıza çıkmıştır. Bunun üzerine valfin içerisinde yolları açıp kapayan sürgü ya da oturma elemanının manyetik alan oluşturmak için kullanılan bobine uygulanan DA bir akım ile kontrolü araştırmaların yoğunlaştığı yer olmuştur [5]. Bu tür bir yöntemin anahtarlama zamanını kısaltması hasebiyle valf den geçen akışkanın kontrolü daha hassas yapılabilecek ve dolayısıyla daha hassas pnömatik silindir konum kontrolü sağlanacaktır. Hem özel bir valf tasarımı yapılmamış olacak hem de valfin kontrolü dijital bir sinyal ile kontrol edilecektir. Analog olarak kontrolden valfin kurtarılması çok büyük bir kolaylığı da beraberinde getirecektir. Kumanda işleminin kolaylaştırılması hem yaygın olarak kullanılmasına sebep olurken hem de kolayca bulunabilecek basit yapıdaki bütün silindirlere uygulanabilecektir [6].

Pnömatik sistemlerdeki lineer hareket üreten eyleyicilerin konum denetimi her ne kadar mevcut teknoloji ile mümkün olsa da mevcut teknolojinin maliyetli olması ve imalatının karmaşık olması yüksek hızlı ve ucuz otomasyonun gerektiği günümüz sanayisinde kendine hak ettiği yeri bulamamıştır. Piyasadan rahatlıkla bulunaabilecek ekipmanlarla klasik pnömatik silindirlerin konum denetimi esas olarak alındığında üzerine ciddi çalışmaların yapılması gereken bir durum ortaya çıkmış ve aç – kapa

selenoidli valflerin konumlama işleminde kullanılmasının önemi artmıştır. Bu yöndeki çalışmalar dünya ile birlikte ülkemizde de devam etmektedir [7].

Pnömatik sistemin kontrolü için seçilecek kontrol yönteminin pnömatik sistemlerin lineer olmayan özelliklerini bertaraf ederek doğru sallaşmasını sağlayacak bir yöntem olması gerekmektedir. PID kontrol yöntemi bu iş için uygun olduğu düşünülmektedir. Bunun nedeni kolay bir kontrol algoritmaya sahip olması, değişkeninin az olması ve altında birçok kontrol yöntemini barındırması yatmaktadır. Bir başka husus ise PID kontrol yönteminin diğer kontrol algoritmalarıyla uyumlu bir şekilde çalışmasıdır. Bu çalışmada PID kontrol yönteminin altında bulunan P (Proportional), PI (Proportional – Integral), PD (Proportional – Derivative) ve PID (Proportional – Integral – Derivative) kontrol yöntemleri karşılaştırılmalı olarak sınanacaktır. Bu kontrol yöntemleri kullanılarak valfin açık ve kapalı kalma süreleri DGM (darbe genişlik modülasyonu) tekniğiyle kontrol edilecektir [8,9].

Bu bilgiler ışığında pnömatik sistemlerin otomatik kontrolünde kolay uygulanabilme özelliğine sahip ve başarılı sonuçların alınabildiği, bilinmeyen etkenlerin az olduğu ve diğer kontrol teorileriyle bütünleşerek çalışabilen PID kontrol yönteminin seçilmesi gerekmektedir. Konumu kontrol edilecek pnömatik iş elemanı olarak uygulamalarda en çok kullanılan asimetrik çift etkili silindir seçilmelidir. Bu silindirin her iki basınç odasına giren havanın iki ayrı yön kontrol valfiyle kontrol edilmesi daha uygun olacaktır. Bu valflerin selenoid tetiklemeli olması sürülmesini kolaylaştıracaktır. Yine bu yön kontrol valflerinin hızlı anahtarlama özelliği olması konumlama hassasiyeti ve sistem kararsızlığı üzerinde faydalı etkileri olacaktır. Valflerin sürülmesinde DGM (darbe genişlik modülasyonu) tekniğinin kullanılması kullanışlı bir yöntem olarak görünmektedir. Son olarak da pnömatik silindirin konumunu algılamak için lineer bir cetvel gerekmektedir [6].

BÖLÜM 2

LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Pnömatik sistemlerde konum kontrolü birçok bilimsel araştırmacının ilgi alanına girmiş ve çeşitli yöntem ve gereksinimlerle araştırmalar yapılmış ve yapılmaya devam edilmektedir.

Chen Ying ve ekibi, bir çift etkili silindirin kontrolünü güç geri beslemesi yaparak yüksek hızlı yön kontrol valfiyle yapmak istemişlerdir [10]. Bunun için bir matematiksel model oluşturulmuş ve iskelet deney düzeneği gerçekleştirilmiştir. Kontrol yöntemi olarak bulanık mantık kontrol yöntemi seçilmiş ve yön kontrol valflerinin kontrolü darbe genişlik modülasyonu ile sağlanmıştır. Matematiksel modelde havanın sıkıştırılabilirliği ve pnömatik sistemin lineer olmayan özellikleri de hesaba katılmıştır. Sistemin modeli Matlab programında gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneylerde konumlama bakımından iyi sonuçlar alınırken kuvvet geri beslemesinin hortum bağlantı kayıplarını ve zaman gecikmesi konularında etkili sonuçları gözlenmiştir. Yüksek hızlı valflerin iskelet sisteminde kullanılmasının iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Ayrıca deneylerden alınan sonuçlarla modelden alınan sonuçlar birbirleriyle aynı doğrultuda oldukları görülmüştür.

Chun-Liang Lin ve ekibi, pnömatik yön kontrol valflerinin endüstride birçok uygulama alanının olduğunu ancak dış bozucular yüzünden elektro-pnömatik valflerin zaman gecikmesi yaparak çalışmasının bunu engellediği üzerine durmuşlardır [11]. Fuzzy – PID melez bir kontrol yöntemi belirlenmiş ve buna bir sinir ağı ilave edilmiştir. Buradaki amaç harici bozucuları bertaraf ederek sistemin kararsız yapıya düşmesini engellemektir. Bu kontrol yöntemiyle valfler darbe genişlik modülasyonu ile sürülmüş ve sistemin çalışmasında iyileşme gözlenmiştir. Yapılan deneyler uygulamanın verimliliğini ve uygulanabilirliğini ortaya koymuştur.

Çalışma zaman gecikmesinin iyileştirilmesi konumlamanın da iyileştirilmesi sonucuna varılmıştır.

M. Vijaya Sekhar Babu, döner bir pnömatik eyleyicinin devir kontrolünü yapmıştır [12]. Konum kontrolünün ucuz bir şekilde gerçekleştirilebileceğini düşünen araştırmacı endüstride kullanılan hız problemlerinin yarardan fazlasının gereksiz hassasiyete sahip olduğunun üzerinde durmaktadır. Sistemde konum kontrolü için servo bir valf, döner bir pnömatik iş elemanı, kapalı çevrim bir kontrol algoritması kullanılmıştır. Kontrol algoritmasında konum ve hız bilgileri geri beslenerek çevrime sokulmuş ve bu verilerin kontrolü gerçekleştirilmeye çalışılmıştır. Sistemin bir matematiksel modeli çıkarılmamıştır. Yapılan deneyler sonucunda parametreler doğru bir şekilde kontrol edilmiştir. Konum ± 5 devirle ve hızda ± 30 rpm tolerans ile kontrol edilmiştir.

Kyoung Kwan Ahn ve ekibi, pnömatik kol manipülatörü sisteminin davranışları üzerinde bozucu etkileri olan dış faktörlerin giderilmesi ve konumlama hassasiyetinin artması konusunda çalışmalar yapmışlardır [13]. Adaptif tekrar edilebilir nöral ağ olarak tanımladıkları bir kontrol yöntemini sistemin üzerinde uygulayarak sistemin davranışlarını incelemişlerdir. Konumlama olarak daha çok açısız hareketlerin izlendiği çalışmada dış etkiler değiştirilerek açısız hassasiyet kontrol edilmiştir. Dış etki olarak ağırlık kullanılmış bu ağırlık arttırıldığında sistemin davranışı açısız olarak tatmin edici bulunmuştur. Ağırlık 0 ile 10 kg arasında değiştirilmiş ve açısız konumlama hassasiyeti $\pm 5^\circ$ olarak ölçülmüştür. Kendi kontrol yöntemlerinin PID kontrol yöntemiyle de kıyaslayan araştırmacılar yük ağırlığının artması durumunda açısız konumlama bakımından daha iyi sonuçlar aldıklarını belirtmişlerdir

Mostafa Taghizadeh ve ekibi, bir çift etkili pnömatik silindir, selenoid tetiklemeli yay geri getirmeli yüksek hızlı 3/2 yön kontrol valfi ve pozisyon ölçerden meydana gelen bir deney seti oluşturmuşlardır [14]. Bu deney setinde pistonun konum ve hız geri beslemesini yaparak konumlamayı gerçekleştirmeye çalışmışlardır. Geri beslenen bilgiler filtreden geçirilerek lineer yapılmaya çalışılmıştır. Kontrol yöntemi olarak PID kontrol yordamlarından P ve PD kontrolleri uygulamışlar ve servo

sistemlerin maliyetinin bu tür valflerle ucuzlayabileceği üzerinde durmuşlardır. Silindirin sadece bir bölmesine giren ve çıkan havanın kontrolü yapılmıştır. Bu deneyde selenoid valfler DGM ile sürülmüştür. Yüksek hızlı yön kontrol valflerinin kullanılması ile servo sistemlerdeki gibi bir konumlama hassasiyetinin elde edilebileceği sonucuna varılmıştır.

Mostafa Taghizadeh ve ekibi, yüksek hızlı anahtarlama bir yön kontrol valfi tasarlamışlardır [15]. Bu valfin matematiksel modeli de çıkarılarak deneysel ve matematiksel modelden alınan sonuçlar kıyaslanmaya çalışılmıştır. Kontrol edilecek olan elektro-pnömatik valf selenoid tetiklemeli yay geri getirmeli 3/2 hızlı anahtarlama yön kontrol valfidir. Valfin sürülmesinde DGM kullanılmıştır. Kontrol yöntemi olarak da PI kontrol yordamı seçilmiştir. Matematiksel model Matlab Simulink te oluşturulmuştur. İlk önce valfin bobinlerinden geçen akım simülasyon model ile karşılaştırılmış 15V ve 24V gerilimlerde aynı akım düzeyine sahip oldukları görülmüştür. Basınç değişimi ile valfin sürgüsünün konumu arasında bağıntının incelendiği bir diğer deneyde ise DGM frekansı 50 Hz de sabitlenerek ölçümler yapılmış ve simülasyon modeli ile deneysel ölçümler bir birbirleriyle örtüştüğü görülmüştür. DGM frekansı ile Valf sürgüsünün konumu arasında yapılan bir deneyde de basınç 4 bar a eşitlenerek sistemin ve modelin kararlı yapıda hareket ettiği ve aynı değerleri verdikleri gözlenmiştir.

Mostafa Taghizadeh ve ekibi, çift etkili bir silindirin kontrolünü bir adet yüksek hızlı selenoid tetiklemeli yay geri getirmeli 3/2 yön kontrol valfiyle yapmışlardır [16]. Yön kontrol valfi DGM tekniği ile sürülmüştür. Sistemin kontrolünde PD kontrol yöntemi kullanılmıştır. Konum kontrolünde geri besleme olarak konum değil hız geri beslemesi yapılmıştır. Bozucu gürültülerden sinyali kurtarmak ve sistemi yarı lineer hale getirmek için karman filtresi kullanarak geri besleme sinyalleri algoritmaya katılmıştır. Deney seti ile birlikte bir model çıkarılmış değişik yükler altında sistemin konum kontrolü gerçekleştirilmiştir. Deneyler silindirin bir bölmesine giren havanın kontrolü yapılarak gerçekleştirilmeye çalışılmıştır. Deney düzeneğine 0, 10, 20 kg yükler uygulanmış ve silindirin konumu ile ilgili veriler alınmıştır. Sistemin yüklerin yarattığı bozucu etkileri bertaraf ettiği ve modele de uyumlu olduğu gözlenmiştir.

Aron Pujana-Arrese ve ekibi, yapay pnömatik kas üzerinde yaptıkları bir çalışmada açısız konum kontrolünü gerçekleştirmeye çalışmışlardır [17]. Bu deney düzeneği üzerinde 4 adet kontrol yöntemi uygulayarak çıkan verileri yorumlamışlardır. Sistemin ayrıca bir matematiksel modelide çıkarılmıştır. Sistemin kontrolünde PI, Gelişmiş PID, H^∞ ve sliding-mode kontrol yöntemleri kullanılmıştır. Bu kontrol yöntemli deplasman uzaklığına göre kıyaslanmıştır. Uzak mesafelere hareketlerde PI kontrol diğer kontrol yöntemlerinden daha uygun bir şekilde set değerine oturmuştur. Gelişmiş PID kontrolde hemen hemen aynı sonuçları verse de oturma zamanı daha geç olmaktadır. Diğer kontrol yöntemlerinde de aşmalar söz konusu olmuştur. Orta deplasman mesafelerinde gelişmiş PID ve H^∞ kontrol en uygun sonuçları vermiş diğerleri set değerinden aşma gerçekleştirmiştir. Kısa mesafelerdeki deplasmanlarda ise gelişmiş PID önemli bir farkla en iyi kontrol yöntemi olduğu gözlenmiş, diğerlerinin ya aşma yaptığı yada oturma zamanının yüksek olduğu gözlenmiştir. Bu veriler ışığında her deplasman aralığında gelişmiş PID kontrolün daha uygun olduğu sonucuna varılmıştır.

Ho Pham Huy Anh, 2 eksenli yapay pnömatik bir manipülatörün kontrolünü gerçekleştirmeye çalışmıştır [18]. Bu deney düzeneğinin kontrolünü PID kontrol yöntemi ve DNN (Dinamik Nöral)-PID Kontrol yöntemlerini kıyaslayarak gerçekleştirmeye çalışmıştır. 2 eksenli manipülatör dairesel ve eğik hareketler yaptırılarak referans ile iki kontrol yöntemi arasındaki açısız hatalar izlenmeye çalışılmıştır. Deneyler sonucunda geleneksel PID kontrolün eklem açılarında az da olsa izleme hatası yaptığı görülmüştür. Bu hata genelde aşma yönünde olduğu gözlenmiştir. DNN-PID kontrol yöntemi uygulandığında ise geleneksel PID kontrolde yapılan hataların ortadan kalktığı ve izleme hatasının minimize edildiği gözlenmiştir. DNN-PID kontrol yöntemi gerçekleştirilirken PID kontrolün katsayıları olan K_p , K_d ve K_i değerleri otomatik olarak ayarlanmıştır. Bu yeni yöntemim endüstride ve insan hayatını kolaylaştıran medikal uygulamalarda kullanılması ve uygulanmasının kolay olduğu sonucuna varılmıştır.

Cao Junyi ve ekibi, çift etkili pnömatik silindir, bu silindirin kontrolünün gerçekleştiren 5/3 selenoid tetiklemeli yay geri getirmeli yön kontrol valfi, silindirin pozisyon algılayıcısı, basınç kontrol valfi ve dâhili yükten meydana gelen bir deney

düzenegi kurmuşlar ve kontrol etmeye çalışmışlardır [19]. Kontrol yöntemi olarak PID kontrol yöntemi ve kesirli PID kontrol yöntemi ayrı ayrı deney düzenegi üzerinde denenmiştir. Kesirli PID kontrol yönteminde kesir kısmını hesaplamak için bir matematiksel model çıkaran ekip deneylerini pistonun konumlarını adım adım değiştirerek gerçekleştirmiştir. Aynı mesafelerde kontrol yöntemlerinin kabiliyetlerinin denendiği bu çalışmada PID kontrol ile sistemin referans değerine aşma yaparak yaklaştığı ve belli bir miktar sürekli rejim hatası yaptığı gözlenmiştir. Kesirli PID kontrol yöntemiyle yapılan deneylerde sistemin dış bozuculara daha dirençli olduğu sonucuna varılmıştır.

Chia-Hua Lu ve ekibi, iki eksenli bir Kartezyen robot uygulaması gerçekleştirmişlerdir [20]. Deney setinde mevcut bulunan 2 adet eksen servo kontrollü hava motorlarıyla doğrudan kontrol edilmiştir. Havanın sıkışa bilirligi, sürtünme vb. dış ve içsel faktörlerin göz önünde tutulduğu bu deney düzeneginde klasik PID ve kayan mod kontrol tekniği denenmiştir. Kayan mod kontrol yöntemi ile oransal valflerin neden olduğu ölü bölge alanlarını azaltmak ve izleme hatalarını düşürmek amaçlanmıştır. Yapılan deneyler sonucunda kayan mod kontrol yöntemi klasik PID kontrol yönteminden daha tatminkâr sonuçlar verdiği gözlenmiştir. Kayan mod kontrol yönteminde PID kontrole göre %50 den daha fazla izleme hatasın da gelişme gözlenmiş ve kalıcı durum hatası ise 0,5µm olarak ölçülmüştür.

Ho Pham Huy Anh ve ekibi, pnömatik yapay kas üzerine araştırma yapmak için kurdukları deney düzeneginde iki adet pnömatik kas bir eklemi açısız olarak hareket ettirmektedir [21]. Sistemin kontrolü oransal 5/3 yön kontrol valfi ile sağlanmaktadır. Sistemin kontrolünde PID, hibrit NARX-Fuzzy-PID kontrol yöntemleri denenmiştir. Deney düzeneginin referans değere göre açısız olarak nasıl izleme hatalarının yapacağı testlerde incelenmiştir. Bunun sonucunda da melez kontrol yönteminin daha etkili sonuçla vermesi beklenmiştir. Geleneksel PID kontrol yönteminde aşmalar ve sürekli rejim hataları olduğu görülmüştür. hibrit NARX-Fuzy-PID kontrol yöntemine ise referans değeri geleneksel PID kontrolden daha iyi takip ettiği hataların minimize edildiği görülmüştür. Ayrıca hibrit NARX-Fuzzy-PID kontrol yönteminde PID kontrolden elde edilen hata ile NARX-Fuzzy kontrolden elde edilen hata toplanarak başka bir işleme tabi tutulmaktadır. Bu kontrol yönteminin pnömatik

sistemlerin lineer olmayan özellikleri bertaraf ettiği ve endüstride, medikal uygulamalarda bu sistemin kullanılabilmesi sonucuna varılmıştır.

Takosoglu ve ekibi, yaptıkları bir çalışmada milsiz bir çift etkili silindir, servo oransal kontrollü 5/3 yön kontrol valfi, basınç kontrol valfi ve pozisyon ölçerden meydana gelen bir deney düzeneği oluşturmuşlardır [22]. Bu deney düzeneği üzerinde Fuzzy-PD kontrol yöntemini uygulamışlardır. Bu kontrol yöntemiyle pozisyon kontrolü ve elektro-pnömatik valfin öğrenmesi amaçlanmıştır. Yapılan deneylerde sistemdeki yük artırılarak testler yapılmıştır. Bu yapılan testlerin sonucunda yük arttığında konumlanmanın daha hatalı sonuçlar verdiği gözlenmiştir. Aşma miktarı, oturma zamanı ve sürekli rejim hatalarında artışlar meydana gelmiştir.

M. Sivcak ve ekibi, oluşturdukları bir deney setiyle pnömatik bir sistemin dengeleme kontrolünü yapmaya çalışmışlardır [23]. Bu deney setinde körüklü hava yayı, selenoid tetiklemeli yay geri getirmeli 3/3 yön kontrol valfi kullanılmıştır. Kontrol yöntemi olarak PID kontrol yöntemi seçilmiştir. Deneyler çeşitli yükler altında gerçekleştirilmiştir. Bunlardan birinde konum değiştirilmiş ve sistemin oturması izlenmiştir. Bir diğer testte ise sistemin yükü değiştirilerek konumun serbest bir şekilde nasıl hareket edeceği gözlenmiştir. İki testte de dengeleme için kullanılan deney düzeneği ve kontrol algoritmasının başarılı sonuçlar verdiği gözlenmiştir.

Zhu Jianmin ve ekibi, basınçlı hava kaynağı, şartlandırıcı, 5/3 servo oransal yön kontrol valfi, milsiz silindir ve pozisyon ölçerden oluşan bir deney seti kurmuşlardır [24]. Kontrol yöntemi olarak PID ve Fuzzy lojik kontrol uygulanmıştır. Bunlara ek olarak bu iki kontrol yöntemini güçlendirmeye yönelik gri kontrol yöntemi bu iki kontrol yöntemine eklenmiştir. Bu kontrol yöntemleri altında pnömatik silindirin konumlama hassasiyeti test edilmiştir. Bu testlerin sonucunda gri kontrol yöntemiyle güçlendirilmiş kontrol yöntemlerinin daha iyi sonuç vermesi beklenmiştir. Yapılan deneyler sonucunda geleneksel PID ve Fuzzy kontrol yöntemlerine göre gri kontrol yöntemi ile desteklenen PID ve Fuzzy kontroller daha iyi sonuçlar vermiştir. Geleneksel yöntemlerde aşma ve oturma zamanı gibi hatta buna ek olarak sürekli rejim hataları gibi izleme değerleri daha kötü çıkmıştır. Deney düzeneğinden alınan

veriler uyarınca gri kontrol sistemiyle desteklenmiş kontrol yöntemlerinin referans değerlerini tam olarak takip ettiği sonucuna varılmıştır.

Shameek Ganguly ve ekibi, tek serbestlik derecesine sahip yapay pnömatik kas yapısının havanın lineer olmayan sıkıştırıla bilirliliğini ve diğer lineer olmayan davranışlarını kontrol altına almak için deneysel bir çalışma yapmışlardır [25]. Bu deneyde kontrol yöntemi olarak PID kontrol yöntemi seçilmiştir. Deneyde pnömatik yapay kasın konumlamasının daha az maliyete nasıl yapılabileceği üzerine durulmuş ve servo basınç regülatörü yerine aç-kapa selenoid valf kullanılarak pnömatik yapay kasa giren ve çıkan hava kontrol edilmeye çalışılmıştır. Havanın kontrolü için selenoid tetiklemeli yay geri dönüşlü 2/2 yön kontrol valfi kullanılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda sistem cevaplarının tatmin edici olduğu belirtilmiştir. Servo basınç regülatörü yerine daha düşük maliyetli aç-kapa tipi selenoid valflerin kullanılabileceği görülmüştür. Ancak daha iyi doğruluğun alınması için yön kontrol valflerini iç sürtünmeleri üzerine çalışmaların yapılmasının gerektiği sonucuna varılmıştır.

Ahmad Athif Mohd Faudzi ve ekibi, akıllı pnömatik eyleyicilerin kontrolü için bir model oluşturmuşlar ve bu model üzerinde iki adet kontrol yöntemini test ederek model davranışlarını incelemişlerdir [26]. Oluşturulan model konum bazlı testlere tabi tutulacaktır. Kontrol yöntemi olarak PI kontrol ve geri beslemeli kontrol yöntemleri uygulanmıştır. Testler yapılırken bu kontrol yöntemlerinden her biri aşma miktarı, yükselme zamanı, oturma zamanı ve kalıcı hal hatası gibi parametrelerde kıyaslanmıştır. Testler sonucunda PI kontrol yöntemine nazaran geri beslemeli kontrol yönteminin kıyaslanacak parametrelerde daha iyi sonuçlar verdiği gözlenmiştir. Ayrıca matematiksel model ile gerçek deneysel sistem birbirleriyle uyumlu davranışlar gösterdiği görülmüştür.

Mohd Aliff ve ekibi, insanların tedavilerinde kullanılacak olan insan dostu robotların yapıları basitleştirmek, maliyetlerini azaltmak ve karmaşık kontrol yöntemlerinden kurtarmak için bir çalışma yapmışlardır [27]. Bu yaptıkları çalışmada kontrol yöntemi olarak master-slave kontrol yöntemini PID kontrol yöntemiyle birleştirerek melez bir kontrol yöntemi oluşturmuşlardır. Bu çalışmada bir diğer kontrol yöntemi

olarak da yörüngesel kontrol yöntemi seçilmiştir. Sistemin kontrolörü olarak düşük maliyetli bir gömülü mikro bilgisayar ve laboratuvar ortamında geliştirilen aç – kapa özelliğiyle çalışan yarı servo bir valf kullanılmıştır. Yapılan testler sonucunda pnömatik eyleyicilerin iç sürtünmelerinin sistem davranışları üzerinde fazlaca bozucu etkisinin olduğu bu yüzden dolayı bu konuda iyileştirilmelerin yapılması gerektiği vurgulanmıştır. Bir başka sonuç ise yazılımın daha üst seviyeye çıkarılmasının gerektiği vurgulanmıştır.

Kok Kiong Tan ve ekibi, iki serbestlik derecesine sahip küresel hava rulmanı pozisyon sistemi adını verdikleri bir deney düzeneği oluşturmuşlardır [28]. Bu deney düzeneğinde gerçekleştirmek istedikleri amaç ise hassas döner hareketi gerçekleştirmektir. Deney seti bir kontrol düzeneği ve pnömatik döner rulmandan meydana gelmektedir. Deney setinde ayrıca geri besleme için alınacak bilgilerin gürültüden temizlenmesi için filtre düzenekleri bulunmaktadır. Deney setinde araştırmacılar iki adet kontrol yöntemi denemişlerdir. Bunlardan bir tanesi klasik PID kontrol diğeri ise gözlemci bazlı PID kontrol yöntemidir. Bu iki kontrol yöntemi yüksek hassasiyet ve izleme performansına göre yapılan testler sonucunda kıyaslanmıştır. Küresel hava rulmanı pozisyon sistemlerinde gözlemci bazlı PID kontrol yönteminin klasik PID kontrolden yaklaşık olarak 10 kat daha iyi sonuçlar verdiği gözlenmiştir.

Sean Hodgson ve ekibi, çift etkili bir pnömatik silindir ve 4 adet aç – kapa selenoid tetiklemeli yay geri getirmeli 2/2 yön kontrol valfinden meydana gelen bir deney düzeneği oluşturmuşlardır [29]. Bu deney düzeneğinde 4 adet 2/2 yön kontrol valfinin iki tanesi silindirin bir odasını diğeri ikisi de silindirin diğeri odasına giren ve çıkan havayı ayrı ayrı kontrol etmektedirler. Bu şekilde dört ayrı valfin kullanılmasının nedeni pnömatik sistemlerde kullanılan ekipmanların ömürlerini uzatmaktır. Pnömatik sistemin kontrolünde ise kayan mod kontrol kullanılmıştır. Dört adet valfin kullanılmasından dolayı 16 farklı değişkenin bulunduğu kontrol algoritmasında 7 değişkenli kontrol yordamı benimsenmiş ve başka bir çalışmada yapılan 3 değişkenli kontrol yordamıyla kıyaslanmıştır. Yapılan testler sonucunda izleme hatası ve doğruluk hassasiyetinin olumlu yönde olduğu ve dört adet valfin kullanılmasının sistemin ömrünü uzattığı görülmüştür.

W.K. Lai ve ekibi, pnömatik eyleyicilerin yön kontrol valfleriyle konumlanması ile ilgili bir çalışma yapmışlardır [30]. Yaptıkları bu çalışmada kontrol yöntemi olarak PID kontrol ve PID ile birlikte lineer kuadratik düzenleyiciyi birlikte kullandıkları bir başka kontrol yöntemi uygulamışlardır. Sistemin kontrolü kapalı çevrin bir kontrolle yapılırken gerçek zamanlı veriler alınmıştır. Yapılan testler sonucunda PID kontrolün küçük yük değişimlerine hassas olduğu bu kontrol yöntemine lineer kuadratik düzenleyici eklendiğinde yük değişimlerine olan hassasiyetin azalması sonucu konumlama hassasiyetinin arttığı gözlenmiştir. Sistemin ayrıca aşma miktarı, kalıcı hal hatası gibi verilerinde iyileşme olduğu da gözlenmiştir.

S. Cajetinac ve ekibi, çift kollu çift etkili bir pnömatik silindir, 2 adet yüksek anahtarlama hızına sahip selenoid kontrollü 3/2 yön kontrol valfi, lineer potansiyometre ve kontrol elemanı olarak da PLC (Programmable Logic Controller) den oluşan bir deney seti oluşturmuşlardır [31]. Bu deney setinde çift kolu silindirin konum kontrolünü PID kontrol algoritmasının ürettiği darbe genişlik modülasyonu DGM değerine göre kontrolü yapılmıştır. Çalışmanın amacı servo kontrol yönteminin maliyetlerini düşürerek uygulamanın yaygınlaştırılmasını sağlamaktır. Yapılan deneyler sonucunda sistemin set değerlerini takip ettiği doğruluk hassasiyetinin tatmin edici olduğu belirtilmiştir. Servo veya oransal valflerin yerine aç – kapa tipi selenoid valflerin kullanılmasının maliyetleri düşüreceği belirtilmiştir.

Jun Li ve ekibi, bir deney düzeneği oluşturmuşlar ve bu deney düzeneğinin matematiksel modelini de çıkarmışlardır [32]. Deneyin yapılmasındaki amaç silindirin her iki bölgesinde bulunan basınçlı havayı tahmin ederek konumlama işlemini basınç sensörü olmadan yapabilmektir. Bağlantı için kullanılan boru hatlarının modellenmesi yapılarak amaca ulaşmaya çalışılmıştır. Boyutsal dağıtım modeli olarak adlandırılan bu boru hattı modeli dört denklemden meydana gelmektedir. Bunlar havanın durum denklemi, hareket denklemi, süreklilik denklemi ve enerji denklemi olarak isimlendirilmiştir. Bu modelle boru hatlarındaki basınç kayıplarını ve zaman gecikmelerinin tahmini yapılmaya çalışılmıştır. Oluşturulan deney düzeneğinden ölçülen silindirin her iki bölgesindeki basınç değeri ile matematiksel modelden alınan veriler birbirleriyle örtüştüğü görülmüştür.

Konumlama açısından testler yapıldığında da olumlu sonuçlar alındığı görülmüş ve basınç sensörü olmadan sistemin çalışabileceği sonucuna varılmıştır.

Zeljko Situm, servo oransal yön kontrol valfleriyle konum ve güç kontrolü yapmak yerine maliyeti düşürmek adına elektronik basınç kontrol valfinin kullanıldığı bir deney düzeneği oluşturmuştur [33]. Sistemin kontrolü PID kontrol yöntemiyle yapılmaktadır. Deneyler değişik basınç ve konum aralıklarında gerçekleştirilmiştir. Yapılan testler sonucunda servo oransal valflerin yerine elektronik basınç kontrol valflerinin kullanılması sistem maliyetini düşürdüğü görülmüştür. Eğer daha iyi konumlama doğruluğu isteniyorsa servo oransal valflerin kullanılabilmesi ancak hassasiyetin fazla olmadığı yerlerde basit yapılı basınç kontrol valflerinin kullanılmasının sistemin maliyetini ve karmaşıklığı önleyeceği sonucuna varılmıştır. Bir diğer çıkarılan sonuç da elektronik basınç kontrol valfi kullanıldığında alınan oturma zamanı değeriyle servo oransal valf kullanıldığında alınan oturma zamanı değerlerinin aynı olduğu sonucu olmuştur.

Shibo Cai ve ekibi, pnömatik sistemlerde konum kontrolü gerçekleştirecek bir matematiksel model yapmışlardır [34]. Bu modelde pnömatik silindirin servo kontrolü için Fuzzy – PID kombinasyonu ile türetilen bir kontrol algoritması oluşturulmuştur. Bu kontrol yönteminde silindirin basınç değişim denklemi, oransal valfin basınç – akış denklemi ve silindirin moment denge denklemi bulunmaktadır. Konumlama değişkeni üzerinden yapılan testlerde Fuzzy – PID kontrol yöntemini kararlılığının fazla olduğu gözlenmiştir. Ayrıca yapılan mesafe bazlı testlerde konumlama hatasının 0,25mm den daha az olduğu belirtilmiştir. Bu veriler ışığında Fuzzy – PID kontrol yönteminin geleneksel PID kontrol yönteminden daha olumlu sonuçlar verdiği sonucuna varılmıştır

Thanana Nuchkrua ve ekibi, yapay pnömatik bir kas sisteminin modellenmesi ile ilgili bir çalışma yapmışlardır [35]. Yaptıkları çalışmada yapay pnömatik kas hidrojen tahriklidir ve kontrolü de Fuzzy – PID hibrit kontrol yöntemiyle yapılmıştır. Hidrojen elementinin miktarı ısıtıcı ve soğutucu termodinamik modül tarafından sağlanmıştır. Bu kontrol yönteminde Fuzzy algoritması PID kazançlarını hesaplarken PID kontrol kısmı sistemin dış etkilerden koruma görevi görmüştür.

Yapılan model üzerinde Fuzzy – PID hibrit kontrol yöntemiyle geleneksel PID kontrol yöntemi bazı parametreler açısından kıyaslanarak sonuçlar çıkarılmaya çalışılmıştır. Yapılan testler sonucunda Fuzzy – PID melez kontrol yöntemi uygulanarak alınan veriler aşma miktarı, oturma zamanı, yükselme zamanı ve kalıcı hal hatası gibi parametrelerde klasik PID kontrolden daha iyi oldu sonucuna varılmıştır.

Pablo J. Prieto ve ekibi, paralel robotlarda pnömatik eyleyicilerin davranışlarını araştırmışlardır [36]. Bu deney düzeneğindeki paralel robot 3 serbestlik derecesine sahiptir. Deney setinin kontrolü için PID kontrolün ve kayan tip kontrol yöntemlerinin avantajları bir arada toplayan Proxy tabanlı kayan tip kontrol yöntemi seçilmiştir. Pnömatik eyleyiciler elektro – pnömatik akış kontrol valfiyle kontrol edilmiştir. Araştırmada hem deneysel olarak sonuçlar alınmış hem de MSC – ADAMS programıyla simülasyon verileri alınmıştır. Her iki yöntemle alınan verilerin birbirleriyle paralellik gösterdiği belirtilmiştir. Proxy tabanlı kayan mod kontrol yönteminin 3 serbestlik derecesine sahip paralel robotlarda kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Behrouz Najjari ve ekibi, bir adet çift etkili silindir, 4 adet yüksek anahtarlama kabiliyetine sahip selenoid tetiklemeli 2/2 yön kontrol valfi, 2 adet basınç sensörü ve pozisyon ölçerden oluşan bir deney seti oluşturmuşlardır [37]. Sistemin kontrolünde Fuzzy – PID melez kontrol yöntemi kullanılmıştır. Yön kontrol valflerinin sürülmesinde darbe genişlik modülasyonu kullanılmıştır. Deney setinde kullanılan yön kontrol valflerinin ömürlerinin uzaması için darbe genişlik modülasyonun hassasiyeti üzerinde durulmuş ve ayrıca deney setinde DC – DC dönüştürücü kullanılarak yön kontrol valflerinin ömrünün uzatılması amaçlanmıştır. Ayrıca PID kontrolör yordamlarından PI kontrol yöntemi Fuzzy kontrolle desteklenerek konumlama hassasiyet arttırılmaya çalışılmıştır. Yapılan testler sonucunda olumlu sonuçların alındığı sonucuna varılmıştır.

BÖLÜM 3

SİSTEMİN TASARIMI ve KONTROLÜ

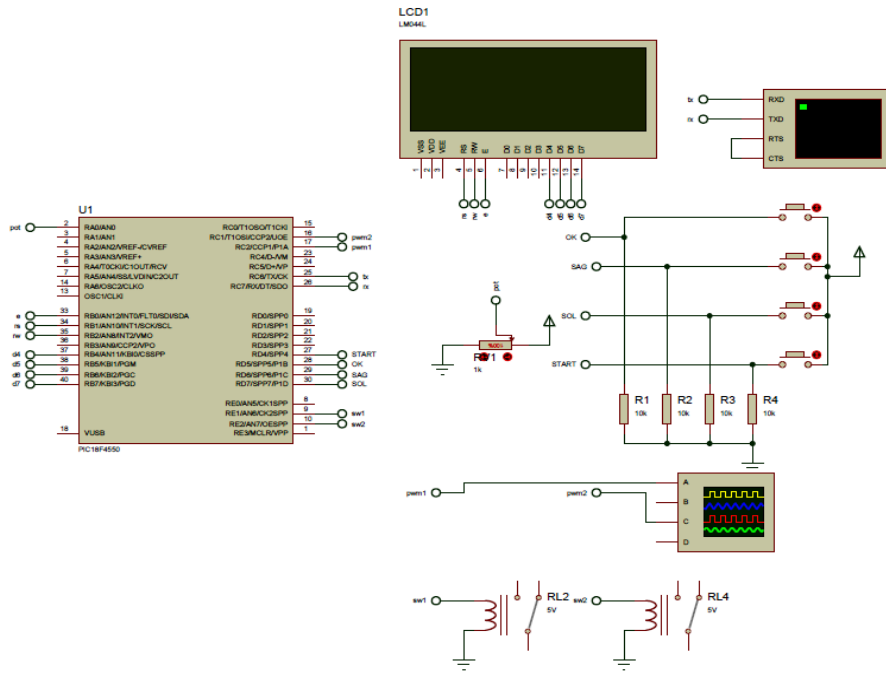
3.1. ELEKTRONİK SİSTEM

Bu kısımda deney setinin elektronik sistemi hakkında bilgi verilmektedir.

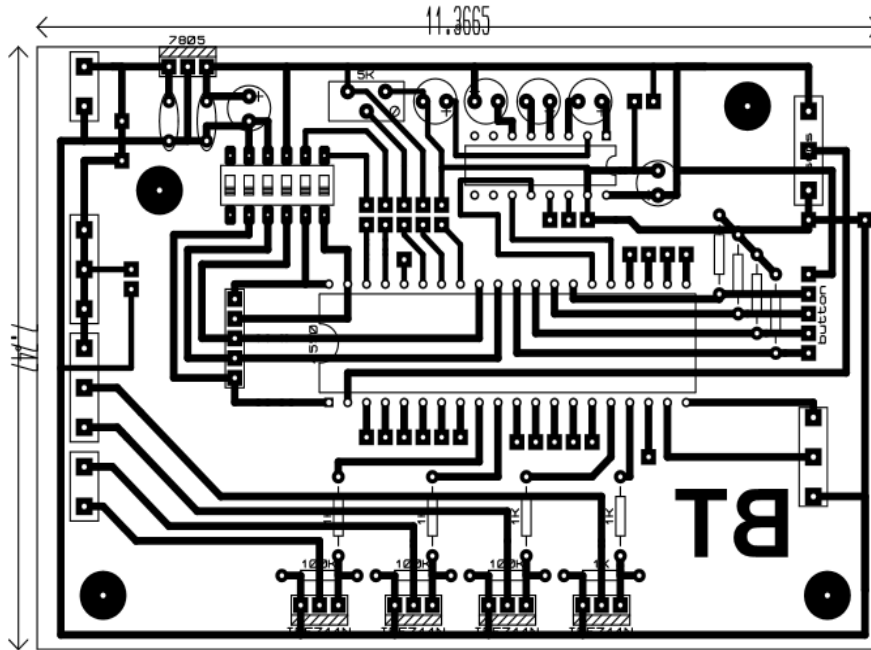
3.1.1. Elektronik Kart Dizaynı

Gerçekleştirmek istediğimiz amaçlara uygun bir şekilde Proteus Isis Programı yardımıyla elektronik kartımızın dizaynı gerçekleştirilmiş ve ilgili kontrol programı yazılarak simülasyon gerçekleştirilmiştir. Simülasyon görüntüsü Şekil 3.1’de verilmektedir. Her ne kadar gerçek hayatla tam olarak bağdaşmasa da bir sorun gözlenmediğinden dolayı Proteus ARES programı ile baskı devre kartının şablonu Şekil 3.2’deki gibi çıkarılmıştır.

Elektronik kontrol kartının üzerinde mikro denetleyici bulunmaktadır. Bu mikro denetleyici yerinden çıkarılmadan programlanabilecek şekilde ek birimler kontrol kartının üzerinde bulunmaktadır. Elektrikle çalışan elemanlarının tamamı için klemens bağlantıları ayrıca bulunmaktadır. Verilerin bilgisayar ortamına gönderilebilmesi için seri port bağlantısı mevcuttur. Kontrol panelinin üzerinde bulunan butonların ve LCD (Liquid Crystal Display) ekranın bağlantıları da yine bu kartın üzerinde yerleri mevcuttur. Valflerin ve lineer potansiyometre bağlantıları da yine elektronik kart üzerinde mevcuttur.



Şekil 3.1. Proteus ISIS programı ile devre modellenmesi.

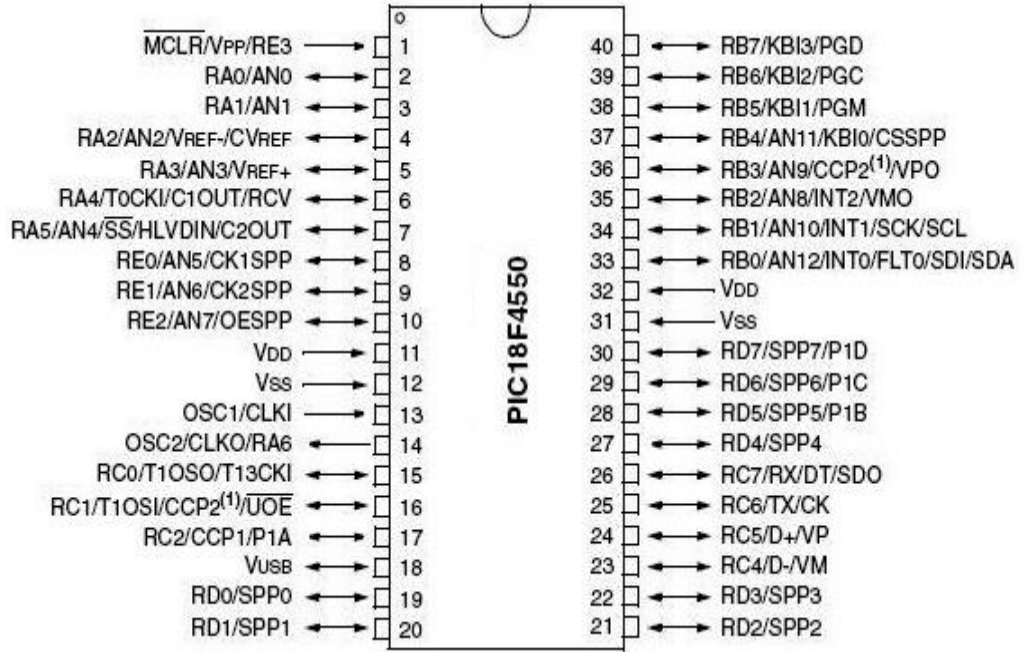


Şekil 3.2. Proteus ARES programı ile baskı devre.

3.1.2. Mikrodenetleyici

Deney setinde otomatik kontrol edilmesi gereken set elemanlarının kontrolü PIC18F ailesinin gelişmiş bir üyesi olan PIC18F4550 seçilerek kullanılmıştır. Kullanılan bu kontrolörün pin diyagramı Şekil 3.3’de verilmiştir. PIC18F4550 diğer tüm PIC18 ailesi mikro denetleyicilerinin sahip olduğu gibi ucuz olmasının yanında yüksek işleme performansına sahip olmakla birlikte yüksek dayanıklılığa ve geliştirilmiş flash program hafızasına sahiptir. Aynı zamanda PIC18F4550’nin tasarımında yapılan geliştirmelerle, yüksek performanslı ve güç hassasiyetli uygulamalarda seçilmesi sağlanmıştır [38,39].

Deney setimizde kullanılan bu mikro denetleyicinin beş adet portu bulunmaktadır. Bunlardan A portu analog işlemlere müsait olan porttur ve bu porta deney setimizde bulunan lineer potansiyometre bağlanmıştır. Bu dönüştürme için 10 bitlik bir çözünürlük kullanılmıştır. Mikro denetleyici bu porttan aldığı bilgiyi dijitale çevirerek PID hesabına sokacaktır. Mikro denetleyicinin B portuna LCD ekran bağlantısı yapılmış ve kullanıcının görmesi istenen unsurlar bu port aracılığıyla LCD ekrana yazdırılmaktadır. C portuna ise pnömatik silindirin konumunu ayarlayacak olan 2/2 yön kontrol valflerinin selenoidleri bağlanmıştır. Aynı anda iki valfte tetiklenecek ve aynı anda tetiği kesilecektir. Mikro denetleyicinin D portunda ise kontrol işlemini gerçekleştireceğimiz botunlar bağlanmıştır. Bu portta dört adet buton bağlantısı bulunmaktadır. Son port olan E portun da ise 5/2 yön kontrol valfinin iki selenoidi bağlanmıştır. Bu valfin selenoidleri silindirin gideceği yöne göre tetiklenecektir [6].



Şekil 3.3. PIC18F4550 Pin diyagramı.

3.1.3. Yazılım

Sistemin kontrolü için kullandığımız mikro denetleyiciyi esnekliği ve kullanım kolaylığı bakımından diğer programlama dillerinden ayrılan CCS C diliyle yapılmıştır.

3.1.4. Gösterge

Deney setinde kullanıcıların bazı unsurlara müdahale edebilmesi adına 4 satırlı 20 karakterli LCD ekran ara yüz olarak tercih edilmiştir ve kontrol panelinin üzerinde bulunmaktadır. LCD ekranın görüntüsü Şekil 3.4'de verilmiştir. Ekran üzerinde Konum, Refrans, KP, KI, KD, Süre gibi parametreler bulunmaktadır. Bunların yanında kullanıcı menüler içerisinde gezinerek bu değerleri değiştirebilme imkânına sahiptir. Bu yapılan değişikliklerin tamamı aynı zamanda ana ekranda görüne bilmektedir. LCD ekranın mikro denetleyiciye bağlantıları B portu üzerinden yapılmıştır.



Şekil 3.4. LCD Ekran.

3.1.5. Kontrol Paneli

140x140x70 mm ebatlarında plastik malzemeden yapılmış bir kutunun üzerine bir adet 4x20 LCD ekran, bir adet enerji açma kapama anahtarı ve dört adet butondan meydana gelen kontrol panelinin içerisinde sistemin beyni niteliğindeki kontrol kartı bulunmaktadır. Kontrol kartına her elektronik birim üzerinden bilgi gelmekte ve bu bilgiler gerekli yönlere işlenerek dağıtılmaktadır. 220V şebeke gerilimi de yine kontrol kutusuna gelmekte ve buradan açma kapama anahtarı vasıtası ile güç kaynağına gönderilmektedir. Yine kontrol kutusunun üzerinde konum zaman verilerinin alınması için bulunan bir seri port bulunmaktadır. Kontrol kutusunun görüntüsü Şekil 3.5’de verilmiştir.



Şekil 3.5. Kontrol kutusu.

3.1.6. Güç Kaynağı

Deney setinde bulunan ve elektrik enerjisiyle çalışan ekipmanların beslemesi için kullanılan devre elemanıdır (Şekil 3.6). Gerek kontrol panelimizde kullanılan elektrik gerekse valfler ve lineer potansiyometre 24V DC gerilim ile çalışmaktadır. Bu nedenden dolayı şebeke gerilimi kullanılamamaktadır. Güç kaynağı 5A 24V DC enerji üretmektedir. Şebekeden gelen enerji hattı kontrol panelinde bulunan bir anahtardan geçirilerek DC güç kaynağına gelmektedir. Anahtar aktif edilince DC güç kaynağımız enerji üretmeye başlayacaktır. Üretilen DC enerji kontrol panelinde bulunan klemenslere gitmekte oradanda deney setine dağılmaktadır. Kablolar kablo kanallarından taşınmaktadır.



Şekil 3.6. 24V Güç kaynağı.

3.1.7. Linear Potansiyometre

Deney setinde pnömatrik silindirin konumunu ölçerek geri besleme yapmak için kullanılan lineer potansiyometre opkon marka LPT model piston tipli 0 – 150 mm strok boyuna sahip toplam boyu 281 mm olan bir potansiyometredir. Potansiyometre $\pm\% 0,05$ lineerliğe, 0 – 5 K Ω arası dirence ve 0 - 5V çıkış gerilimine sahiptir. Kasası 33 x 33 mm ebatlarında ve milinin çapı 6mm dir. Çalışma sıcaklığı -20° ile +80°C arasında değişmekte olup dört adet bağlantı noktası bulunmaktadır. Potansiyometrenin kasası alüminyumdan ve piston kolu çelikten imal edilmiştir. Çalışma hızı 5 m/s ye kadar ulaşabilirken 100×10^6 kez çalışma kabiliyetine sahiptir [40]. Deney setinde kullanılan lineer potansiyometre Şekil 3.7’deki gösterilmiştir.



Şekil 3.7. 150mm lineer potansiyometre.

3.1.8. Mekanik Sistem

Bu kısımda deney setinin mekanik sistemi hakkında bilgi verilmektedir.

3.1.9. Şartlandırıcı

Deney setimizde bulunan pnömatik silindirin hareket etmesinde kullanılan basınçlı havanın basıncının ayarlanarak basıncı havayı zararlı dış etkilerinden arındıran pnömatik devre elemanıdır (Şekil 3.8). Deney setimizde kullanılan şartlandırıcı 0-10 bar basınç arasında çalışabilmektedir. Üzerinde bulunan basınç ayar düğmesi sayesinde değişik basınçlara ayarlayarak farklı testler gerçekleştirilecektir.



Şekil 3.8. Şartlandırıcı.

3.1.10. Yön Kontrol Valfleri

Bu kısımda deney setinde kullanılan yön kontrol valfleri hakkında bilgi verilecektir.

3.1.10.1. 5/2 Yön Kontrol Valfi

Deney setinde pnömatik silindirin yönünü belirleyen valf olan çift selenoid tetiklemeli 5/2 yön kontrol valfi kullanılmaktadır. Bu yön kontrol valfinin 2 adet konumu ve 5 adet bağlantı yolu bulunmaktadır. Sürgülü tip bir yön kontrol valfidir. Konumlar arası geçiş elektriksel tetiklemeyle mümkün olmaktadır. Valfin çalışma basıncı 1,5 bar ile 8 bar basınç arasındadır. Maksimum basıncı ise 12 bardır. Saniyede 5 kez çalışma kabiliyetine sahip olan bu valfin cevap süresi 0,05 saniyedir. 24V DC gerilim ile çalışan bu valfin çalışma sıcaklığı 5° ile 50°C arasındadır. Soketli bir elektriksel bağlantıya ve M5 vidalı bir hava bağlantısına sahiptir [41]. Deney setinde kullanılan 5/2 yön kontrol valfinin resmi Şekil 3.9'da verilmiştir.



Şekil 3.9. 5/2 çift selenoidli yön kontrol valfi.

3.1.10.2. 2/2 Yön Kontrol Valfi

Deney setinde silindirin hassas konumlanması için kullanılan devre elemanıdır. Bu valflerin konum değiştirme süreleri silindirin ölü bölge alanları üzerinde büyük etkisi olacağından ve silindirin konumlanması akımından önemli olacağından yüksek anahtarlama kabiliyeti olan bir yön kontrol valfi kullanılmıştır. Kullanılan valf

aslında üç yollu iki konumludur. Bu valfin 3(R) ile gösterilen yolu tıkanarak 2/2 hale getirilmiştir. Bunun nedeni aynı özelliklerde 2/2 yön kontrol valfinin bulunamaması, bulunsa da maliyetli olmasıdır Yön kontrol valfi normalde kapalı durumdadır ve açılması için elektriksel sinyal gerekmektedir. Kapanması için ise açılması için uygulanan sinyalin kesilmesi yeterlidir çünkü geri dönüş yay ile sağlanmaktadır. Bu yön kontrol valfinin açılması için 2,5 ms yeterli olurken 5ms kapanması için yeterlidir. Valf 24V DC gerilim ile çalışmaktadır ve 0,9 bar ile 8 bar basınç arasında nominal çalışma aralığı vardır. -5°C ile 60°C arasında çalışma sıcaklığı bulunan bu valf ön uyarımlı değil direkt olarak elektrik enerjisiyle kontrol edilmektedir. Dakikada ortalama 100L hava geçirme kapasitesine sahip olan bu valfin elektriksel bağlantıları soket ile ve hava bağlantısı da M6 konektörlerle yapılabilir [42]. Deney setinde kullanılan 2/2 yön kontrol valfinin resmi Şekil 3.10'da verilmiştir.

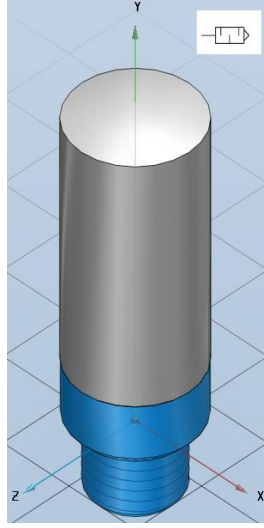


Şekil 3.10. 2/2 selenoid tetiklemeli yay geri getirmeli yön kontrol valfi.

3.1.11. Susturucu

Pnömatik sistemlerde güç üretilmesini sağlayan basınçlı hava işini bitirerek atmosfere tekrardan salınmaktadır. Bu atmosfere bırakma işlemi yön kontrol valflerin tahliye yollarından yapılmaktadır. Bu işlem yapılırken basınçlı hava, yön kontrol valfini terk ederken yüksek bir ses çıkarmaktadır. Buda çalışanları rahatsız etmektedir. Bu sıkıntının giderilmesi yani havanın çıkardığı sesin azaltılması için kullanılan devre elemanlarına susturucu denilmektedir. Yön kontrol valflerinin tahliye çıkışlarına bağlanan susturucu basınçlı havanın çıkış kesitini büyütür

havanın hızını düşürmektedir. Buda havanın çıkardığı sesi azaltmaktadır [1,43]. Susturucu Şekil 3.11’de verilmiştir.



Şekil 3.11. Susturucu resmi.

3.1.12. Pnömatik Silindir

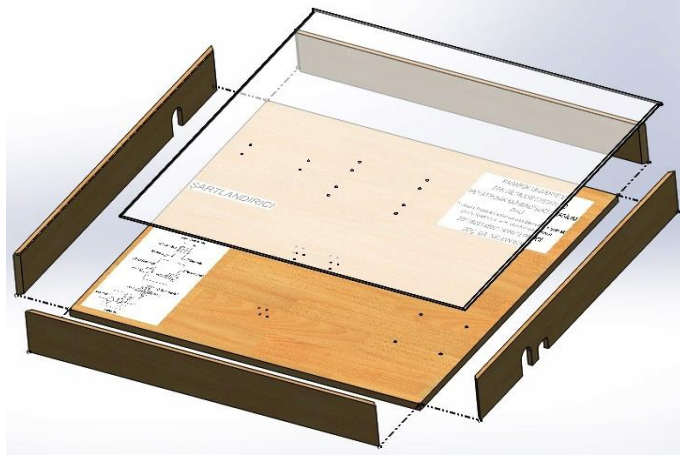
Deney setinde kontrolünü gerçekleştireceğimiz devre elemanı olan pnömatik silindir çift etkili asimetrik olarak tanımlanabilir (Şekil 3.12). Bu silindirin 32 mm çapı ve 100 mm strok boyu mevcuttur. Alüminyumdan yapılan gövdesi ve çelikten yapılan bir piston koluna sahiptir. Çift taraftan yastıklama özelliğine sahip olan bu pnömatik silindirin hava bağlantıları M6 konektör ile yapılabilir. Silindir tetiklenmeden ki boyu 142mm iken strok sonuna ulaştığında boyu 242 mm olmaktadır. Silindir bulunduğu yere bağlantı aparatlarıyla bağlanmaktadır. Çalışma basıncı 1 bar ile 8 bar basınç arasındadır [41]. Piston kulunun ucunda bulunan diş çekilmiş kısımdan uygun bağlantı aparatıyla sistemde bulunan lineer potansiyometreye bağlanmıştır.



Şekil 3.12. Ø32 mm x 100 mm çift etkili pnömatik silindir.

3.1.13. Deney Seti Dolabı

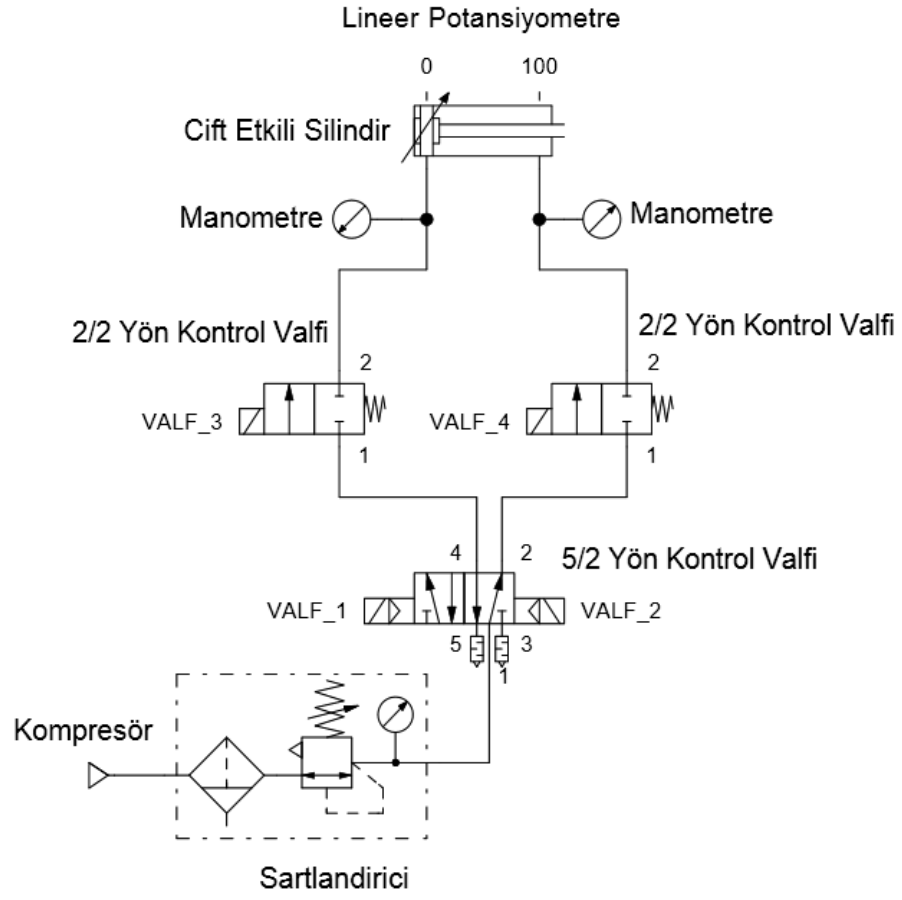
Deney setinin içerisinde bulunduğu taşıma kolaylığı sağlayan ve dış etkilerden koruyan elemandır. Alt tarafı ve dörtkenarı ahşaptan yapılmıştır. Üst kısmı ise içerisinde görünebilmesi adına şeffaf malzemeden yapılmıştır (Şekil 3.13).



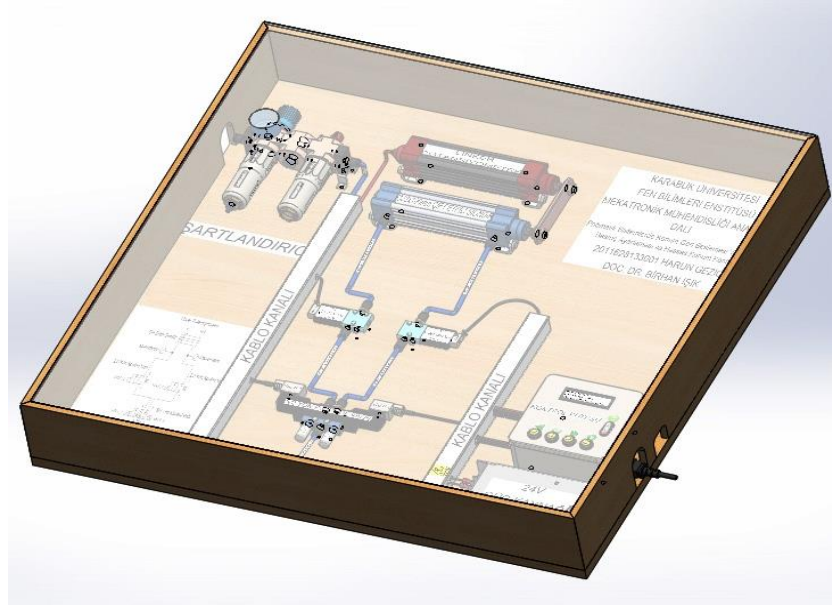
Şekil 3.13. Deney seti dolabı.

3.1.14. Gerçekleştirilen Pnömatik Sistem ve Deney Seti

Deney setinde bulunan pnömatik sistem bir adet şartlandırıcı, bir adet 5/2 çift selenoid tetiklemeli yön kontrol valfi, iki adet yüksek anahtarla hızına sahip 2/2 selenoid tetiklemeli yay geri dönüşlü yön kontrol valfi ve bir adet çift etkili tek kollu her iki yönden yastıklamalı Ø32x100 mm silindirden oluşmaktadır (Şekil 3.14, 3.15).



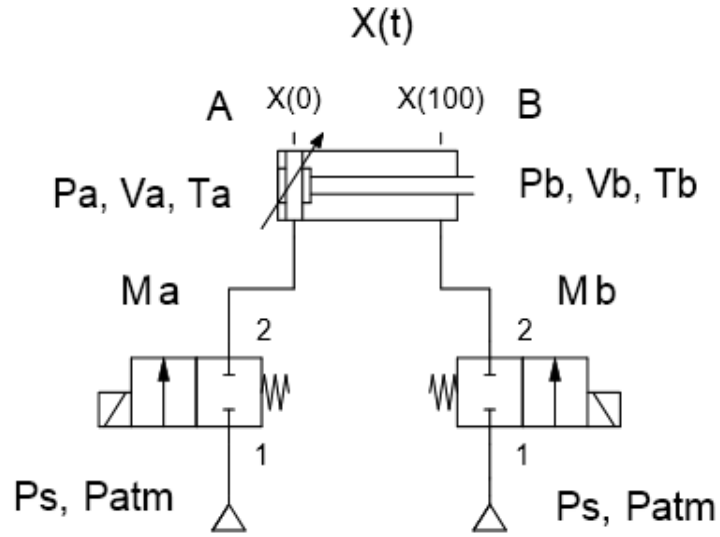
Şekil 3.14. Pnömatik sistemin sembolik gösterimi.



Şekil 3.15. Deney seti.

3.1.15. Pnömatik Sistemin Matematiksel Modeli

Havanın sıkıştırılabilir olmasından dolayı pnömatik sistemler lineer olmayan yapıdadırlar ve kesin bir matematiksel model çıkarmak zordur. Zaten PID kontrol yordamını kullanarak bu lineer olmayan sistemin tanımlanamayan yani modellenemeyen etkileri bertaraf edilmeye çalışılmaktadır. Bundan önce yapılan çalışmalarda kullanılan ve genel kabul gören bir matematiksel model sistemin davranışı hakkında bir fikir vermesi adına burada paylaşılacaktır (Şekil 3.16). Amaç sistemin modellenmesi değil bilgi vermesidir [44].



Şekil 3.16. Pnömatik sistem görünümü.

Bu diyagramda yola çıkarak silindirin her iki tarafına uygulanan kütleli debi aşağıdaki gibi ifade edilebilir. Bu aynı zamanda valflerin matematiksel modelidir [44].

$$M_a = \frac{C_{q_a} \cdot C_{m_a} \cdot A_a \cdot P_s}{\sqrt{T_a}} \quad (3.1)$$

$$C_{m_a} = f \frac{P_a}{P_s} \quad (3.2)$$

$$M_b = \frac{-C_{q_b} \cdot C_{m_b} \cdot A_b \cdot P_b}{\sqrt{T_b}} \quad (3.3)$$

$$C_{mb} = f \frac{P_{atm}}{P_b} \quad (3.4)$$

Burada P_a ve P_b silindirin A ve B bölgelerindeki basıncı göstermektedir. P_s besleme basıncını P_{atm} ise atmosfer basıncını simgelemektedir. T_a ve T_b her iki bölgedeki sıcaklıkları göstermektedir. A_a ve A_b silindir pistonunun ilgili bölmelerdeki alanlarını göstermektedir. C_m kütleli akış parametresini ve C_q ise boşaltım kat sayısını göstermektedir [44].

Havanın sıkıştırma birliği hesaba katılarak yapılan bu modellemede silindirin her iki tarafına da giren (M_a) ve çıkan (M_b) havanın kütleli debi ifadeleri verilmiştir [44].

$$M_a = \frac{1}{RT_a} \left\{ P_a \frac{dV_a}{dt} + \frac{V_a}{\lambda} \frac{dP_a}{dt} \right\} \quad (3.5)$$

$$-M_b = \frac{1}{RT_b} \left\{ P_b \frac{dV_b}{dt} + \frac{V_b}{\lambda} \frac{dP_b}{dt} \right\} \quad (3.6)$$

Burada λ özgül ısı oranını, R gaz sabitini, V_a ve V_b ilgili silindir bölgelerinin hacimlerini ifade etmektedir. Deney setinde yük ile bir test yapılamayacağından dolayı yük modelinin verilmesine gerek yoktur. Burada boru hacimleri v_b . gibi şeylerin ihmal edildiği görülmektedir [44].

3.1.16. Deney Setindeki Basınç Kayıpları

Pnömatik sistemlerde kullanılan elemanlar kompresörden gelen basınçlı havaya karşı bir direnç oluşturmaktadır. Bu nedenden dolayı sistem üzerinde kullanılan ekipmanlar kompresörden gelen havanın basıncını iş elemanına gidene kadar bir miktar düşürmektedir. Bu basınç kaybının bilinmesi verimli bir çalışma düzeneği kurmak için faydalı olacaktır. Basınç kayıpları özellikle basınçlı havanın iletildiği hortumlarda meydana gelmektedir. Hortumlarda meydana gelen basınç kaybını denklem 3.7'de verilen formül ile hesaplanabilir [45].

$$\Delta p = \frac{1 \times 10^{1,85} \times 450}{d^{5 \times p}} \quad (3.7)$$

Bu formülde Δp hortumda meydana gelen basınç kaybını bar cinsinden gösterirken, l hortumun boyunu metre cinsinden göstermekte, θ basınçlı havanın debisini litre / saniye cinsinden göstermekte, d hortumun iç çapını milimetre cinsinden göstermekte ve p 'de çalışma basıncın bar cinsinden göstermektedir. Deney setinde kullanılan hortumun uzunluğu $l = 0,7 m$, kullanılan hortumun iç çapı $d = 4 mm$, çalışma basıncı $p = 6 bar$ ve son olarak basınçlı havanın debisi $\theta = 4,5 l/s$ 'dir [43]. Bu verilerin formülde yerine yazılması sonuç denklem 3.8 ortaya çıkmaktadır.

$$\Delta p = \frac{0,7 \times 4,5^{1,85} \times 450}{4^5 \times 6} \quad (3.8)$$

Gerekli işlemler yapıldığında deney setindeki toplam basınç kaybının denklem 3.9'daki gibi hesaplanmaktadır.

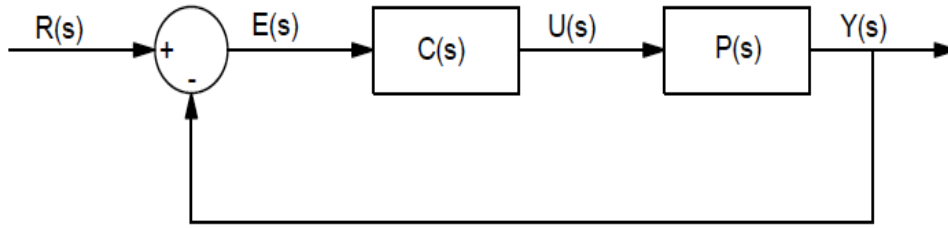
$$\Delta p = 0,828 \text{ bar} \quad (3.9)$$

3.2. PID KONTROLÖR

Kontrol algoritmasına ihtiyaç duyulan bilimsel veya endüstriyel alanlarda en çok kullanılan kontrol yöntemleri arasında PID gösterilebilir. Çok tercih edilmesinin sebepleri arasında kontrol edilecek olan değişken sayısının az olması ve bu değişkenlerin anlamlı bir şekilde tanımlanabilir olmasıdır. Basit bir algoritmaya sahip olması uygulama açısından düşük maliyetli olmaktadır [46]. Bu kontrol yönteminin isminde bulunan harflerin her bir tanesinin bir anlamı bulunmaktadır. Bunlardan P (Proportional) oransal kazancı simgelerken, I (Integral) integral kazancı simgelemekte ve D (Derivative) türevsel kazanç anlamında kullanılmaktadır. Kontrol edilecek olan sistemin özellikleri göz önüne alınarak farklı kontrol yöntemleri uygulanabilir. Bunlar P, PI, PD, PID olarak dört guruba ayrılabilir. Bu kontrol yöntemlerinden en iyi sonucun PID kontrolün vermesi beklenir [47,7]. Ancak bazı durumlarda diğer P, PI, PD kontrollerde iyi sonuçlar verebilir. Bu gibi durumlarda en basit yordamın seçilmesi gerekmektedir. Bunun sebebi kontrol yordamının karmaşıklığını azaltmaktır [38].

3.2.1. PID Kontrolörün Yapısı

PID kontrol sisteminin yapısı genel olarak Şekil 3.17’de gösterildiği gibidir. Burada $R(s)$ ile gösterilen kontrol edilecek olan sisteme uygulanan sinyaldir. $E(s)$ ile gösterilen ise sistemin giriş referans değeri $R(s)$ ile kontrol edilen sistemin cevabı olan $Y(s)$ arasındaki farktır. PID denetleyicisi ise $C(s)$ ile ifade edilmiştir. PID denetleyicisinin çıkışındaki sinyal ise $U(s)$ olarak gösterilmektedir. $P(s)$ Kontrol edilecek sistemi ve $Y(s)$ de sistemin cevabını göstermektedir [46].



Şekil 3.17. PID kontrol sisteminin genel yapısı.

PID denetleyicisinin transfer fonksiyonu ise Denklem 3.7’de verildiği gibidir [46].

$$C(s) = \frac{U(s)}{E(s)} \quad (3.7)$$

PID kontrolörün s domeninde oransal kazanç, integral kazanç ve türevsel kazanç olarak ifadesi de Denklem 3.8’de verildiği gibi olur.

$$C(s) = K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s \quad (3.8)$$

Bu ifade biraz düzenlenecek olursa

$$C(s) = \frac{K_d s^2 + K_p s + K_i}{s} \quad (3.9)$$

Denklem 3.9’deki gibi olur [38].

Burada K_p oransal kazancı, K_d türevsel kazancı ve K_i integral kazancı göstermektedir. Burada $E(s)$ ile ifade edilen referans değeri $R(s)$ ile sistemin çıkış değeri $Y(s)$ arasındaki hata PID fonksiyonuna gönderilerek $U(s)$ nin hesaplanması sağlanır. Bu sinyal ise denklem 3.10'da verildiği gibidir [38].

$$u(t) = K_p \cdot e + K_d \cdot \frac{de}{dt} + K_i \int e \cdot dt \quad (3.10)$$

3.2.2. PID Kontrolörlerin Özellikleri

PID kontrolörde her bir harfin ayrı bir kazancı ifade ettiğini daha önce söylenmişti. Bu parametrelerin hangi konuda kontrole yardım ettikleri incelenecektir. P ile ifade edilen oransal kazanç sistemin yükselme zamanını azaltan yönde etki gösterirken sürekli rejim hatasını da aynı şekilde azaltır ancak hiçbir zaman ortadan kaldırmaz. Yükselme zamanı sistemin cevabının referans değerinin %90'nına varması için geçen zaman olarak tanımlanırken sürekli rejim hatası ise sistem cevabının referans değere göre yaptığı sürekli ve sabit olan hatadır. Bunun yanında P kontrol aşmayı artırırken yerleşim zamanında azda olsa bir düşürme meydana getirir. Burada aşma ile anlatılmak istenen sistemin cevabının referans değerini ne kadar üzerine çıkmış yani aşmış olduğudur. Yerleşim zamanı ise sistem cevabının referans değere hatalı dahi olsa ne kadar zaman sonra oturacağını ifade etmektedir.

I ile gösterilen integral kontrolör sistemin yükseliş zamanını azalttığı ve sürekli rejim hatasını ortadan kaldırdığı görülmektedir. Bunun yanında integral kontrolör aşımı ve yerleşim zamanını artırma yönünde etki yapmaktadır.

D ile gösterilen türevsel kontrolör ise sistemin çıkış cevabının aşımın ve yerleşim zamanını azaltıcı yönde etki yaparken diğer parametreler olan yükseliş zamanı ve sürekli rejim hatasında küçük değişiklikler ortaya koyar ve sistemi daha kararlı hale getirir.

Bu etkileri tablo halinde şöyle özetlenebilir (Çizelge 3.1).

Çizelge 3.1. Kapalı çevrim sisteminde kontrolörlerin etkileri [38].

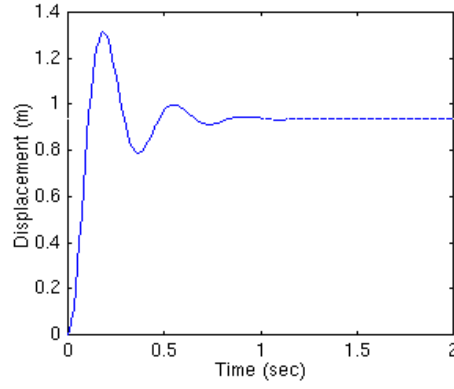
Kapalı Çevrim Cevabı	Yükseliş Zamanı	Aşım	Yerleşim Zamanı	Sürekli Rejim Hatası
K_p	Azalır	Artar	Küçük Oranda Değişir	Azalır
K_i	Azalır	Artar	Artar	Elenir
K_d	Küçük Oranda Değişir	Azalır	Azalır	Küçük Oranda Değişir

Daha önce bahsedildiği gibi bu kontrolörler farklı gruplar halinde bir araya getirilerek farklı kontrol algoritmaları ortaya çıkarılır. Bunlar kısaca ifade edilecek olursa P, PI, PD, PID olarak isimlendirilebilir. Bu kontrol yöntemleri deney setine de uygulanacağından bu yordamların incelenmesinde fayda vardır.

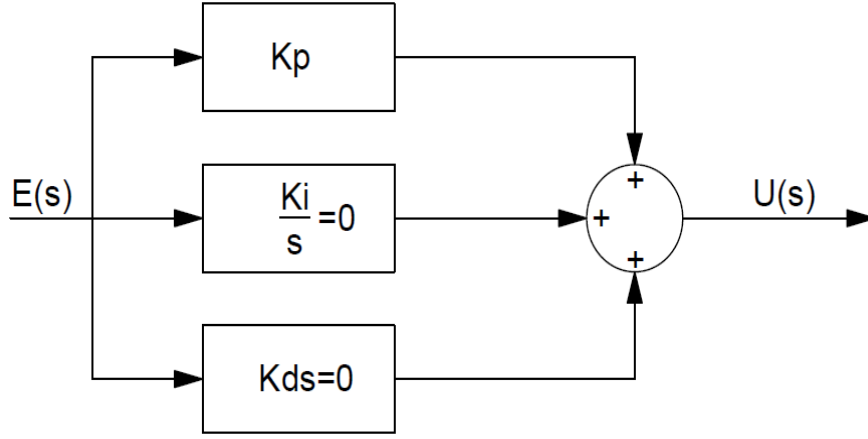
3.2.3. Oransal Kontrol

Sisteme uygulanan referans değeri ile sistem cevabı arasında oransal bir etkileşimin olduğu kontrol yordamıdır. Bu kontrol yordamında K_p kat sayısı ayarlanarak sistemin referansa oturması sağlanabilir ancak bu sürekli rejim hatasını içerisinde barındıran bir oturma durumudur. Sistem cevabı tam olarak referansa oturmamakla birlikte sabit bir değere oturacaktır. Bu durumda sistem kararlı kabul edilebilir. K_p kat sayısı arttırılırsa eğer sistemin yükselme zamanı her ne kadar kısalsa da salınımlı sinüzoidal hataya düşme olasılığını arttırmaktadır. Bu kontrolde bilinmesi gereken en önemli unsur sistemin mutlaka hatalı bir cevap vereceğidir. Bu hata grafiklerde referans değerinin üzerinde ve altında aralık olarak verilir [38,39]. P kontrol yönteminde sistem davranışı Şekil 3.18'deki gibi olmakta ve sistemin diyagramı da Şekil 3.19'deki gibi olmaktadır. P kontrolörün ürettiği çıkış sinyali Denklem 3.11'de verilmiştir.

$$u(t) = K_p \cdot e \quad (3.11)$$



Şekil 3.18. P kontrol sistem cevabı [38].

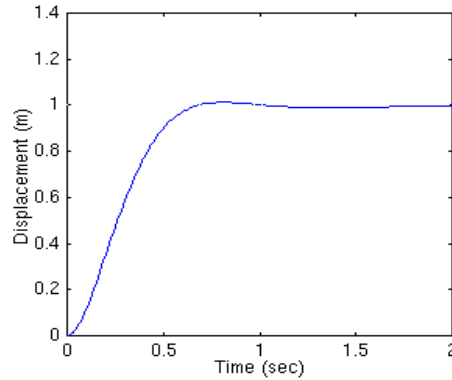


Şekil 3.19. P blok diyagramı [38].

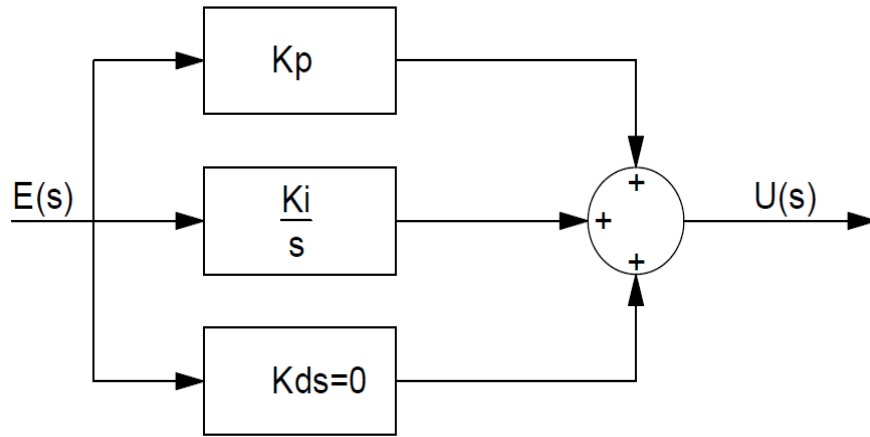
3.2.4. Oransal – İntegral Kontrol

P kontrolde giderilemeyen sürekli rejim hatasını elemine etmek için kullanılan kontrol yöntemidir. İntegral kontrolörü sistemin içerisine dâhil ederek referans değer ile sürekli rejim hatası arasındaki farkı sıfırlamaya çalışmaktadır. Bu kontrolörün aşmayı ve yerleşim zamanını arttırdığı göz önünde bulundurulmalıdır. Kötü etkilerini bertaraf etmek için türevsel kontrolünde kontrol sistemine dâhil edilmesi gerekebilir. Sistemin cevabı her ne kadar referansa oturmuş olarak gözüksün de kontrolör tarafından sisteme sinyal gönderilemeye devam edilir. Buda sistemin kararlı yapıya geçmemesine sebep olabilir [38,39]. PI kontrol yönteminde sistem davranışı Şekil 3.20'deki gibi olmakta ve sistemin diyagramı da Şekil 3.21'deki gibidir. PI kontrolörün ürettiği çıkış sinyali Denklem 3.12'de verilmiştir.

$$u(t) = K_p \cdot e + K_i \int e \cdot dt \quad (3.12)$$



Şekil 3.20. PI kontrol sistem cevabı [38].



Şekil 3.21. PI blok diyagramı [38].

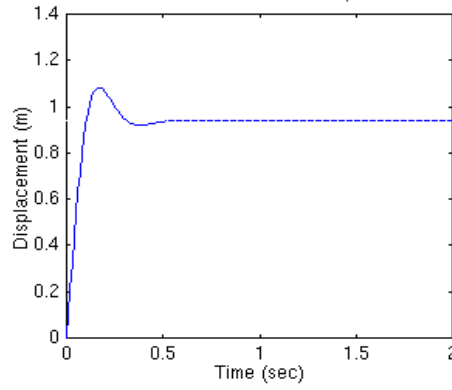
3.2.5. Oransal - Türevsel Kontrol

I kontrolör tarafından sürekli rejim hatası giderilen sistem cevabının osilasyona düşmesini engellemek ve kontrolörün belirli bir bant aralığında hatayı tolere ederek sisteme sinyal göndermemesinin sağlanması gerekmektedir. Bu sistemin kararlı hale geçmesine yardımcı olacağı gibi aşım ve yerleşim parametrelerinde iyileştirmede sağlayacaktır. Ancak belirtildiği gibi hatanın türevinin alınması yüzünden oluşacak duyarsızlık sistemin hassasiyetini etkileyebilir. Kullanıcı burada bu hata oranını kendisi belirlemeli ve ona göre sistemini veya Kd katsayısını düzenlemelidir. Bu

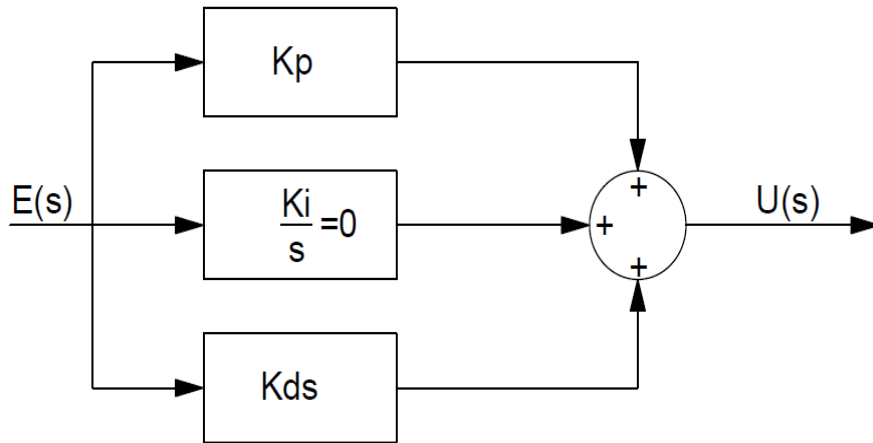
kontrolör yordamı hatanın yönünü önceden belirleyebilme özelliğine sahiptir ve bunun önlemini önceden alabilir [38,39].

PD kontrol yönteminde sistem davranışı Şekil 3.22'deki gibi olmakta ve sistemin diyagramı da Şekil 3.23'deki gibi olmaktadır. PD kontrolörün ürettiği çıkış sinyali Denklem 3.13'de verilmiştir.

$$u(t) = K_p \cdot e + K_d \cdot \frac{de}{dt} \quad (3.13)$$



Şekil 3.22. PD kontrol sistem cevabı [38].

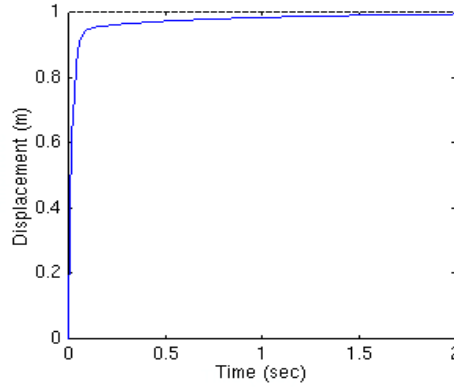


Şekil 3.23. PD blok diyagramı [38].

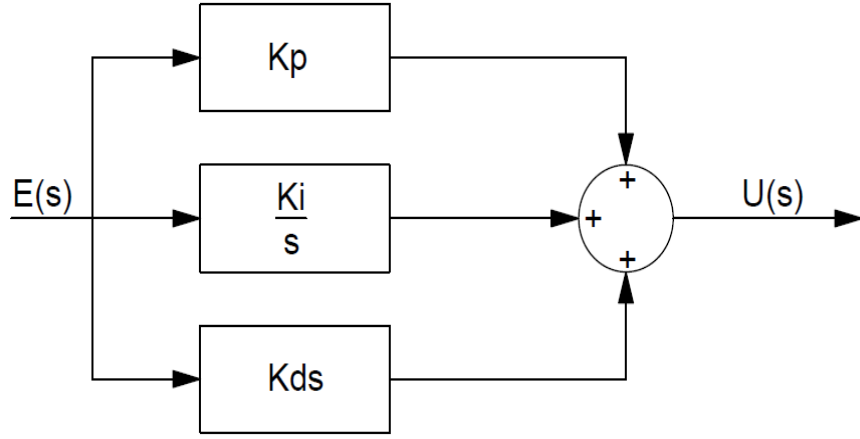
3.2.6. Oransal – İntegral – Türevsel Kontrolör

PD ve PI kontrolörlerin kendilerine has olan güzel yönlerinin var olmasına karşın sistemin davranışı üzerinde olumsuz etkilerde meydana getirebilecek davranışlara sahiptir. Bu nedenden dolayı iki kontrol yönteminin birleştirilerek hatalı kısımlarının telafisi yapılabilir. En gelişmiş PID kontrol yordamı olan bu teknikte unutulmaması gereken değişkenleri atarken bir değişkenin diğer iki değişkenin faydalı ve zararlı özelliklerini etkileyeceğidir. Diğer yordamlara göre bu kontrol çeşidinin daha iyi sonuç vermesi beklenmekle birlikte kimi zaman istenilen sonuç diğerleriyle de yakalanabilir [38,39]. PID kontrol yönteminde sistem davranışı Şekil 3.24'deki gibi olmakta ve sistemin diyagramı da Şekil 3.25'deki gibi olmaktadır. PID kontrolörün ürettiği çıkış sinyali Denklem 3.14'de verilmiştir.

$$u(t) = K_p \cdot e + K_d \cdot \frac{de}{dt} + K_i \int e \cdot dt \quad (3.14)$$

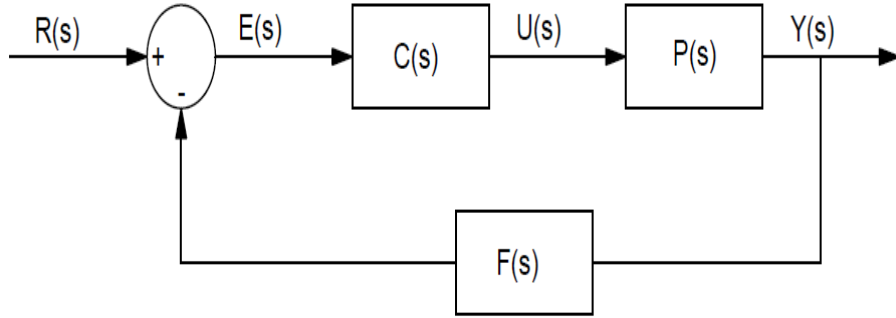


Şekil 3.24. PID kontrol sistem cevabı [38].



Şekil 3.25. PID blok diyagramı [38].

Gerçekleştirilen deney setinde bulunan ana gurupları blok diyagram halinde şu şekilde gösterilebilir.



Şekil 3.26. Deney seti blok diyagramı [38].

Böyle bir sistemin transfer fonksiyonu ise denklem 3.15’de olduğu gibi ifade edilebilir.

$$TF = \frac{PID.Plant}{1+PID.Plant.Feedback} \quad (3.15)$$

3.3. SİSTEMİN ÇALIŞMASI

Pnömatik deney setinin kontrol panelinde bulunan enerji anahtarı açık konuma getirildiğinde deney setindeki tüm elemanlara enerji verilecek ve deney setinin kontrol kartı mevcut verileri hafızasına alacaktır. Deney setinin kontrol panelinde 1 adet LCD ekran 4 adet buton mevcuttur. LCD ekran yapacağımız işlemlerin

görüntüleneceği yerdir. Kontrol panelinde bulunan 4 adet buton ise 2 adet yön, 1 adet onay ve 1 adet başlatma butonundan ihtiva etmektedir. Yön tuşlarının üzerinde “←,→” işaretleri mevcuttur ve menüler arasında gezinme vazifesi görmektedir. Onaylama butonun üzerinde ise “√” işareti mevcuttur ve ilgili menünün seçilmesi işlemini görmektedir. Başlatma butonun üzerinde ise “»” işareti mevcuttur ve deney setinin işleme başlamasını sağlamaktadır (Şekil 3.27).



Şekil 3.27. Kontrol paneli görünümü.

Deney setine enerji verildiğinde operatör kontrol panelinde mevcut verileri kullan ya da hafızayı sıfırla şeklinde iki adet seçenek belirecektir (Şekil 3.28).



(a)



(b)

Şekil 3.28. Açılış ekranı a) Son ayarları kullan b) Sistem ayarları sıfırlanması.

Bu seçeneklerden herhangi birisini seçmek için kontrol panelinin üzerinde bulunan yön tuşlarından yararlanılarak seçim yapılacak opsiyonun üzerine gelinir. Bu seçimin anlaşılabilmesi için ilgili opsiyonun yanında “>” işareti mevcuttur. Eğer mevcut verileri kullan seçeneği seçilecekse “>” işareti bu seçeneğe getirilerek “√” işareti bulunan onaylama tuşuna basılır. Bu seçenek seçildiğinde sistem bir önceki çalışmadaki Referans değeri, KP, KD, KI değerlerini otomatik olarak kontrol biriminin hafızasına alacaktır. Eğer hafızayı sıfırla seçeneği seçilir ise kontrol birimi hafızasındaki referans değeri, KP, KD, KI değerlerini silecektir (Şekil 3.29).

Hangi seçenek seçilirse seçilsin deney setindeki çift etkili asimetrik pnömatik piston sıfır konumuna getirilecek ve çalışmak için kullanıcının gireceği komutları bekleyecektir.



Şekil 3.29. Sistem ayarlarının silinmesi.

Bu durumda kontrol paneli beklerken kontrol panelinin üzerindeki LCD ekranda Konum, Referans, Puls, KP, KD, KI, değerleri yazmaktadır (Şekil 3.30).



Şekil 3.30. Sistem ana ekranı.

Konum değeri çift etkili pnömatik pistonun bulunduğu konumu göstermektedir. Deney seti kendini otomatik olarak sıfır konumuna aldığı için ilk çalışmada bu değer sıfırı gösterecektir. Referans değeri hariçten kullanıcının girdiği, çift etkili pnömatik pistonun gitmesi istenilen değeri göstermektedir. Eğer deney seti ilk çalıştırılırken mevcut verileri kullan opsiyonu seçildiyse bir önceki çalışmadan kalan değer burada yazacaktır. Ters durumda yani deney seti ilk çalıştırılırken hafızayı sıfırla opsiyonu seçildiyse bu değerde tıpkı konum değeri gibi sıfır gösterecektir. Tıpkı referans değerinde olduğu gibi kontrol yöntemi olarak kullandığımız PID değişkenlerinin de (KP, KD, KI) değerleri ya bir önceki çalışmadan kalan değeri ya da sıfırı gösterecektir. Süre değeri ise sürekli hesaplanarak ekrana yazdırılan valflerimizin açık kalma süresini gösteren, birimi milisaniye olan değerdir. Bu değer referans değer ile konum arasındaki farka göre sürekli hesaplanmaktadır. Referans değeri ile konum değerleri birbirine eşit ise sıfır eğer değil ise farklı sayılar bu kısımda yazacaktır. Bu kısım LCD ekranımızın ana ekranıdır.

Deney setinin LCD ekranı ana ekrandayken kontrol panelindeki onay “√” butonuna basıldığında menüye girilmiş olur. Menü 4 opsiyondan meydana gelmektedir. Bu dört opsiyon ekranda teker teker yer alır. Opsiyonlar arasında gezinebilmek için yön tuşları “←,→” kullanılmalıdır. İlk opsiyon olarak ekrana referans değeri gelir. Bu yazı ekranda yazarken tekrar onay tuşuna “√” basılırsa referans değerini girebileceğimiz bir menü daha açılır (Şekil 3.31).



(a)



(b)

Şekil 3.31. Sistem referansının ayarlanması a) Referans menüsü b) Referans detay.

Bu menüde iken ekranın üst kısmında referans değeri yazısı ve hemen yanında referans değerinin sayısal ifadesi yer almaktadır. Ekranın alt kısmında ise menü ve ana menü olmak üzere iki adet opsiyon daha vardır. Yön tuşlarıyla “←,→” bu üç opsiyon arasında gezerek referans değerin üzerine gelindiğinde tekrar onay tuşuna basılır ise referans değeri aktif edilmiş olur. Bundan sonra yön tuşlarıyla referans değeri artırılıp azaltıla bilinir. İstenilen değer ayarlandığında tekrar onay tuşuna basılarak daha önce aktif edilen referans değeri pasif edilir ve artık yön tuşlarıyla diğer opsiyonlara geçiş yapıla bilinir. Eğer burada ok tuşlarıyla ana menünün üzerine gelerek onay tuşuna basılırsa LCD ekranın ana menüsüne dönlür. Diğer seçenek olan menüye ok tuşlarıyla gelinir ve onay tuşuna basılır ise 4 opsiyonlu menü ekranına tekrardan dönlmüş olunur.

Ok tuşlarıyla tekrardan menü yazısının üzerine gelinip onay tuşuna basıldığında ekranda yine sadece referans değeri yazısı yazıldığı görülür. Bu durumdayken yön tuşlarına “←,→” basılır ise ekranın değışeceği gözlenecektir. LCD ekranda referans değeri yazısı silinecek ve yerine KP değeri yazılacaktır. Ekranda KP yazılı iken onay tuşuna “√” basıldığında KP değerini girmek için yeni bir ekran daha açılacaktır (Şekil 3.32).



(a)



(b)

Şekil 3.32. Kp kazanç değerinin ayarlanması a) Kp menü b) Kp menü detay.

Bu ekranda referans değer ayarlandığı ekranda olduğu gibi alt kısımda menü ve ana menü opsiyonları mevcuttur. Üst kısımda ise KP yazısı ve KP'nin sayısal değeri mevcuttur. Yön tuşlarıyla “←,→” KP yazısının üzerine gelerek onay tuşuna “√” basılır ise KP'nin sayısal değeri aktif edilecektir. Yine yön tuşlarıyla “←,→” bu değer artırılıp azaltıla bilinecektir. İstenilen değere ayarlandıktan sonra onay tuşuna “√” basılarak değer pasif hale getirilebilir. Yön tuşlarıyla “←,→” yine ana menü yazısının üzerine gelinerek onay tuşuna “√” basılır ise ana ekrana dönülebilir. Eğer yön tuşlarıyla menü yazısının üzerine gelinerek onay tuşuna basılır ise tekrardan menüye dönülecek ve ekranda KP yazısı belirecektir. Bu ekrandayken yön tuşlarına basılır ise aynı KP değerinin ayarlanması gibi KD ve KI değerlerine ayarlanabilir (Şekil 3.33), (Şekil 3.34).



(a)



(b)

Şekil 3.33. Kd kazanç değerinin ayarlanması a) Kd menü b) Kd menü detay.



(a)



(b)

Şekil 3.34. Ki kazanç değerinin ayarlanması a) Ki menü b) Ki menü detay.

Bu değerlerin tamamı ayarlandıktan sonra ana menü yazısının üzerine gelinerek onay tuşuna basılır ise ana ekrana dönmüş olunur. Ana ekranda az önce yaptığımız ayarlamaların sayısal değerleri görülebilir. Bunun ile birlikte konum ile referans arasındaki farka göre hesaplanan değer Süre yazısının karşısında yazılacaktır. Bu değer daha önce vurgulandığı gibi yön kontrol valflerinin milisaniye cinsinden açık kalma süresidir.

Sisteme elektrik verilerek açma kapama anahtarı “on” konumuna getirildiğinde daha öncede belirtildiği gibi ekranda iki adet seçenek belirecektir. Burada beliren seçeneklerden “hafızayı sıfırla” seçilirse daha önceki çalışmalarımızda ayarlanmış olan “referans değeri, KP, KD, KI” değerleri silinerek sıfırlanacaktır. Diğer seçenek olan mevcut verileri kullan seçilirse daha önceden yapılan çalışmalardaki veri tekrardan hafızaya aktarılacaktır. Eğer kontrolör olarak kullandığımız PIC’in yazılımıyla herhangi bir oynama yapıldı ise hafızayı sıfırla seçeneğini seçilmesinde fayda olacaktır. Aksi durumda istenilen seçenek seçilebilir. Herhangi bir seçenek seçildikten sonra onaylama tuşuna basıldığında ana ekranımız karşımıza gelecektir.

Bu dakikadan sonra daha önce bahsedilen şekilde ayarlamalar yapılabilir. Menüün ilgili kısmından ”referans değeri” değiştirilebilip 0 mm ile 100 mm arasında bir değer seçilmiş olsun. Bu değerın 0 mm ile 100 mm arasında olmasının sebebi çift etkili pnömomatik pistonun strok boyunun 100 mm olmasıdır. Daha sonra istenilen

değerde “KP, KD, KI” değerleri de yine menünün ilgili kısmından ayarlanabilir. Ayarlamalar bittikten sonra “ana menü” sekmesinden ana ekrana dönlür. Girilen bütün değerler ana ekranda görölmektedir. Girilen değerlerin kontrolü bu ekrandan yapılabilir. Eğer eklenecek herhangi bir şey kalmadıysa “başlatma butonuna basılır.

Kontrol algoritmamız ilk önce pistonun durduğu yeri yani “konum” bilgisi alarak girdiğimiz “referans değeri” ile kıyaslayacaktır. Bu kıyaslama sonucunda “referans değeri”, “konum” dan büyük ise bu pistonun 0mm den 100mm ye doğru hareket edeceği anlamına gelir. Sistemde ilk önce “valf 1” olarak adlandırılan 5/2 çift selenoid tetiklemeli yön kontrol valfinin 1-4 nolu (P-A) yollarını bağlayacak olan valfin çalışma yönüne göre solundaki selenoid tetiklenecektir. Daha sonra kontrol sırası pistonun ileri ve geri yönde hareket ettirecek girişlerinde bulunan 2/2 yüksek hızlı anahtarlama kabiliyetine sahip selenoid tetiklemeli yay geri dönlü 2 adet yön kontrol valfine gelecektir. Bu valflerin herhangi bir açılma sırası söz konusu değildir aynı anda açılıp aynı anda kapanarak, pistonun yönüne göre giren hava da çıkan hava da kontrol edilecektir. Aksi takdirde yani sadece pistonu giren ya da çıkan hava kontrol edilirse havanın sıkıştırılabilme özelliğinden dolayı ve pistonun ön ve arka piston kol çaplarının aynı olmamasından dolayı pistonun içinde basınç farklılıkları meydana gelmektedir. Bu sonuca testler sırasında varılmıştır ve kontrol yöntemi hem giren hem de çıkan havayı kontrol etme şekline evrilmiştir. Birkaç satır önce bahsedilen 2/2 yüksek anahtarlama kabiliyetine sahip yön kontrol valfinin kullanılmasının sebebi de aynıdır. Yani daha hızlı anahtarlama daha iyi oturma zamanı ve daha yüksek hassasiyet ile ölü bölgenin düşmesine yardımcı olacaktır.

2/2 yön kontrol valfimizin açık kalma süresi PID veya çeşitleri tarafından bir algoritma vasıtası ile hesaplanarak valflere aktarılmaktadır. Pnömatik sistemlerin hava ile çalışmasından dolayı ve havanın sıkıştırılabilmesi ve bununla birlikte kullanılan pistonların asimetrik olması pnömatik sistemleri lineer olmayan sistemler gurubuna sokmaktadır. Lineer olmayan bir sistem kontrol edilmeye çalışıldığı unutulmadan 2/2 yön kontrol valfinin açık kalma süresi sürekli olarak hesaplanarak valflere süre aktarılmalıdır.

Bu bilgi sürekli olarak aktarılırken pnömatik pistonun 1'nolu girişinden giren hava "valf 3 olarak isimlendirilen 2/2 yön kontrol valfi tarafından kontrol edilecektir. Bu hattın çalışma yönüne göre basınç hattı olduğu unutulmamalıdır. Bu basınç hattı tabiri klasik pnömatik yöntemlerdeki manasıyla değildir. Bu tanımlamanın nedeni pistonun yönünün anlaşılması içindir, çünkü pistonun çıkış yani egzoz tarafında da (2'nolu giriş) basınçlı havanın tahliyesi vardır. Klasik pnömatik yöntemlerde egzoz tarafında herhangi bir basınçtan bahsedilemez. Pistonun 2'nolu girişine bağlı olan "valf 4" olarak adlandırılan 2/2 yön kontrol valfi de çalışma yönüne göre çıkan havayı kontrol edecektir. Bu iki yön kontrol valfi aynı andan açılıp aynı anda kapanmaktadır.

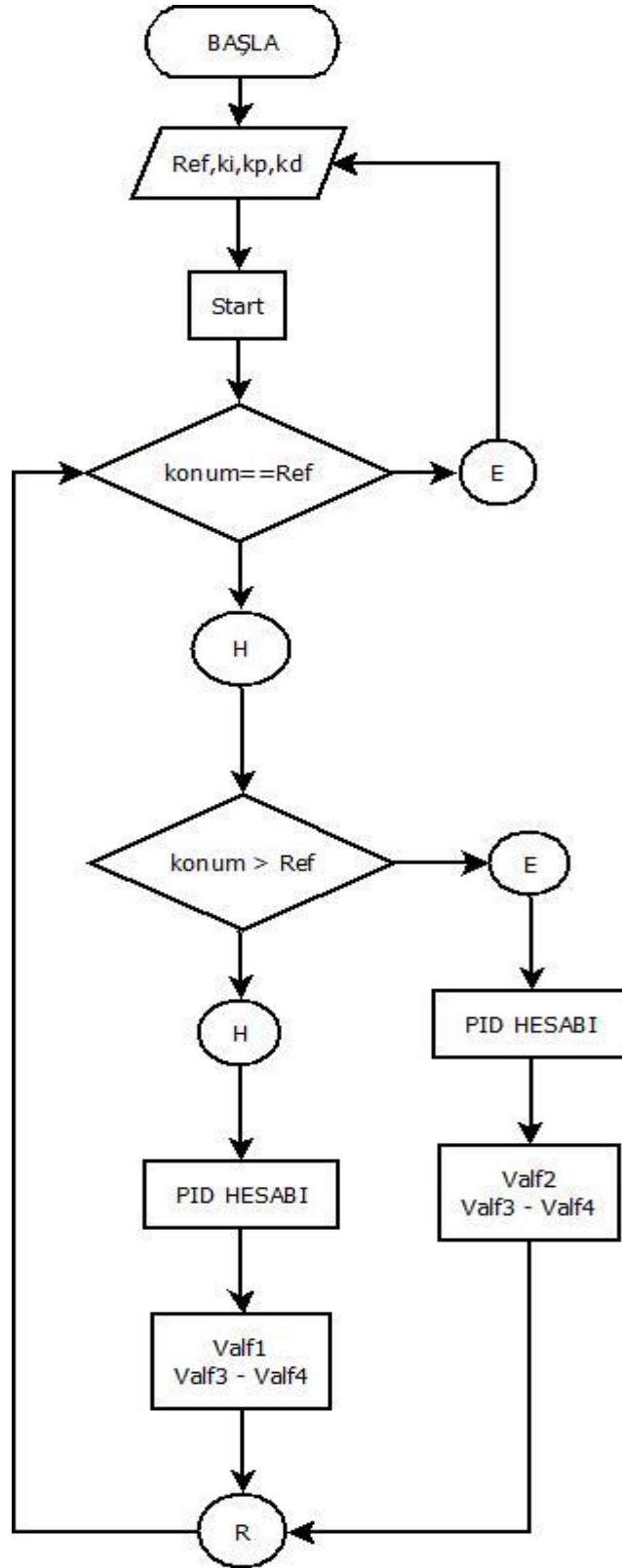
Pistonun bu çalışma esnasında konum bilgisi, pnömatik piston mekanik olarak bağlanan 0-150 mm arasında 4-20 mA akım üreten piston tipi lineer potansiyometreden alınmaktadır. Lineer potansiyometre 1 ms de 10 adet okuma gerçekleştirerek kontrol algoritmasına göndermekte kontrol algoritması da bu 10 adet okumanın ortalamasını alarak konum bilgisini edinmektedir. Bu şekilde okuma yapmanın nedeni alına konum bilgisindeki hataları azaltabilmektir. Bu okunan veri sürekli olarak işleme tabi tutularak 2/2 yön kontrol valflerinin açık kalma süreleri tekrar tekrar hesaplanarak 2/2 yön kontrol valflerine bildirilmektedir.

"Referans değeri" ile "konum değeri" birbirlerine eşitlendiğinde valf 3 ve valf 4 olarak adlandırılan 2/2 yön kontrol valflerine artık herhangi bir değer gitmeyeceğinden valflerin elektriksel sinyalleri kesilir. Daha sonrada 5/2 yön kontrol valfinin valf 1 olarak adlandırılan selenoidinin elektriksel sinyali kesilir.

Yukarıda anlatılan örnek çalışmanın 0mm den 60mm'e olduğu varsayılır ise şimdide 60mm den 30mm ye hareket ettirerek deney setinin geriye hareketinde nelerin gerçekleştiğine bakalım. Menüye girerek "referans değeri" herhangi bir değere getirilebilir. Bunun yanında KP, KD, KI" değerlerinde de değişiklikler yapılabilir. Gerekli değişiklik yapıldıktan sonra ana ekrana dönerek "başlatma" butonuna basılmalıdır.

Başlatma butonun basıldıktan sonra kontrol algoritması daha önce anlatıldığı gibi ilk önce referans değeri ile konum değerinin karşılaştırmasını yapacaktır. Konum referanstan büyük olduğundan dolayı ilk önce 5/2 yön kontrol valfinin 1-2'nolu (P-B) yolların birbirlerine bağlayan ve valf 2 olarak adlandırılan selenoid valf tetiklenecektir. Daha sonra yukarıda anlatılan işlemler gerçekleştirilerek valf 3 ve valf 4 olarak adlandırdığımız 2/2 yön kontrol valfleri kontrol algoritmasının hesapladığı süre kadar açık kalarak pnömatik pistonun girilen referans değerine oturmasını sağlayacaktır. Bu anlatılan pnömatik pistonun 100mm den 0mm e hareketi olduğu unutulmamalıdır. Bu veriler ışığında valf 4 ün pnömatik pistonu giren basınçlı havayı valf 3 ise pnömatik pistonu çıkan basınçlı havayı kontrol etmektedir. Referans değeri ile konum değeri eşitlendiğinde valf 3 ve valf 4 ün elektriksel sinyalleri kesilerek hava geçişi durdurulacaktır. Aynı şekilde 5/2 yön kontrol valfinin valf 2 olarak isimlendirilen selenoidininde enerjisi kesilecektir.

Burada yapmış olduğumuz çalışmaların sonuçlarını yani konum ile girdiğimiz referans değerinin arasındaki farkı LCD ekrandan görebiliriz ve yorumlayabiliriz. Bunun yanında deney setinin hava basıncı şartlandırıcı üzerindeki manuel göstergeden görülebilmektedir. Şartlandırıcı sayesinde yapılan basınç ayarlamalarıyla değişik basınçlarda testler gerçekleştirilecektir. Otomatik kontrolün gereği olarak kontrol algoritmasının sürekli olarak arka planda çalıştığı unutulmamalıdır. Bunun nedeni deney setindeki pnömatik pistonumuz kararlı yapıya geçtiğinde yani referans değere oturduğunda harici bozucular oluştuğunda sistemin kararlılığının devamını sağlamasıdır. Pnömatik piston örneğin 30mm ye oturduğunda pistonun miline konumunu değiştirecek bir etki yapıldığında sistem tekrar otomatik olarak kararlı yapıya yani 30mm ye dönmek için çalışmasını başlatacaktır. Bunun bir yük tarafından yapıldığı var sayılır ise pistonun çapı ve hava basıncına göre, yükün meydana getirdiği kaymaları otomatik olarak tölere edebilecektir. Deney setinin sinyal akış diyagramı Şekil 3.35'de verilmiştir.



Şekil 3.35. Sinyal akış diyagramı.

BÖLÜM 4

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

4.1. DENEY PARAMETRELERİ

Bu kısımda deneylerde kullanılan parametreler hakkında bilgi verilmektedir.

4.1.1. Oransal Kazanç

PID kontrol yöntemi ve türevlerinde mutlaka bulunan bu değişken oransal kazanç olarak isimlendirilmektedir. Tek başına ya da diğer kontrol yöntemleri ile birlikte kullanılabilir. Sistemin kontrolünde P kontrolün varlığına işaret etmektedir. Bu deney setinde 0,0 ila 0,9 arasında bir değer alabilecek şekilde ayarlamalar yapılmıştır. Bu değerler arasında sistem davranışı üzerinde bir değişiklik meydana getirmiyorsa kontrol programından katsayı artırılarak veya azaltılarak uygun aralık bulunmaya çalışılır. K_p değerinin artırmak veya azaltmak kestirilebilir bir sistem davranışına sebebiyet vermez. Uygun değer deneme yanılma yöntemiyle bulunduktan sonra üst değerleri de alt değerleri de sistemin davranışını bozacaktır. Asıl değerlendirme K_p değerinin kontrol algoritmasında var olmasıdır. K_p nin varlığı sistemin aşmasını artırırken yükselme zamanını ve sürekli rejim hatasını azaltır.

4.1.2. İntegral Kazanç

İntegral kazanç olarak isimlendirilen K_i , PI ve PID kontrol yöntemleri uygulanırken kullanılır. Deney setinde 0,0 ile 0,9 arasında uygun bir değere ayarlanabilir. Aralık yeterli değil ise kontrol programından kat sayısı değiştirilebilir. Sistem davranışı üzerinde etkileri ise; aşmayı ve otuma zamanını artırırken yükselme zamanını azaltır, sürekli rejim hatasını ise eler.

4.1.3. Türevsel Kazanç

Türevsel kazanç olarak isimlendirilen Kd, PD ve PID kontrol yöntemlerinde kullanılır. Deney setinde 0,0 ile 0,9 arasında uygun bir değere ayarlanabilir. Aralık yeterli değil ise kontrol programı içerisinde kat sayısı değiştirilebilir. Aşmayı ve yerleşim zamanını azaltıcı yönde etki yapmaktadır.

Buradaki önemli nokta şudur ki; bu kazanç değerlerinin değişimi bir diğerinin olumsuz özelliğini bertaraf edebileceği gibi olumlu özelliğini de bozabilir. Bu nedenden dolayı tüm kazanç değerlerinin uygun olması hayati önem taşır.

4.1.4. Çalışma Basıncı

Pnömatik silindirin hareket ettiren havanın basıncı olarak tanımlanabilir. Deney seti üzerinden şartlandırıcı yardımı ile ayarlanabilir. Testlerde 6 Bar basınç değeri kullanılmıştır. Bunun nedeni pnömatik sistemlerde çalışma basıncının 6 bar olmasıdır [43].

4.1.5. Hareket

Pnömatik silindirin deneyler sırasında nereden nereye hareket edeceğini göstermektedir. Silindirin iki hareket yönü de deneylerde kullanılmıştır. Silindirin boyu 100 mm olduğundan dolayı deneyler bu uzunlukla sınırlıdır.

4.1.6. Aşma

Pnömatik silindirin istenilen konuma oturmadan önce bu değer etrafında salınım göstermesi sonucu oluşan mm cinsinden mesafe değeridir.

4.1.7. Sürekli Rejim Hatası

Pnömatik silindirin istenilen konuma ne kadar hatalı olarak vardığını gösteren parametredir. Bu parametre milimetre (mm) olarak ölçülür.

Çizelge 4.1. Deneyde kullanılan parametreler.

Deney No	Kontrol Yöntemi	Çalışma Basıncı [Bar]	Kp	Ki	Kd	Hareket [mm]
1	P	6	0,2	0,0	0,0	0-10
2	P	6	0,2	0,0	0,0	0-20
3	P	6	0,2	0,0	0,0	0-30
4	P	6	0,2	0,0	0,0	0-40
5	P	6	0,2	0,0	0,0	0-50
6	P	6	0,2	0,0	0,0	0-60
7	P	6	0,2	0,0	0,0	0-70
8	P	6	0,2	0,0	0,0	0-80
9	P	6	0,2	0,0	0,0	0-90
10	P	6	0,2	0,0	0,0	100-10
11	P	6	0,2	0,0	0,0	100-20
12	P	6	0,2	0,0	0,0	100-30
13	P	6	0,2	0,0	0,0	100-40
14	P	6	0,2	0,0	0,0	100-50
15	P	6	0,2	0,0	0,0	100-60
16	P	6	0,2	0,0	0,0	100-70
17	P	6	0,2	0,0	0,0	100-80
18	P	6	0,2	0,0	0,0	100-90
19	PI	6	0,1	0,5	0,0	0-10
20	PI	6	0,1	0,5	0,0	0-20
21	PI	6	0,1	0,5	0,0	0-30
22	PI	6	0,1	0,5	0,0	0-40

Çizelge 4.1. (Devam ediyor).

Deney No	Kontrol Yöntemi	Çalışma Basıncı [Bar]	Kp	Ki	Kd	Hareket [mm]
23	PI	6	0,1	0,5	0,0	0-50
24	PI	6	0,1	0,5	0,0	0-60
25	PI	6	0,1	0,5	0,0	0-70
26	PI	6	0,1	0,5	0,0	0-80
27	PI	6	0,1	0,5	0,0	0-90
28	PI	6	0,1	0,5	0,0	100-10
29	PI	6	0,1	0,5	0,0	100-20
30	PI	6	0,1	0,5	0,0	100-30
31	PI	6	0,1	0,5	0,0	100-40
32	PI	6	0,1	0,5	0,0	100-50
33	PI	6	0,1	0,5	0,0	100-60
34	PI	6	0,1	0,5	0,0	100-70
35	PI	6	0,1	0,5	0,0	100-80
36	PI	6	0,1	0,5	0,0	100-90
37	PD	6	0,1	0,0	0,4	0-10
38	PD	6	0,1	0,0	0,4	0-20
39	PD	6	0,1	0,0	0,4	0-30
40	PD	6	0,1	0,0	0,4	0-40
41	PD	6	0,1	0,0	0,4	0-50
42	PD	6	0,1	0,0	0,4	0-60
43	PD	6	0,1	0,0	0,4	0-70
44	PD	6	0,1	0,0	0,4	0-80
45	PD	6	0,1	0,0	0,4	0-90
46	PD	6	0,1	0,0	0,4	100-10
47	PD	6	0,1	0,0	0,4	100-20
48	PD	6	0,1	0,0	0,4	100-30
49	PD	6	0,1	0,0	0,4	100-40
50	PD	6	0,1	0,0	0,4	100-50
51	PD	6	0,1	0,0	0,4	100-60
52	PD	6	0,1	0,0	0,4	100-70
53	PD	6	0,1	0,0	0,4	100-80
54	PD	6	0,1	0,0	0,4	100-90
55	PID	6	0,1	0,4	0,9	0-10
56	PID	6	0,1	0,4	0,9	0-20

Çizelge 4.1. (Devam ediyor).

Deney No	Kontrol Yöntemi	Çalışma Basıncı [Bar]	Kp	Ki	Kd	Hareket [mm]
57	PID	6	0,1	0,4	0,9	0-30
58	PID	6	0,1	0,4	0,9	0-40
59	PID	6	0,1	0,4	0,9	0-50
60	PID	6	0,1	0,4	0,9	0-60
61	PID	6	0,1	0,4	0,9	0-70
62	PID	6	0,1	0,4	0,9	0-80
63	PID	6	0,1	0,4	0,9	0-90
64	PID	6	0,1	0,4	0,9	100-10
65	PID	6	0,1	0,4	0,9	100-20
66	PID	6	0,1	0,4	0,9	100-30
67	PID	6	0,1	0,4	0,9	100-40
68	PID	6	0,1	0,4	0,9	100-50
69	PID	6	0,1	0,4	0,9	100-60
70	PID	6	0,1	0,4	0,9	100-70
71	PID	6	0,1	0,4	0,9	100-80
72	PID	6	0,1	0,4	0,9	100-90

4.1.8. Deneylerin Uygulanması

Deney setinde yapılan testler Kırklareli Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu Makine atölyesinde gerçekleştirilmiştir. Deney seti için gerekli olan basınçlı hava şebeke gerilimi ile beslenen 0 – 20 bar arası basınç üretebilen seyyar tip yekpare kompresör tarafından üretilmektedir. Deney setinin basıncını ayarlamak için pnömatik hattın girişinde bulunan 0 -10 bar arası çalışma aralığına sahip şartlandırıcıdan yararlanılmaktadır. Deneylerimizde literatür araştırmasından ve ön deneylerden elde edilen bilgi ışığında 6 bar çalışma basıncı seçilmiştir. Havanın iletiminde 6 mm çapında plastik malzemeden yapılmış hortumlar ile yapılmıştır. Deney setinde 100 mm çalışma uzunluğuna sahip çift etkili asimetrik pnömatik silindir kullanılmaktadır ve bu pnömatik silindirin konum kontrolü yapılmıştır. Pnömatik silindirin konum bilgisi 0 – 150 mm arasında ölçüm yapabilen ve 4 – 20 mA analog çıkış veren, $\pm\% 0,05$ lineerliğe sahip lineer potansiyometre kullanılmıştır. Potansiyometrenin 0 V çıkışı 0 mm kabul edilmiş 5 V çıkışı ise 150 mm olarak kabul

edilmiştir. Bu iki değer arası 10 bit lik bir çözünürlüğe ayrıştırılmış ve işlemlerde 0 ile 1023 arasında bir sayı karşılığı ile kullanılmıştır. Pnömatik silindirin konum kontrolü 5/2 selenoid tetiklemeli yön kontrol valfi ile yapılmaktadır. Bu valfin konum değiştirme için bobinine 24V DC uygulanması gerekmektedir bu gerilim değeri de kontrol kartı tarafından üretilmektedir. Valf tetiklendiğinde hangi konum geldiyse tetik kesilse de o konumda kalacak şekilde çalışmaktadır. 5/2 yön kontrol valfi 1,5 bar ile 8 bar arasındaki çalışma basınçlarında çalışması teknik özelliklerinde belirtilmiştir. Bu valfin 5°C ile 50°C arasında çalışma sıcaklığı bulunmaktadır. Bu sayılan koşullarda valf çalıştırılırsa 50 ms cevap süresi vardır. Silindirin ayrıca her iki bölgesindeki basınçlı havayı kontrol etmek için 2/2 yüksek anahtarlama hızına sahip selenoid tetiklemeli yay geri getirmeli normalde kapalı yön kontrol valfi kullanılmıştır. Bu yön kontrol valfi 24V DC gerilim ile çalışmaktadır bobinine bu gerilim uygulandığında valf konum değiştirerek açık konuma gelecektir. Tekrar kapalı konuma dönülmesi isteniyorsa enerjisi kesilmelidir. 0,9 ile 8 bar arasında çalışma basıncına sahip olan bu valfin çalışma sıcaklığı -5°C ile 60°C arasındadır. Bu değerler uygulandığında valf 2,5 ms de açılıp 5 ms de kapanmaktadır. Deney setinde yapılan testlerde 4 farklı kontrol yöntemi uygulanmıştır bunlar P, PI, PD ve PID'dir. Bu kontrol yöntemleri ayrı ayrı uygulanmıştır. Her kontrol yöntemi uygulanırken ilgili kontrolörün kazanç değeri (K_p , K_i , K_d) kontrol paneli üzerinden girilebilecek şekilde deney seti dizayn edilmiştir. Bu kazanç değerleri 0,0 ile 0,9 arasında istenilen bir değere göre ayarlanabilir. Bu ayarlama deneme yanılma yöntemiyle yapılmıştır. Kazanç değerlerini değiştirmek sistem davranışında bir etki yapmıyorsa kontrol programının kendisine müdahale edilmeli ve kat sayılar değiştirilmelidir. Bu kazanç değerlerinin ayarlanması silindirin istenilen konuma aşma yapmadan salınımı az olarak oturmasına göre belirlenir. Unutulmaması gereken her bir kazanç değeri bir diğerinin sistem üzerindeki davranışlarını iyileştirebileceği gibi kötüleştirebileceğidir. Deneyler yapılırken silindir 0 konumundan son konumu olan 100 mm doğru 10mm adımlarla atlatılarak hareket ettirilerek aşma miktarı ve sürekli rejim hatası bakımından incelemeler yapılmıştır. Silindir asimetric olduğundan 100 mm den 0 mm doğru aynı şekilde hareket ettirilerek sistem davranışları yine aşma miktarı ve sürekli rejim hatası bakımından incelenmiştir.

BÖLÜM 5

DENEYSEL SONUÇLAR

PID kontrol yöntemlerinin pnömatik sistemler üzerindeki kontrol kabiliyetlerini görebilmek adına oluşturulan deney setinde P, PI, PD ve PID kontrol yöntemleri test edilmiştir. PID kontrol yöntemlerinin uygulandığı pnömatik sistemlerde genelde basınç değeri olarak 6 bar a kadar deneyler yapılmaktadır. Bu deney setinde yapılan ön çalışmalarda ise 6 bar basınç değerinin kontrol algoritmasının yeteneklerini test etmek için uygun basınç olduğu görülmüştür. Bu nedenden dolayı bu basınç değerinde deneyler yapılacaktır. Kontrol yöntemlerden ilk olarak P kontrol yöntemi kullanılarak testler yapılmıştır. Test yapılırken ilk önce kp kazanç değerinin belirlenmesi işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu işlem sırasında kontrol paneli üzerinden 0,1 ile 0,9 arası değerler verilerek en iyi konumlama ve aşma miktarı bakımından kıyaslama yapılmış ve kp kazanç değerinin 0,2 olduğu anlaşılmıştır. Oransal kazanç değeri bulunurken ayrıca pnömatik pistonun hareket ettirileceği referans noktası da önemlidir. Bu nedenden dolayı birkaç farklı referans değerine göre oransal kazanç ayarlaması yapılmaya çalışılmış ve en iyi oransal kazanç değerinin belirleneceği değer olarak 10 mm lik referans noktası seçilmiştir. Bunun nedeni daha büyük referans değerlerinde bulunan oransal kazanç değerleri PID algoritmasına sokulduğunda pnömatik silindiri hareketlendiren valflerin açık kalma sürelerini daha fazla hesaplayacağından 10 mm, 20 mm gibi küçük referans değerlerinde pnömatik silindir aşma davranışı göstermesidir. Bu işlemden sonra pnömatik silindirin 0 mm konumundan 100 mm konumuna doğru (ileri) 10 mm aralıklarla artış yapılarak testler gerçekleştirilerek P kontrol yöntemine göre konum – zaman grafiği oluşturulmuştur. Daha sonra pnömatik silindirin 100 mm konumundan 0 mm konumuna (geri) 10 mm artışlarla tekrar testler uygulanmış ve P kontrol yöntemine göre konum – zaman grafiği çıkarılmıştır. Bu yapılan geri yönlü test pnömatik silindir asimetrik olmasından dolayıdır. P kontrol yöntemi ile yapılan bu testler bittiğinde PI kontrol yöntemi uygulamasına geçilmiştir. Bu test sırasında da ilk önce

en uygun k_p ve k_i kazanç değerlerinin bulunmasına çalışılmıştır. Yapılan denemelerde en iyi konumlama ve aşma değerleri $k_p:0,1$ ve $k_i:0,5$ olduğunda alınmıştır. Yine oransal kazanç değeri hesaplanırken olduğu gibi oransal ve integral kazanç değerleri ayarlanırken pnömatik silindir referans değeri olarak 10 mm ye hareketlendirilmiştir. Kontrol panelinden bu değerler ilgili kısımlara girilerek deneyler yapılmaya başlanmıştır. P kontrol yönteminde yapıldığı gibi ilk önce pnömatik silindir ileri yönde daha sonra geri yönde hareket ettirilerek PI kontrol yöntemine göre konum - zaman grafiği oluşturulmuştur. Bu kontrol yönteminin test sonuçları alındıktan sonra bir diğer kontrol yöntemi olan PD kontrol yöntemi ile testler yapılmıştır. Bu testler yapılırken de yine ilk önce oransal kazanç (k_p) ve türevsel kazanç (k_d) nin uygun değerleri bulunmaya çalışılmıştır. Yine bu değerler bulunurken en iyi konumlama ve aşma miktarı değerleri göz önüne alınmış ve en uygun değerler $k_p:0,1$ ve $k_d:0,4$ olarak tespit edilmiştir. Bu değerler bulunurken yine pnömatik silindir 10 mm referans noktasına hareketlendirilmiştir. Bu değerlerde kontrol panelinden ilgili yerlere yazılarak daha önceki testlerde olduğu gibi pnömatik silindirin ileri ve geri yöndeki davranışlarını incelemek adına PD kontrol yöntemine göre konum – zaman grafiği oluşturulmuştur. Bu deneyde bittikten sonra son kontrol yöntemi olan PID kontrol yöntemi ile deneyler yapılmıştır. Testlere yine kazanç değerleri belirlenerek başlanmıştır. En iyi konum ve aşma değerlerine göre en uygun değerler olarak $k_p:0,1$, $k_i:0,4$, $k_d:0,9$ olarak belirlenmiş ve kontrol panelinden ilgili yere bu değerler yazılmıştır. Bu değerler bulunurken yine pnömatik silindir 10 mm referans noktasına hareketlendirilmiştir. Diğer deneylerde olduğu gibi pnömatik silindirin ileri ve geri yönlerdeki hareketleri sınanarak PID kontrol yöntemine göre konum – zaman grafiği oluşturulmuştur.

Çizelge 5.1. Deneş parametreleri ve sonuçları.

Deneş No	Kontrol Yöntemi	Çalışma Basıncı [Bar]	Kp	Ki	Kd	Hareket [mm]	Aşma [±mm]	Sürekli Reşim Hatası [±mm]	Sonuç
1	P	6	0,2	0,0	0,0	0-10	0	0,6	%6
2	P	6	0,2	0,0	0,0	0-20	0	0,7	%3,5
3	P	6	0,2	0,0	0,0	0-30	0	1,2	%4
4	P	6	0,2	0,0	0,0	0-40	0	0,8	%2
5	P	6	0,2	0,0	0,0	0-50	0	0,9	%1,8
6	P	6	0,2	0,0	0,0	0-60	0	0,9	%1,5
7	P	6	0,2	0,0	0,0	0-70	0	1	%1,43
8	P	6	0,2	0,0	0,0	0-80	0	0,8	%1
9	P	6	0,2	0,0	0,0	0-90	0	1	%1,11
10	P	6	0,2	0,0	0,0	100-10	0	0,7	%7
11	P	6	0,2	0,0	0,0	100-20	0	0,7	%3,5
12	P	6	0,2	0,0	0,0	100-30	+1,4 -0,8	0,9	%3
13	P	6	0,2	0,0	0,0	100-40	+1,9	0,7	%1,75
14	P	6	0,2	0,0	0,0	100-50	+1,4	0,8	%1,2
15	P	6	0,2	0,0	0,0	100-60	0	0,8	%1,33
16	P	6	0,2	0,0	0,0	100-70	+2	1	%1,43
17	P	6	0,2	0,0	0,0	100-80	+5	0,7	%0,87
18	P	6	0,2	0,0	0,0	100-90	+5,5	0,7	%0,78
19	PI	6	0,1	0,5	0,0	0-10	0	1,2	%12
20	PI	6	0,1	0,5	0,0	0-20	+1,5	0,9	%4,5
21	PI	6	0,1	0,5	0,0	0-30	+2,5 -1,3	1,1	%3,67
22	PI	6	0,1	0,5	0,0	0-40	+1,7	0,7	%1,75
23	PI	6	0,1	0,5	0,0	0-50	+2,5	0,7	%1,4
24	PI	6	0,1	0,5	0,0	0-60	+2,5	0,8	%1,33
25	PI	6	0,1	0,5	0,0	0-70	+2,7	0,8	%1,14
26	PI	6	0,1	0,5	0,0	0-80	+2,7	0,6	%0,75
27	PI	6	0,1	0,5	0,0	0-90	+1,5	0,5	%0,55
28	PI	6	0,1	0,5	0,0	100-10	0	0,7	%7
29	PI	6	0,1	0,5	0,0	100-20	+1,5	1,2	%6
30	PI	6	0,1	0,5	0,0	100-30	+1,3	1,2	%4
31	PI	6	0,1	0,5	0,0	100-40	+1,5	0,9	%2,25

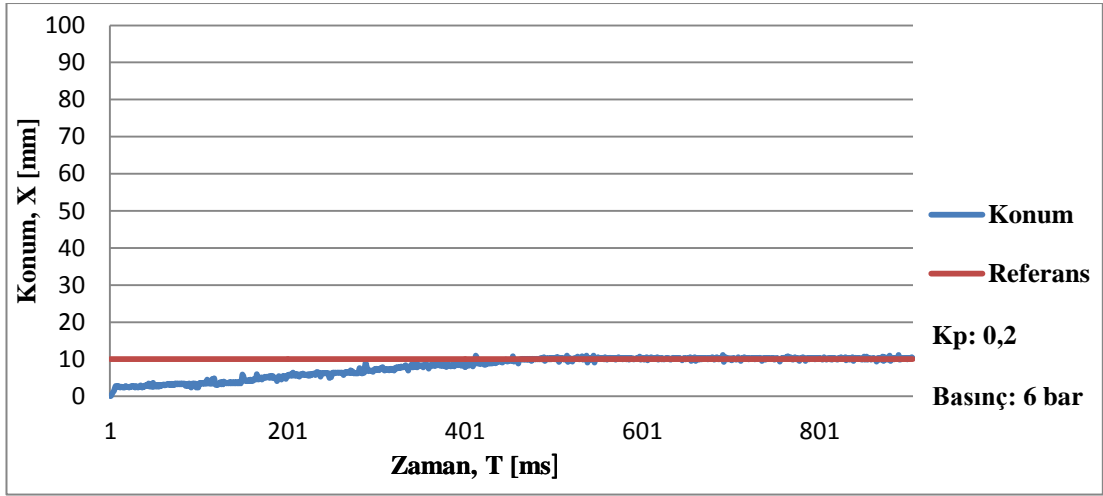
Çizelge 5.1. (Devam ediyor).

Deney No	Kontrol Yöntemi	Çalışma Basıncı [Bar]	Kp	Ki	Kd	Hareket [mm]	Aşma [±mm]	Sürekli Rejim Hatası [±mm]	Sonuç
32	PI	6	0,1	0,5	0,0	100-50	+2	0,9	%1,8
33	PI	6	0,1	0,5	0,0	100-60	+1,9	0,9	%1,5
34	PI	6	0,1	0,5	0,0	100-70	+1,9	0,9	%1,29
35	PI	6	0,1	0,5	0,0	100-80	+1,7	0,5	%0,62
36	PI	6	0,1	0,5	0,0	100-90	+1,6	0,9	%1
37	PD	6	0,1	0,0	0,4	0-10	0	1	%10
38	PD	6	0,1	0,0	0,4	0-20	0	0,9	%4,5
39	PD	6	0,1	0,0	0,4	0-30	0	1,2	%4
40	PD	6	0,1	0,0	0,4	0-40	0	0,6	%1,5
41	PD	6	0,1	0,0	0,4	0-50	0	0,8	%1,6
42	PD	6	0,1	0,0	0,4	0-60	0	0,5	%0,83
43	PD	6	0,1	0,0	0,4	0-70	0	0,6	%0,86
44	PD	6	0,1	0,0	0,4	0-80	0	0,5	%0,62
45	PD	6	0,1	0,0	0,4	0-90	0	0,7	%0,78
46	PD	6	0,1	0,0	0,4	100-10	0	0,6	%6
47	PD	6	0,1	0,0	0,4	100-20	0	0,9	%4,5
48	PD	6	0,1	0,0	0,4	100-30	0	0,9	%3
49	PD	6	0,1	0,0	0,4	100-40	0	0,7	%1,75
50	PD	6	0,1	0,0	0,4	100-50	0	0,8	%1,6
51	PD	6	0,1	0,0	0,4	100-60	0	1	%1,67
52	PD	6	0,1	0,0	0,4	100-70	0	0,7	%1
53	PD	6	0,1	0,0	0,4	100-80	0	0,8	%1
54	PD	6	0,1	0,0	0,4	100-90	0	0,6	%0,67
55	PID	6	0,1	0,4	0,9	0-10	0	1,3	%13
56	PID	6	0,1	0,4	0,9	0-20	0	1,2	%6
57	PID	6	0,1	0,4	0,9	0-30	0	1,2	%4
58	PID	6	0,1	0,4	0,9	0-40	0	1,5	%3,75
59	PID	6	0,1	0,4	0,9	0-50	0	1,2	%2,4
60	PID	6	0,1	0,4	0,9	0-60	0	1	%1,67
61	PID	6	0,1	0,4	0,9	0-70	0	1	%1,43
62	PID	6	0,1	0,4	0,9	0-80	0	0,7	%0,87
63	PID	6	0,1	0,4	0,9	0-90	0	0,8	%0,89
64	PID	6	0,1	0,4	0,9	100-10	0	1	%10

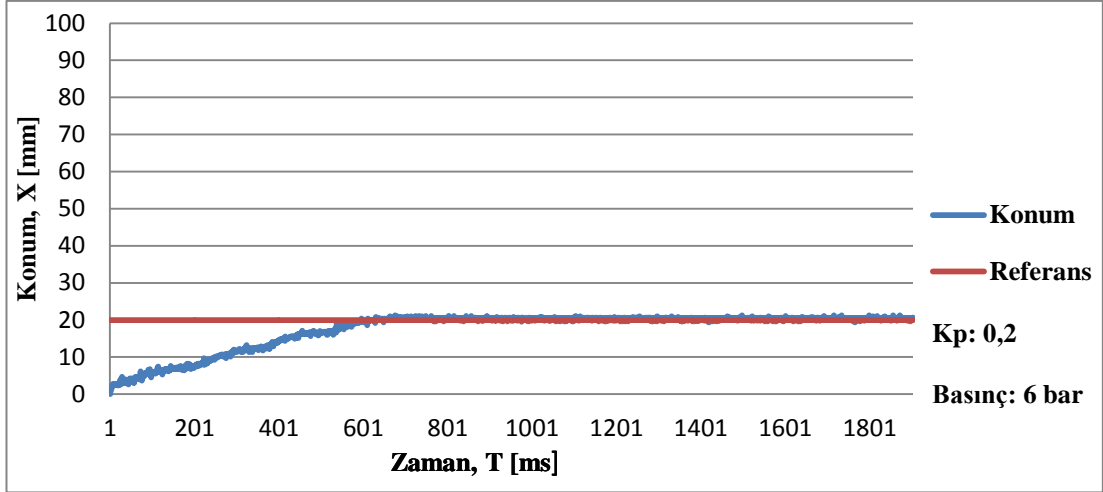
Çizelge 5.1. (Devam ediyor).

Deney No	Kontrol Yöntemi	Çalışma Basıncı [Bar]	Kp	Ki	Kd	Hareket [mm]	Aşma [±mm]	Sürekli Rejim Hatası [±mm]	Sonuç
65	PID	6	0,1	0,4	0,9	100-20	0	0,6	%3
66	PID	6	0,1	0,4	0,9	100-30	0	0,9	%3
67	PID	6	0,1	0,4	0,9	100-40	0	0,7	%1,75
68	PID	6	0,1	0,4	0,9	100-50	0	0,5	%1
69	PID	6	0,1	0,4	0,9	100-60	0	0,8	%1,33
70	PID	6	0,1	0,4	0,9	100-70	0	1	%1,43
71	PID	6	0,1	0,4	0,9	100-80	0	0,8	%1
72	PID	6	0,1	0,4	0,9	100-90	0	0,7	%0,78

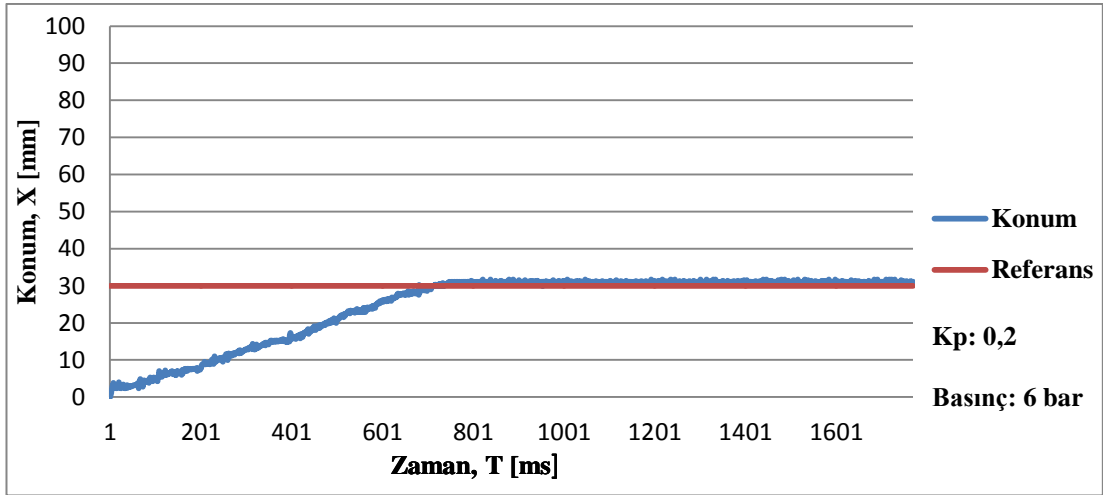
5.1. ORANSAL KONTROL İLERİ HAREKET



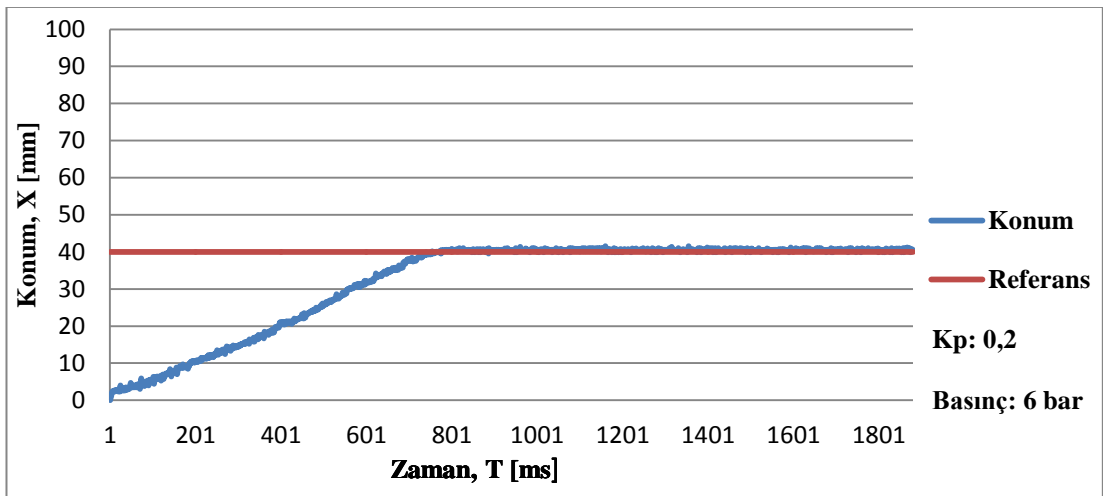
Şekil 5.1. Konum (X) – Zaman (T) grafiği (P kontrol, 0-10 mm).



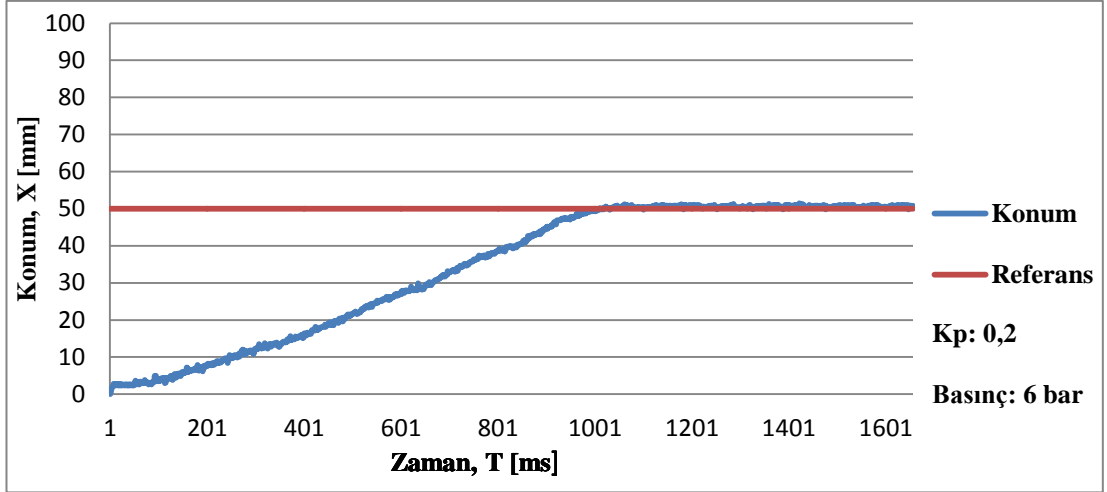
Şekil 5.2. Konum (X) – Zaman (T) grafiği (P kontrol, 0-20 mm).



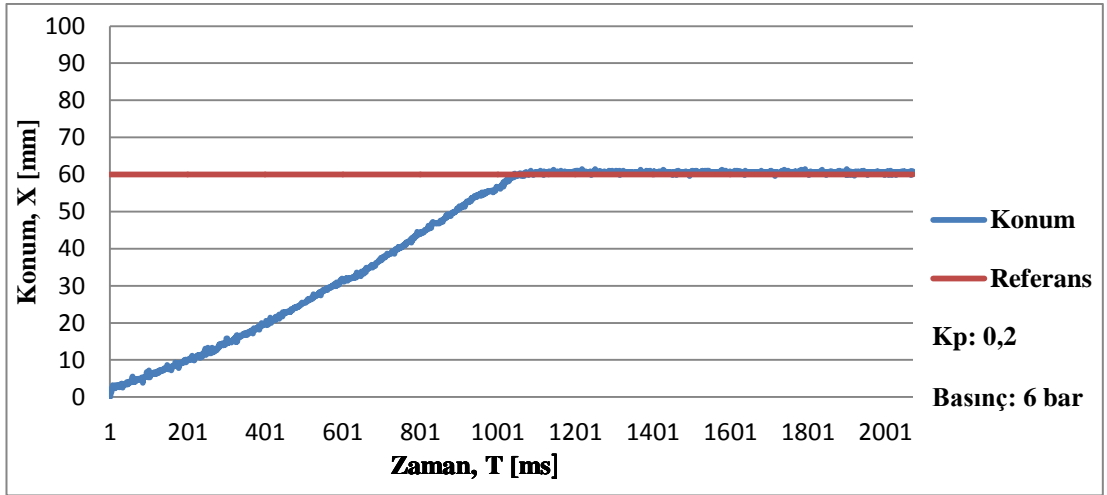
Şekil 5.3. Konum (X) – Zaman (T) grafiği (P kontrol, 0-30 mm).



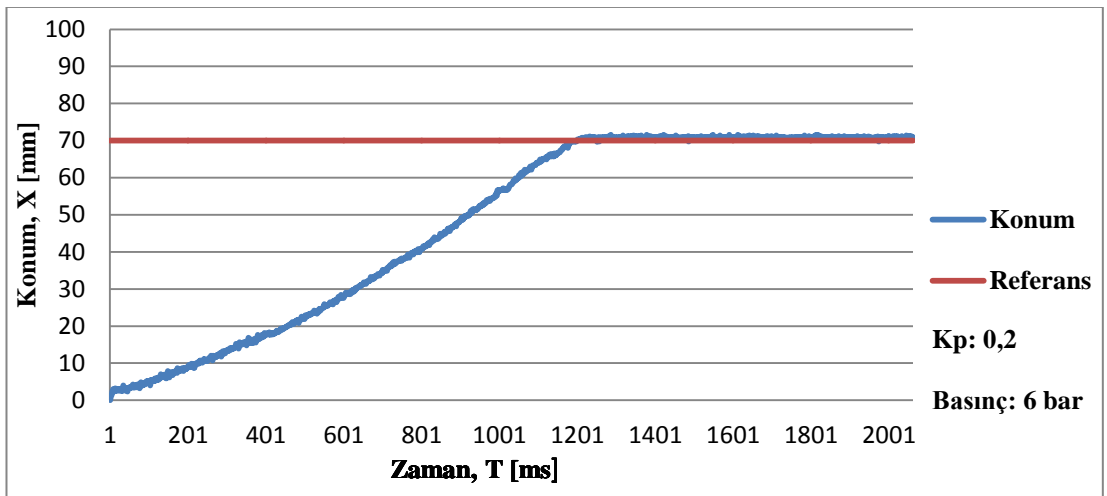
Şekil 5.4. Konum (X) – Zaman (T) grafiği (P kontrol, 0-40 mm).



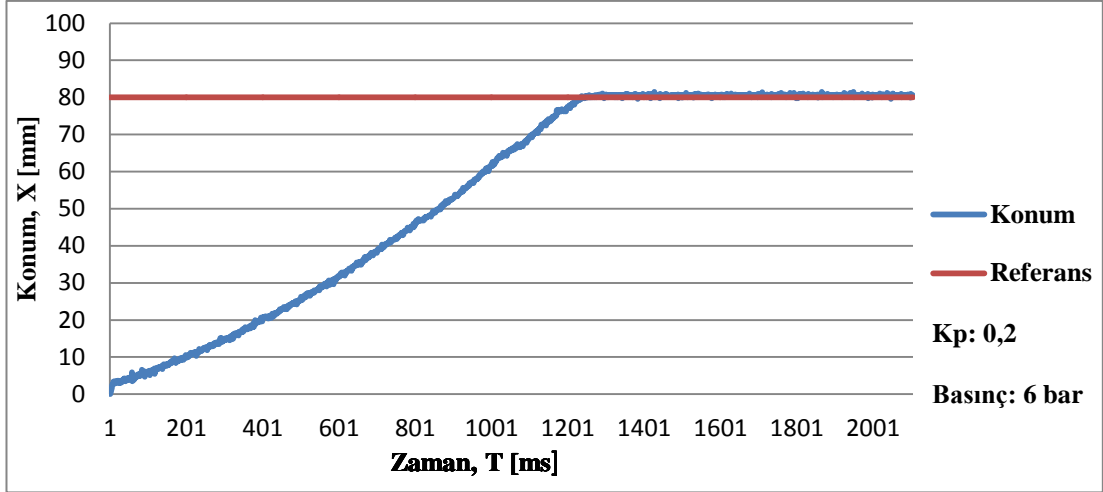
Şekil 5.5. Konum (X) – Zaman (T) grafiği (P kontrol, 0-50 mm).



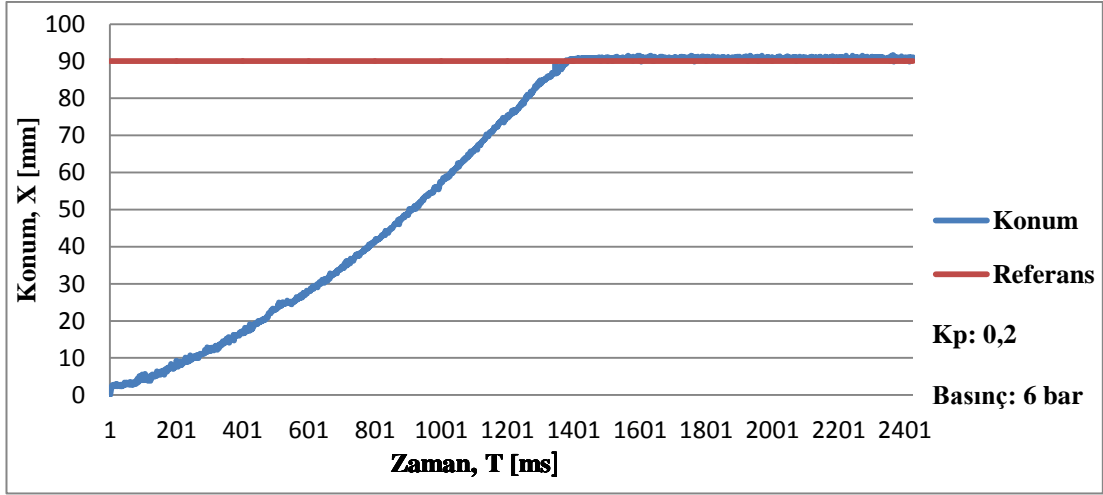
Şekil 5.6. Konum (X) – Zaman (T) grafiği (P kontrol, 0-60 mm).



Şekil 5.7. Konum (X) – Zaman (T) grafiği (P kontrol, 0-70 mm).



Şekil 5.8. Konum (X) – Zaman (T) grafiği (P kontrol, 0-80 mm).

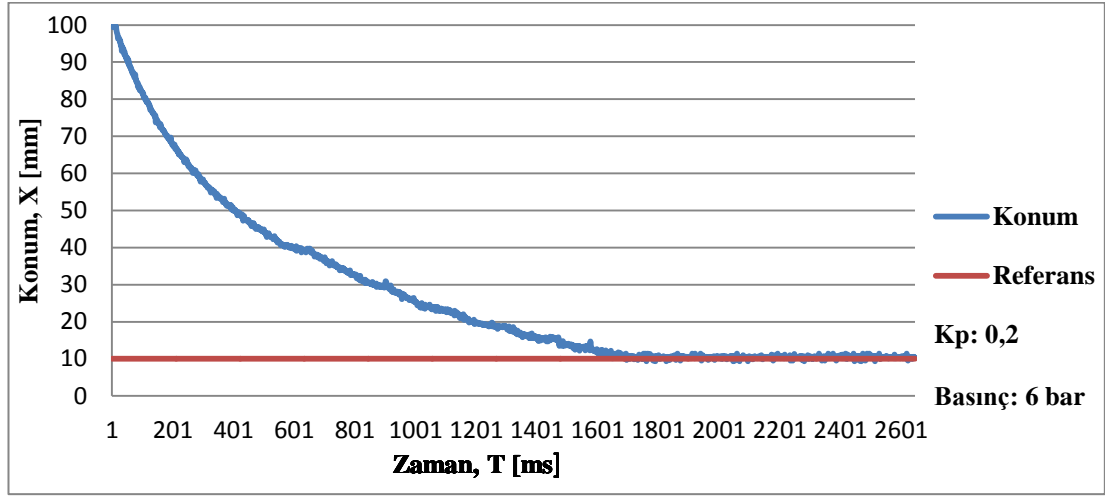


Şekil 5.9. Konum (X) – Zaman (T) grafiği (P kontrol, 0-90 mm).

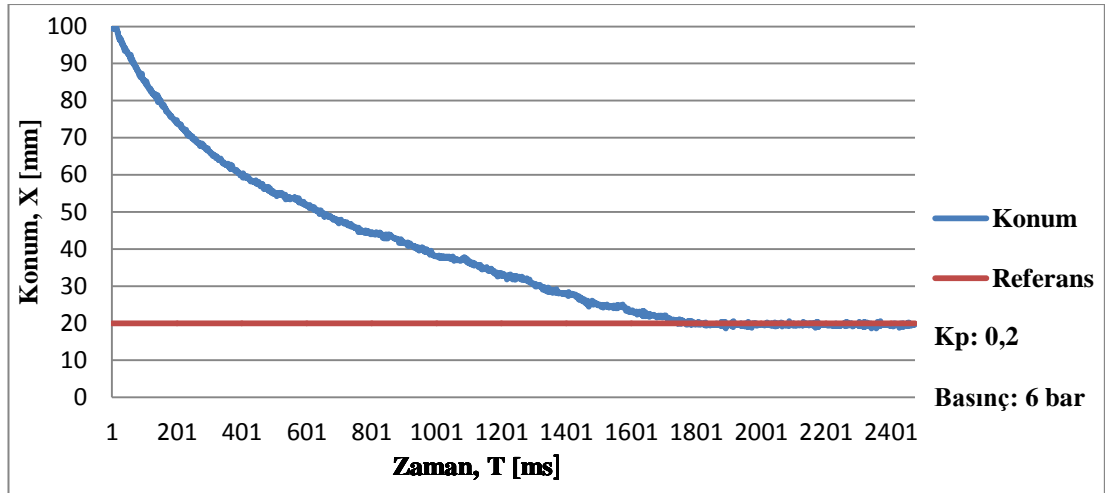
P kontrol yönteminin test edildiği Şekil 5.1 – Şekil 5.9 arasındaki deneylerde pnömatik silindir kademeli olarak başlangıç konumundan son konumuna doğru 10 mm aralıklarla hareketlendirilmiştir. Deneyler 6 bar basınç altında yapılmıştır. Yapılan ön deneylerde bulunan kp kazanç değerine göre her deneyde silindirin osilasyona düşmediği görülmektedir. Konumlama hassasiyeti olarak en yüksek $\pm 1,2$ mm hata payının olduğu görülmektedir. Deneylerde konumlama hatası olarak genelde pozitif yönlü hatalar yapıldığı görülmektedir. Silindirin hiç aşma yapmadığı kararlı bir şekilde referans konumuna oturduğu gözlenmektedir. Mesafenin uzamasının pnömatik silindirin referans noktasına ulaşma zamanı üzerinde doğrusal bir etki gösterdiği ve mesafe uzadıkça oturma zamanının genelde uzadığı

görülmektedir. Ön deneylerde k_p değerinin belirlenmesi için yapılan testlerde 10 mm mesafe kullanılmıştır. Bunun sonucu olarak pnömatik silindirin daha büyük mesafelere gitmesi için gerekli olan silindirin hareketini sağlayan valflerin açık kalma süresi birkaç adımda hesaplandığı grafiklerden gözlenmiştir. Valflerin açık kalma süreleri her adımda biraz daha azaldığı da grafiklerden görülebilmektedir.

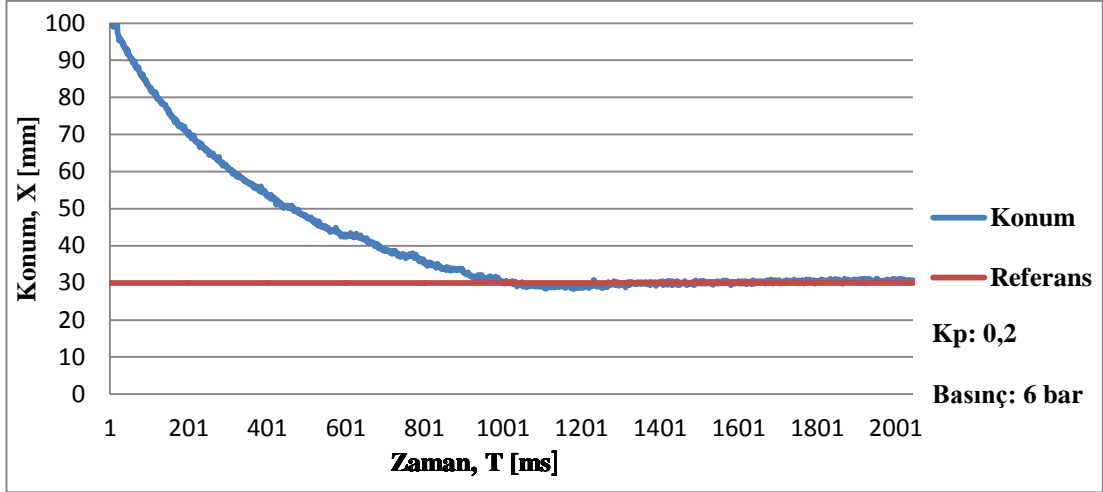
5.2. ORANSAL KONTROL GERİ HAREKET



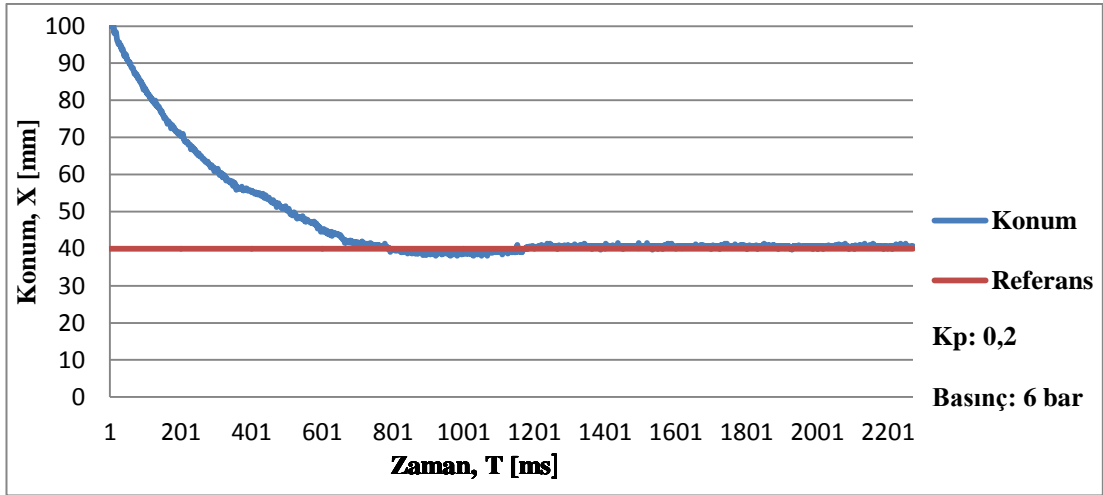
Şekil 5.10. Konum (X) – Zaman (T) grafiği (P kontrol, 100-10 mm).



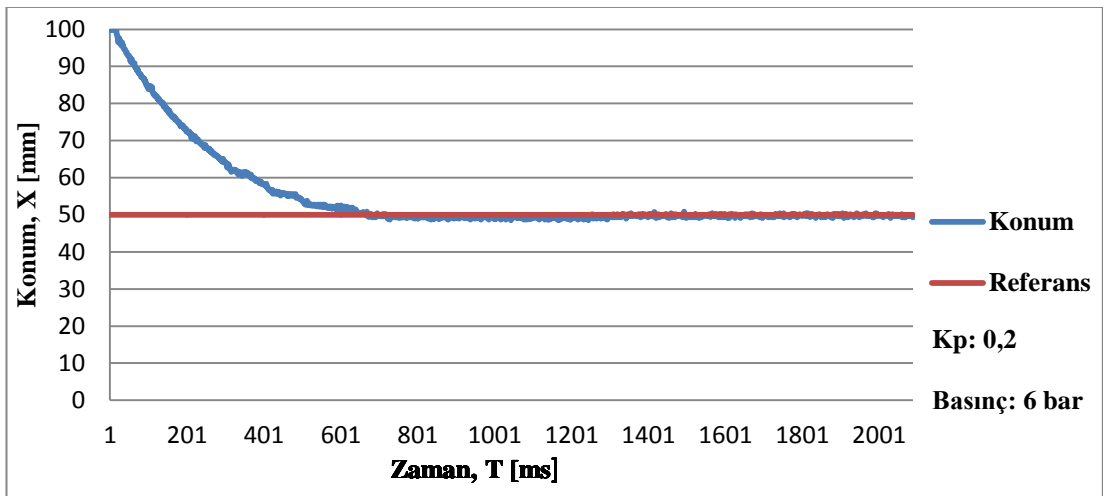
Şekil 5.11. Konum (X) – Zaman (T) grafiği (P kontrol, 100-20 mm).



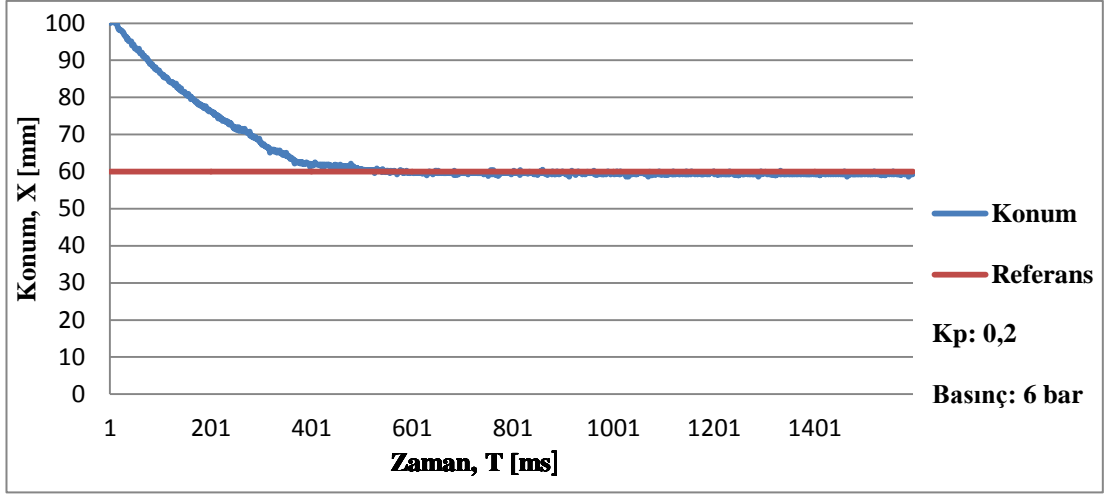
Şekil 5.12. Konum (X) – Zaman (T) grafiği (P kontrol, 100-30 mm).



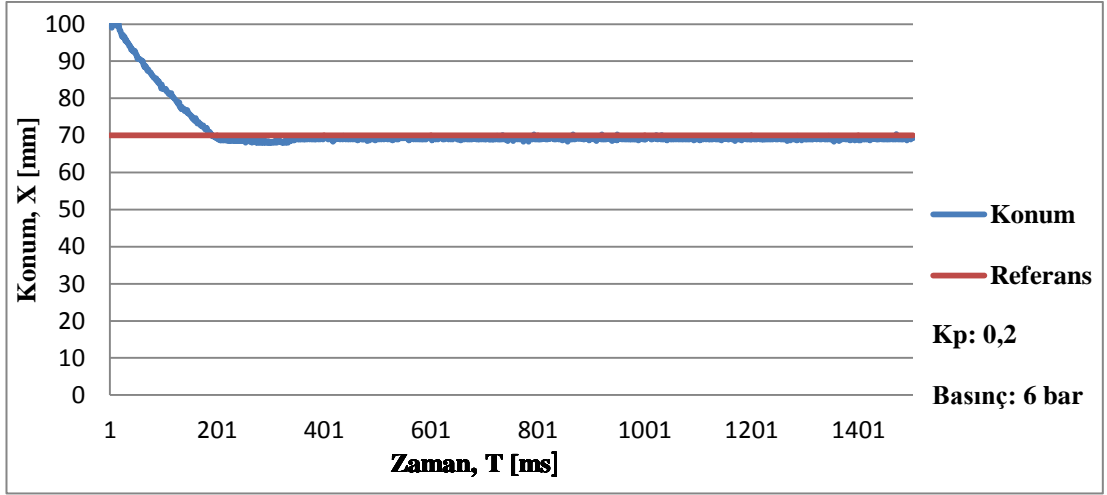
Şekil 5.13. Konum (X) – Zaman (T) grafiği (P kontrol, 100-40 mm).



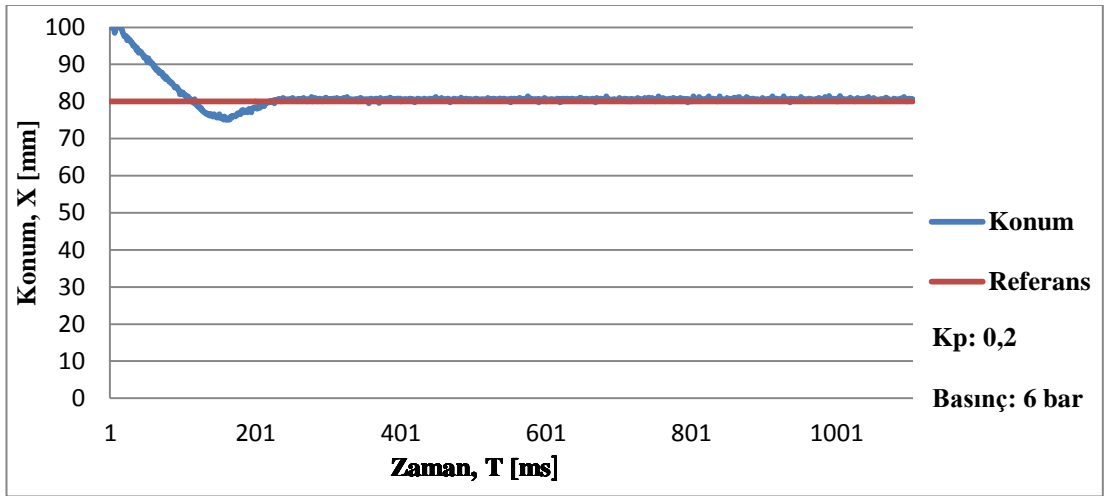
Şekil 5.14. Konum (X) – Zaman (T) grafiği (P kontrol, 100-50 mm).



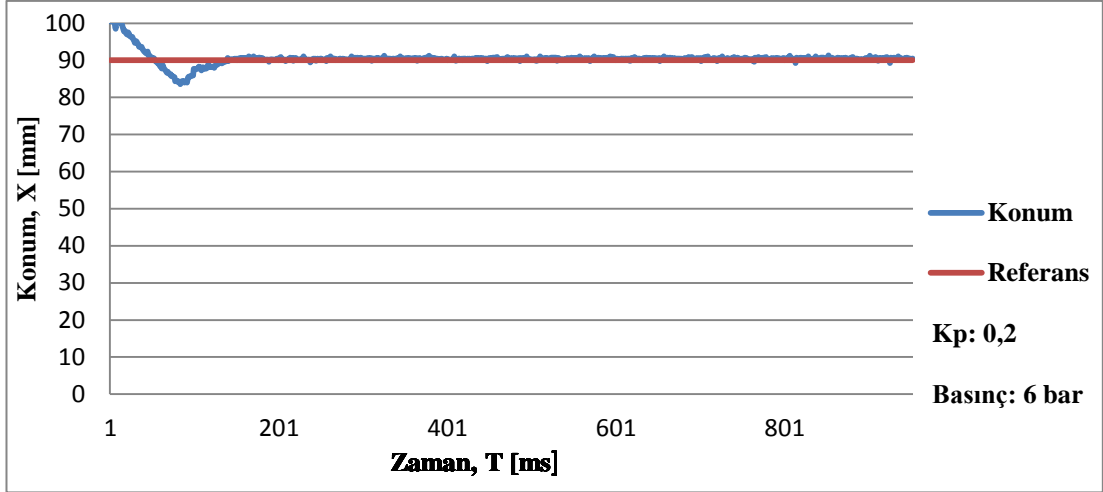
Şekil 5.15. Konum (X) – Zaman (T) grafiği (P kontrol, 100-60 mm).



Şekil 5.16. Konum (X) – Zaman (T) grafiği (P kontrol, 100-70 mm).



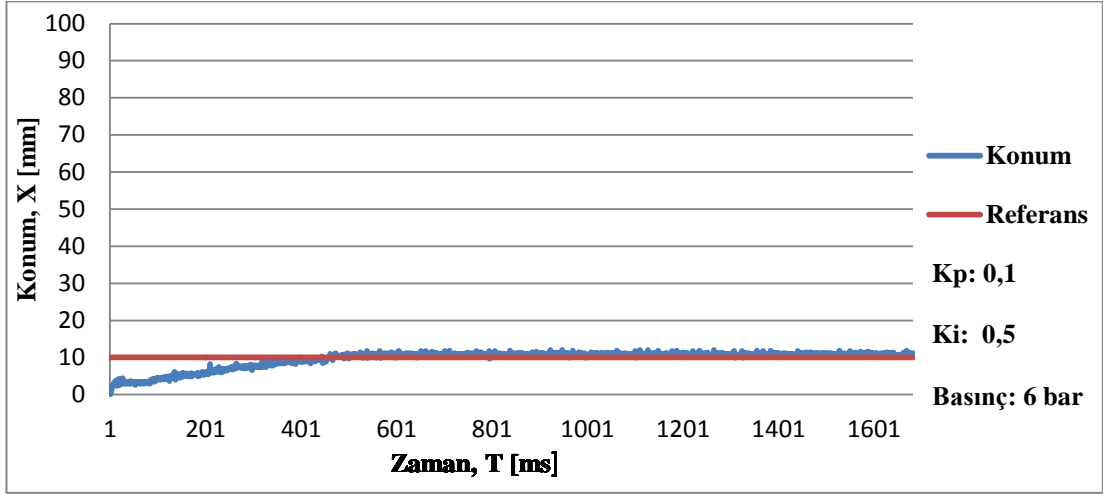
Şekil 5.17. Konum (X) – Zaman (T) grafiği (P kontrol, 100-80 mm).



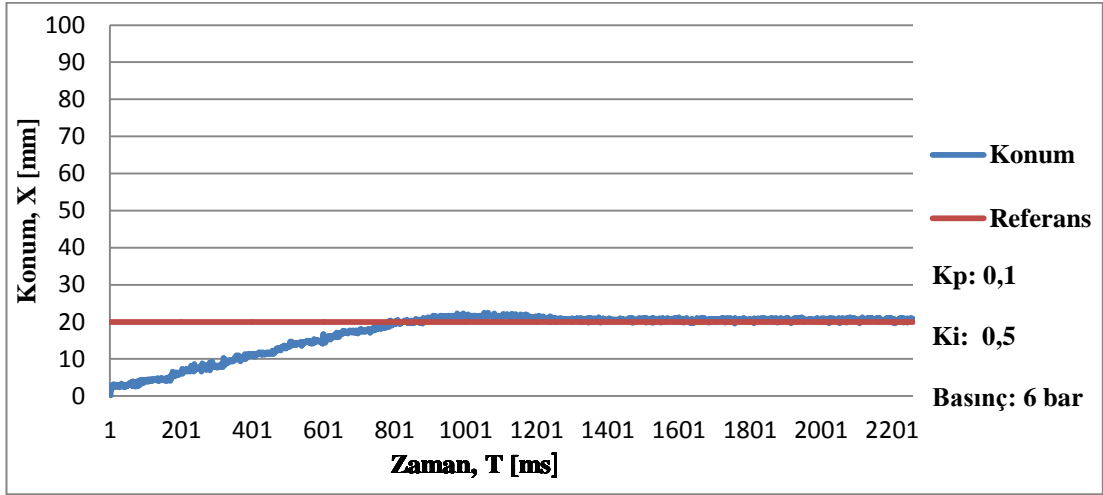
Şekil 5.18. Konum (X) – Zaman (T) grafiği (P kontrol, 100-90 mm).

P kontrol yönteminin test edildiği Şekil 5.10 – Şekil 5.18 arasındaki deneylerde pnömatik silindir kademeli olarak son konumundan başlangıç konumuna doğru 10 mm aralıklarla hareketlendirilmiştir. Deneyler 6 bar basınç altında yapılmıştır. Yapılan ön deneylerde bulunan k_p kazanç değerine göre her deneyde silindirin osilasyona düşmediği görülmektedir. Konumlama hassasiyeti olarak en yüksek ± 1 mm hata payının olduğu görülmektedir. Deneylerde konumlama hatası olarak genelde pozitif yönlü hatalar yapıldığı görülse de negatif yönlü hatalarında yapıldığı görülmektedir. Silindirin bazı referans değerlerinde aşma yaptığı, bazı referans değerlerinde ise aşma yapmadığı görülmüştür. Genel olarak aşmanın olmadığı deneylerde konumlama hatası hareket yönünde ve negatif iken aşmanın meydana geldiği deneylerde ise o anki hareket yönünde ve pozitif olduğu görülmektedir. Pnömatik silindirin her referans değerinde kararlı bir şekilde referans konumuna oturduğu gözlenmektedir. Mesafenin uzamasının pnömatik silindirin referans noktasına ulaşma zamanı üzerinde doğrusal bir etki gösterdiği ve mesafe uzadıkça oturma zamanının genelde uzadığı görülmektedir. Ön deneylerde k_p değerinin belirlenmesi için yapılan testlerde 10 mm mesafe kullanılmıştır. Bunun sonucu olarak pnömatik silindirin daha büyük mesafelere gitmesi için gerekli olan silindirin hareketini sağlayan valflerin açık kalma süresi birkaç adımda hesaplandığı grafiklerden gözlenmiştir. Valflerin açık kalma süreleri her adımda biraz daha azaldığı da grafiklerden görülebilmektedir. Bu adımların ileri yönlü harekete göre geri yönlü hareketlerde daha belirgin olduğu görülmektedir.

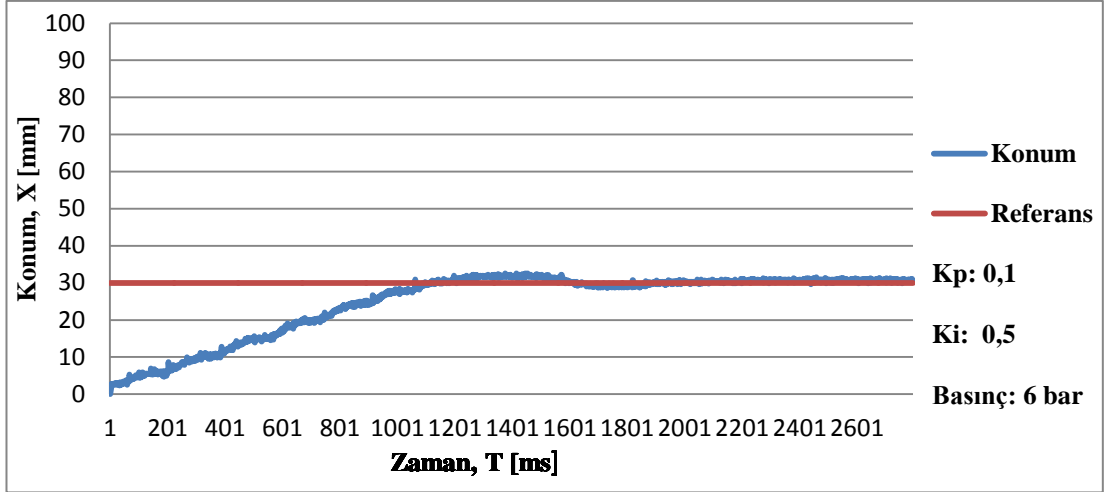
5.3. ORANSAL – İNTEGRAL KONTROL İLERİ HAREKET



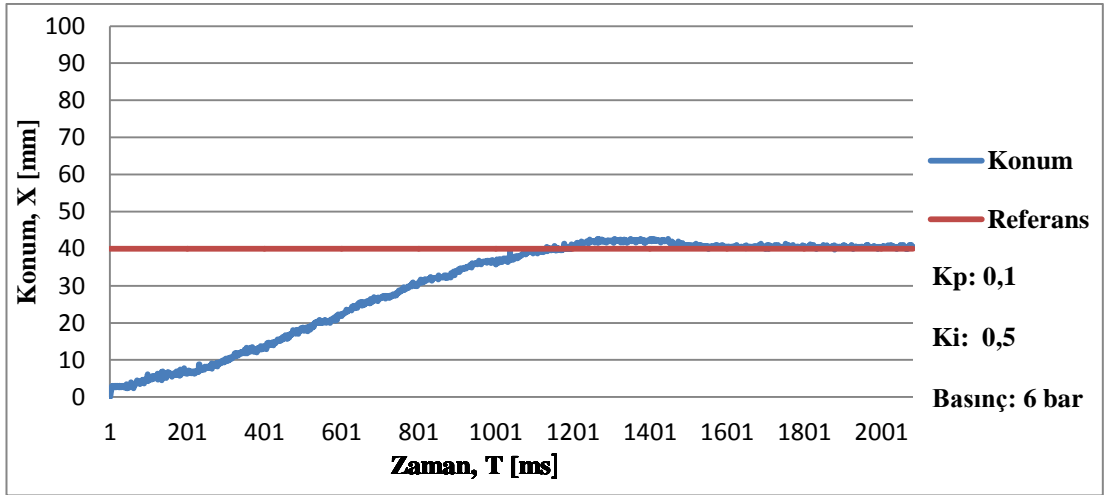
Şekil 5.19. Konum (X) – Zaman (T) grafiği (PI kontrol, 0-10 mm).



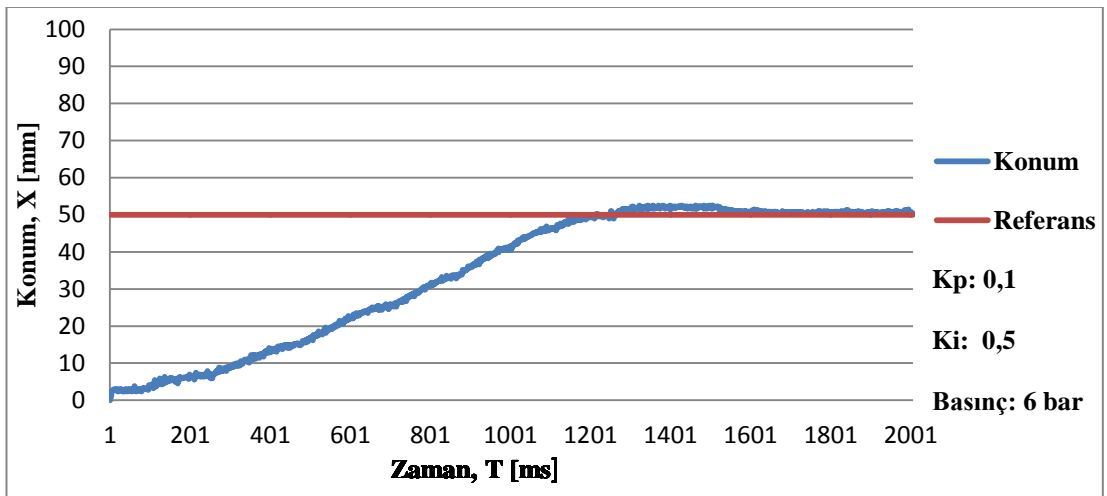
Şekil 5.20. Konum (X) – Zaman (T) grafiği (PI kontrol, 0-20 mm).



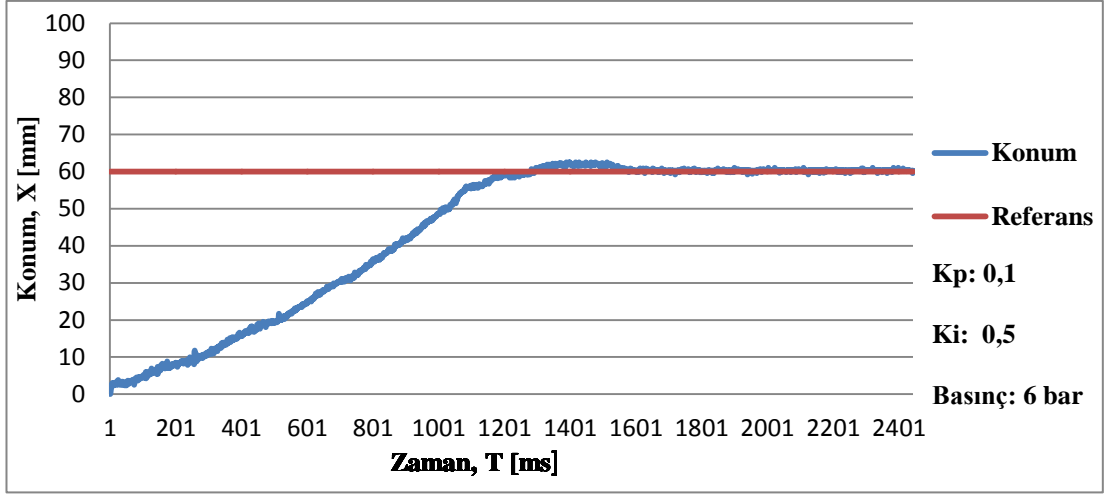
Şekil 5.21. Konum (X) – Zaman (T) grafiği (PI kontrol, 0-30 mm).



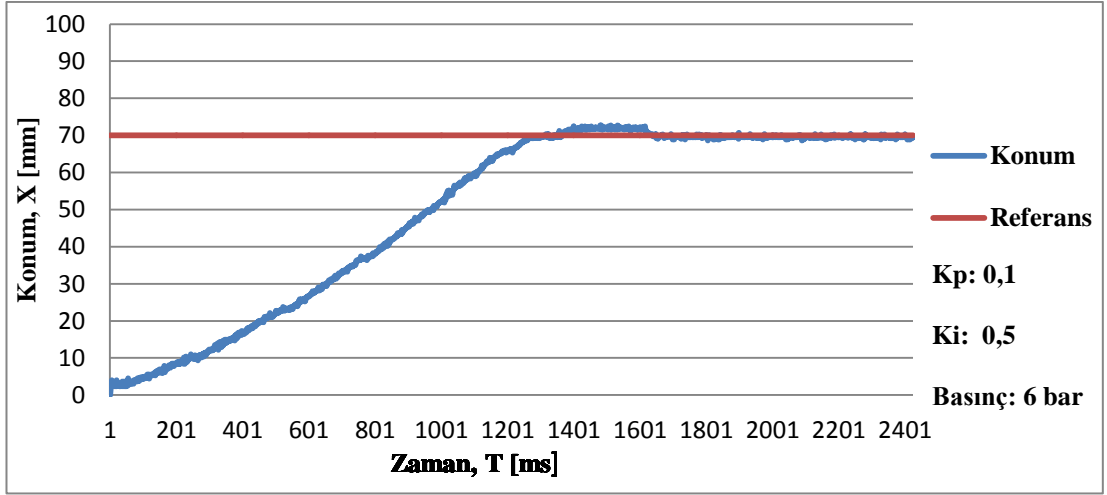
Şekil 5.22. Konum (X) – Zaman (T) grafiği (PI kontrol, 0-40 mm).



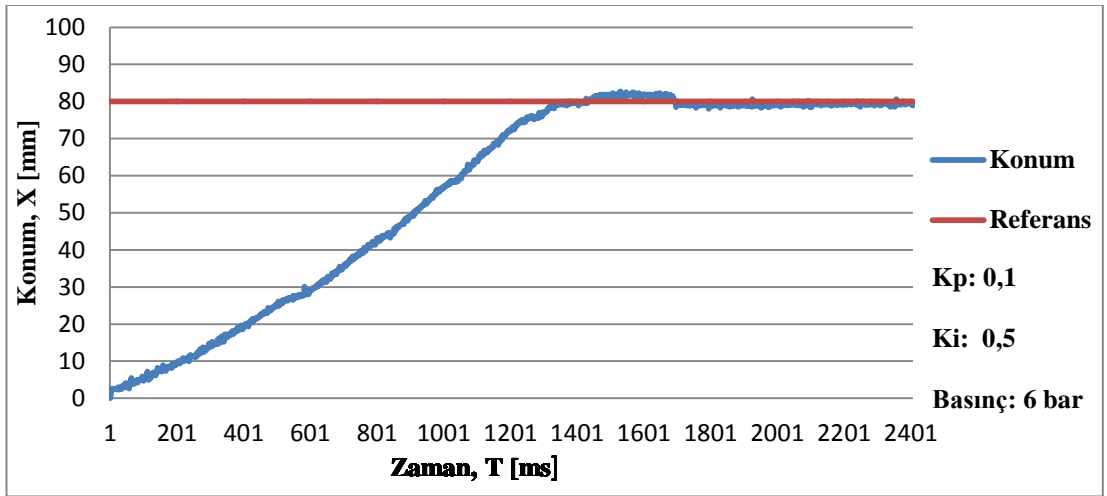
Şekil 5.23. Konum (X) – Zaman (T) grafiği (PI kontrol, 0-50 mm).



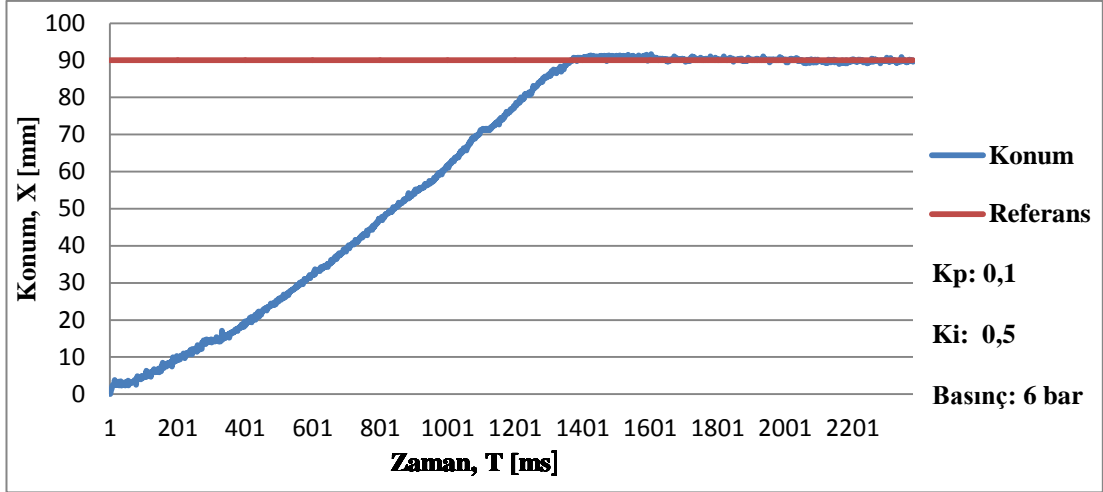
Şekil 5.24. Konum (X) – Zaman (T) grafiği (PI kontrol, 0-60 mm).



Şekil 5.25. Konum (X) – Zaman (T) grafiği (PI kontrol, 0-70 mm).



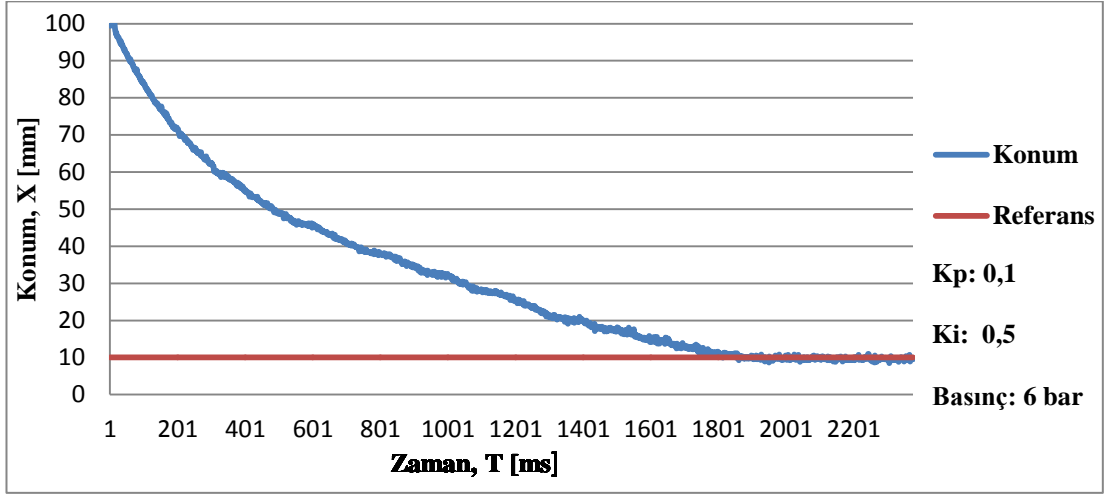
Şekil 5.26. Konum (X) – Zaman (T) grafiği (PI kontrol, 0-80 mm).



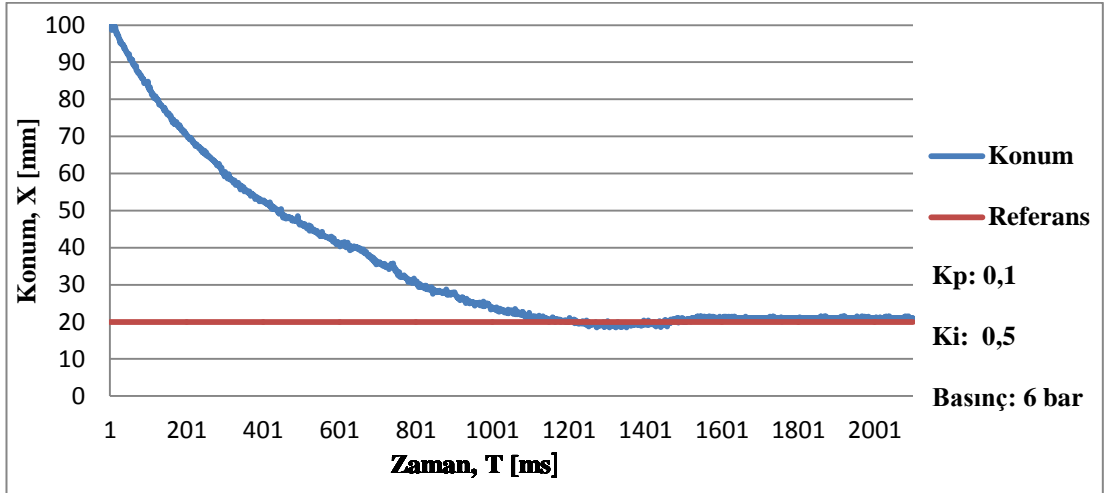
Şekil 5.27. Konum (X) – Zaman (T) grafiği (PI kontrol, 0-90 mm).

PI kontrol yönteminin test edildiği Şekil 5.19 – Şekil 5.27 arasındaki deneylerde pnömatik silindir kademeli olarak başlangıç konumundan son konumuna doğru 10 mm aralıklarla hareketlendirilmiştir. Deneyler 6 bar basınç altında yapılmıştır. Yapılan ön deneylerde bulunan kp ve ki kazanç değerine göre her deneyde silindirin osilasyona düşmediği görülmektedir. Konumlama hassasiyeti olarak en yüksek $\pm 1,2$ mm hata payının olduğu görülmektedir. Deneylerde konumlama hatası olarak genelde pozitif yönlü hatalar yapıldığı görülse de negatif yönlü hatalarında yapıldığı görülmektedir. Silindirin gösterdiği aşma davranışları büyük değerli olmadığından dolayı konumlama hatası aşma yönüne göre değil de hareket yönüne göre genelde şekillendiği ve pozitif yönlü olduğu görülmüştür. Silindirin sadece kazanç değerlerinin ayarlandığı 10 mm lik referans değerinde aşma yapmadığı diğer bütün referans değerlerinde aşma yaptığı görülmüş ancak tüm referans değerine kararlı bir şekilde oturduğu gözlenmektedir. Mesafenin uzamasının pnömatik silindirin referans noktasına ulaşma zamanı üzerinde doğrusal bir etki gösterdiği ve mesafe uzadıkça oturma zamanının genelde uzadığı görülmektedir. Ön deneylerde kp ve ki kazanç değerlerinin belirlenmesi için yapılan testlerde 10 mm mesafe kullanılmıştır. Bunun sonucu olarak pnömatik silindirin daha büyük mesafelere gitmesi için gerekli olan silindirin hareketini sağlayan valflerin açık kalma süresi birkaç adımda hesaplandığı grafiklerden gözlenmiştir. Valflerin açık kalma süreleri her adımda biraz daha azaldığı da grafiklerden görülebilmektedir.

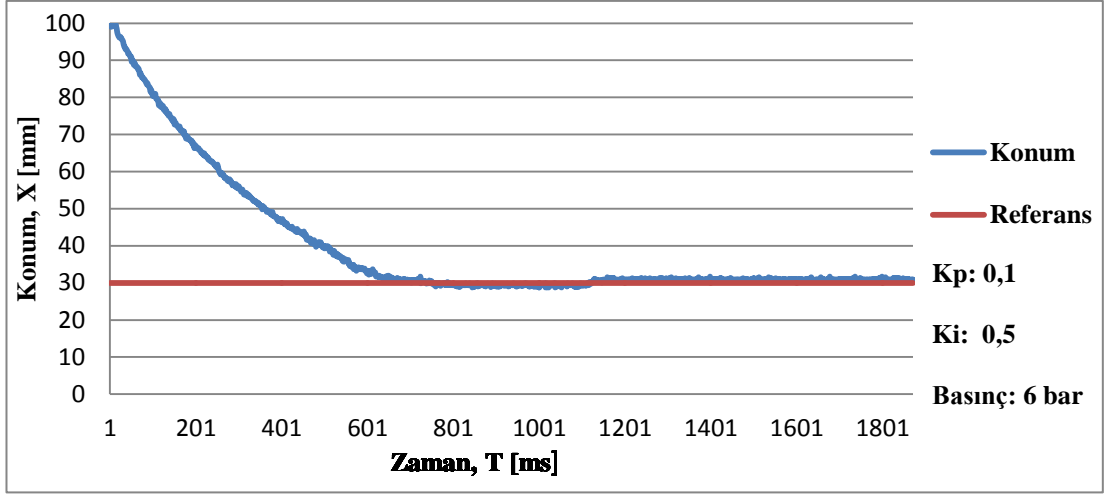
5.4. ORANSAL – İNTEGRAL KONTROL GERİ HAREKET



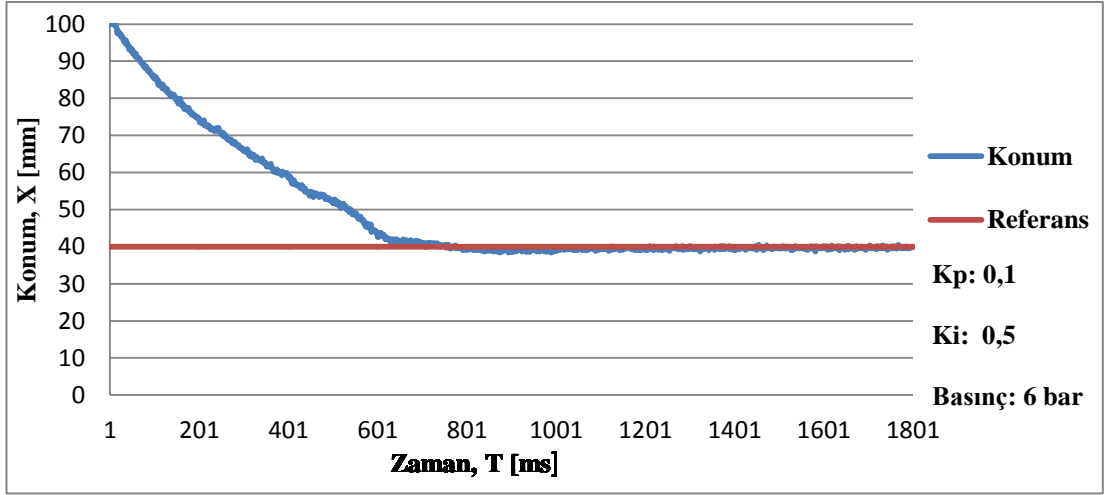
Şekil 5.28. Konum (X) – Zaman (T) grafiği (PI kontrol, 100-10 mm).



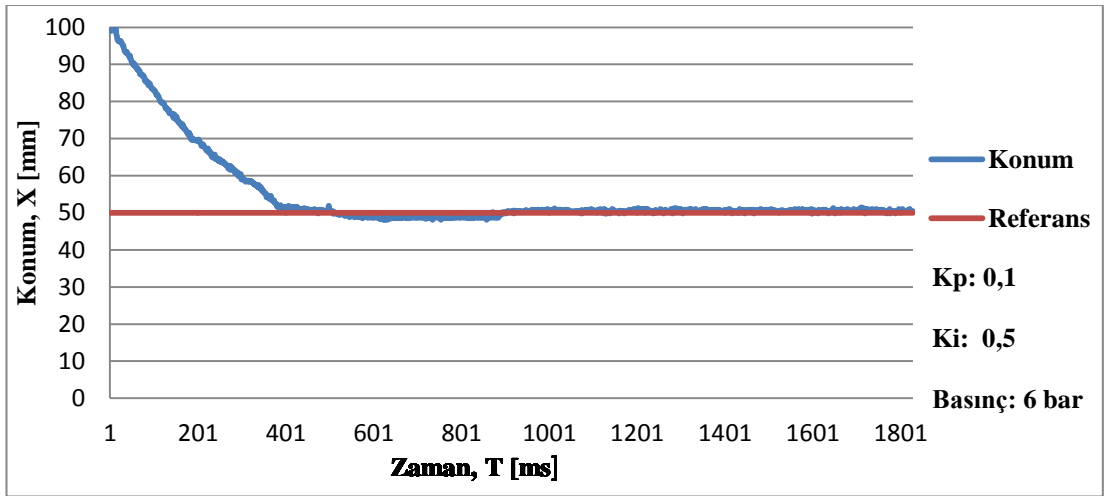
Şekil 5.29. Konum (X) – Zaman (T) grafiği (PI kontrol, 100-20 mm).



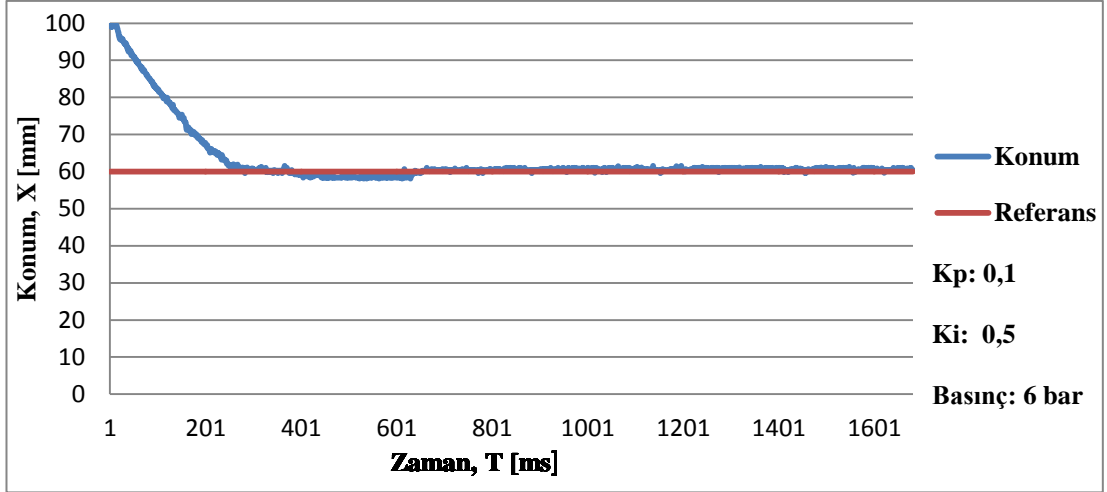
Şekil 5.30. Konum (X) – Zaman (T) grafiği (PI kontrol, 100-30 mm).



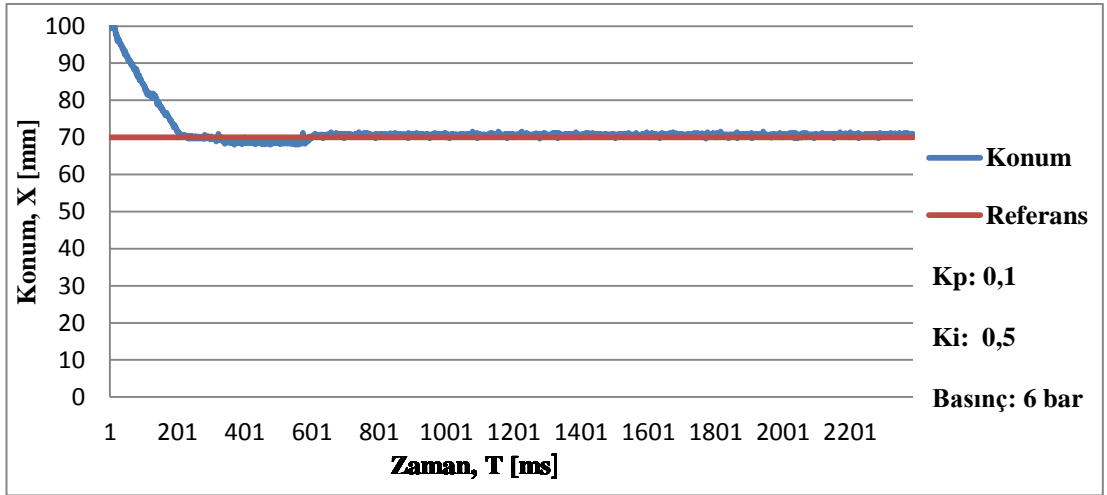
Şekil 5.31. Konum (X) – Zaman (T) grafiği (PI kontrol, 100-40 mm).



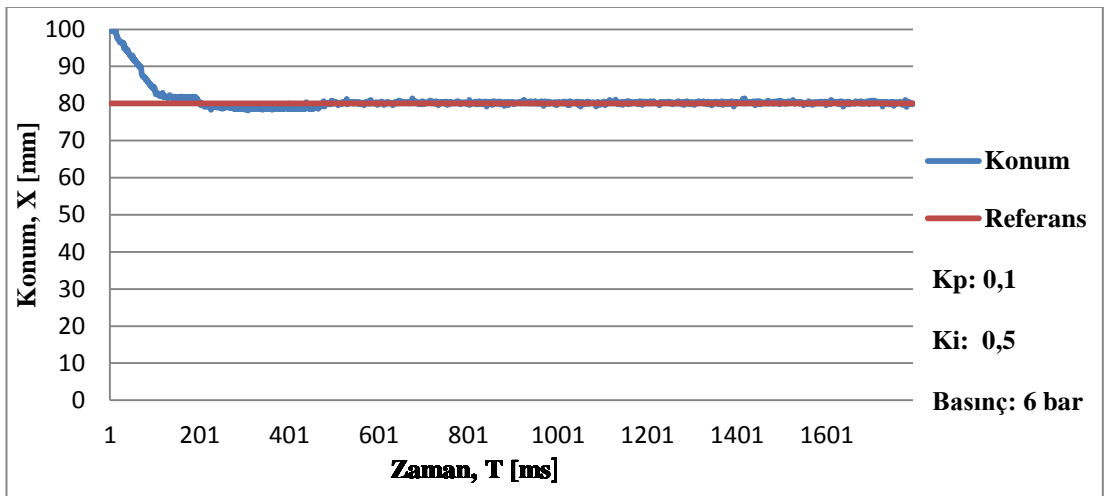
Şekil 5.32. Konum (X) – Zaman (T) grafiği (PI kontrol, 100-50 mm).



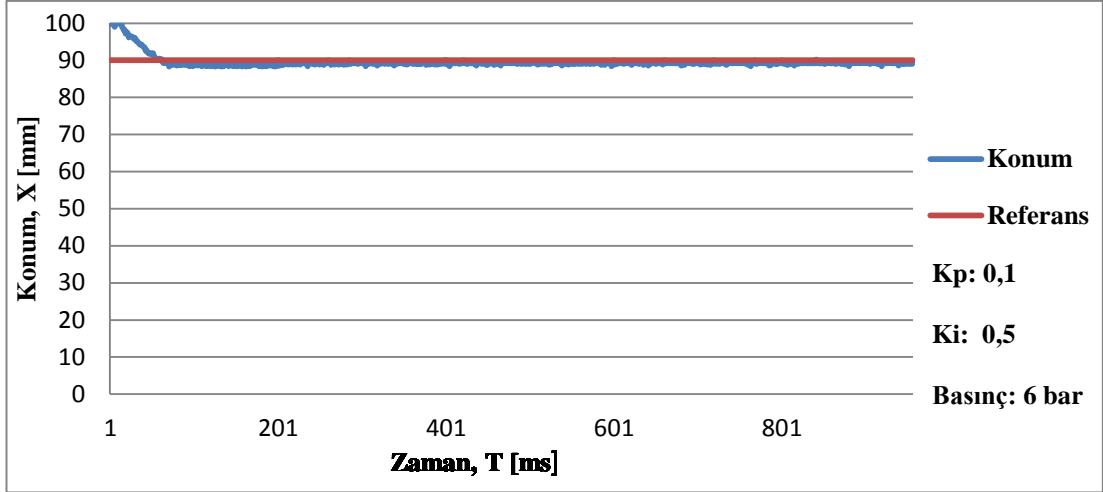
Şekil 5.33. Konum (X) – Zaman (T) grafiği (PI kontrol, 100-60 mm).



Şekil 5.34. Konum (X) – Zaman (T) grafiği (PI kontrol, 100-70 mm).



Şekil 5.35. Konum (X) – Zaman (T) grafiği (PI kontrol, 100-80 mm).

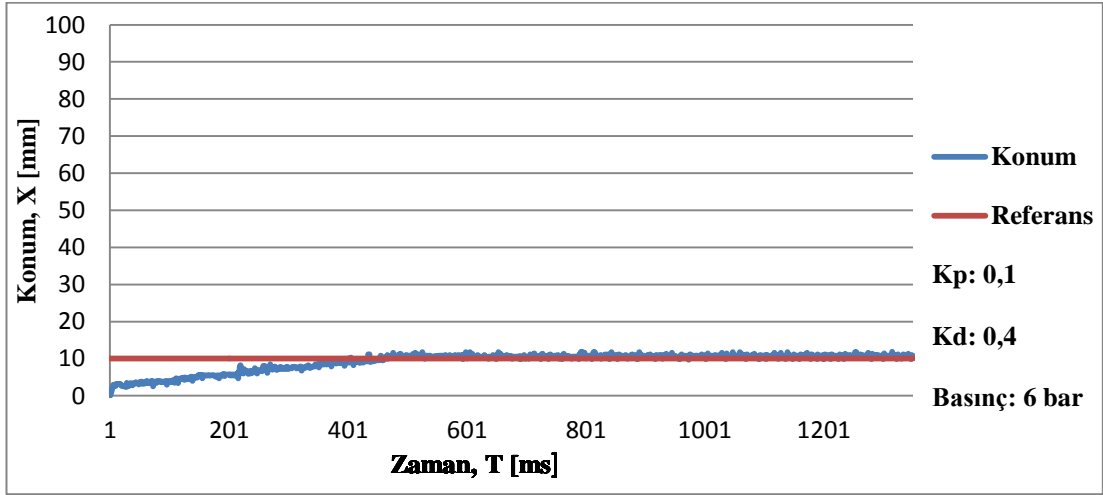


Şekil 5.36. Konum (X) – Zaman (T) grafiği (PI kontrol, 100-90 mm).

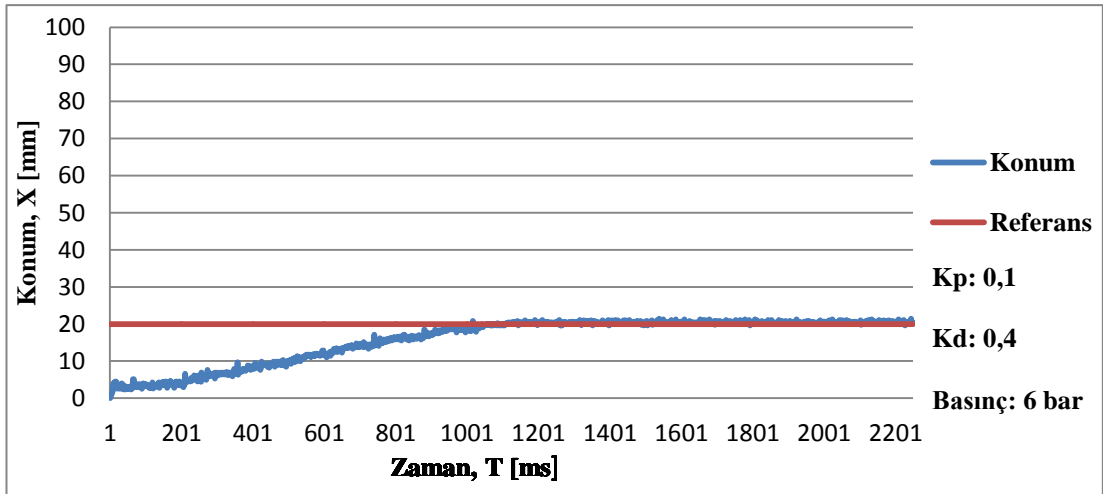
PI kontrol yönteminin test edildiği Şekil 5.28 – Şekil 5.36 arasındaki deneylerde pnömatik silindir kademeli olarak son konumundan başlangıç konumuna doğru 10 mm aralıklarla hareketlendirilmiştir. Deneyler 6 bar basınç altında yapılmıştır. Yapılan ön deneylerde bulunan k_p ve k_i kazanç değerlerine göre her deneyde silindirin osilasyona düşmediği görülmektedir. Konumlama hassasiyeti olarak en yüksek $\pm 1,2$ mm hata payının olduğu görülmektedir. Deneylerde konumlama hatası olarak genelde pozitif yönlü hatalar yapıldığı görülse de negatif yönlü hatalarında yapıldığı görülmektedir. Silindirin sadece kazanç değerlerinin ayarlandığı 10 mm lik referans değerinde aşma yapmadığı diğer bütün referans değerlerinde aşma yaptığı görülmüş ancak tüm referans değerine kararlı bir şekilde oturduğu gözlenmektedir. Yapılan aşma değerlerinin pozitif yönlü olduğu negatif yönlü bir aşma davranışının olmadığı görülmüştür. Genel olarak aşmanın olmadığı deneyde konumlama hatası hareket yönünde ve negatif iken aşmanın meydana geldiği deneylerde ise o anki hareket yönünde ve pozitif olduğu görülmektedir. Pnömatik silindirin her referans değerinde kararlı bir şekilde referans konumuna oturduğu gözlenmektedir. Mesafenin uzamasının pnömatik silindirin referans noktasına ulaşma zamanı üzerinde doğrusal bir etki gösterdiği ve mesafe uzadıkça oturma zamanının genelde uzadığı görülmektedir. Ön deneylerde k_p değerinin belirlenmesi için yapılan testlerde 10 mm mesafe kullanılmıştır. Bunun sonucu olarak pnömatik silindirin daha büyük mesafelere gitmesi için gerekli olan silindirin hareketini sağlayan valflerin açık kalma süresi birkaç adımda hesaplandığı grafiklerden gözlenmiştir. Valflerin açık

kalma süreleri her adımda biraz daha azaldığı da grafiklerden görülebilmektedir. Bu adımların ileri yönlü harekete göre geri yönlü hareketlerde daha belirgin olduğu görülmektedir.

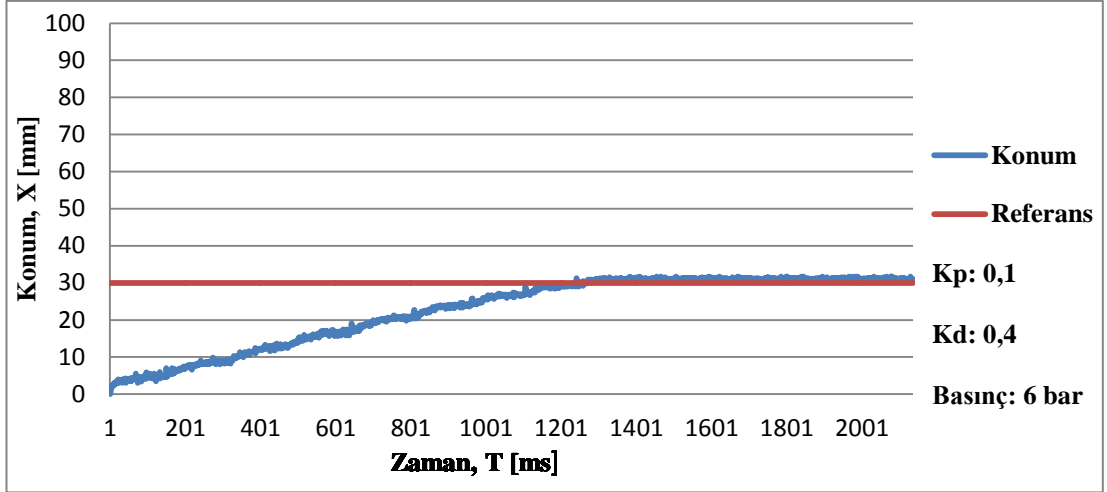
5.5. ORANSAL – TÜREV KONTROL İLERİ HAREKET



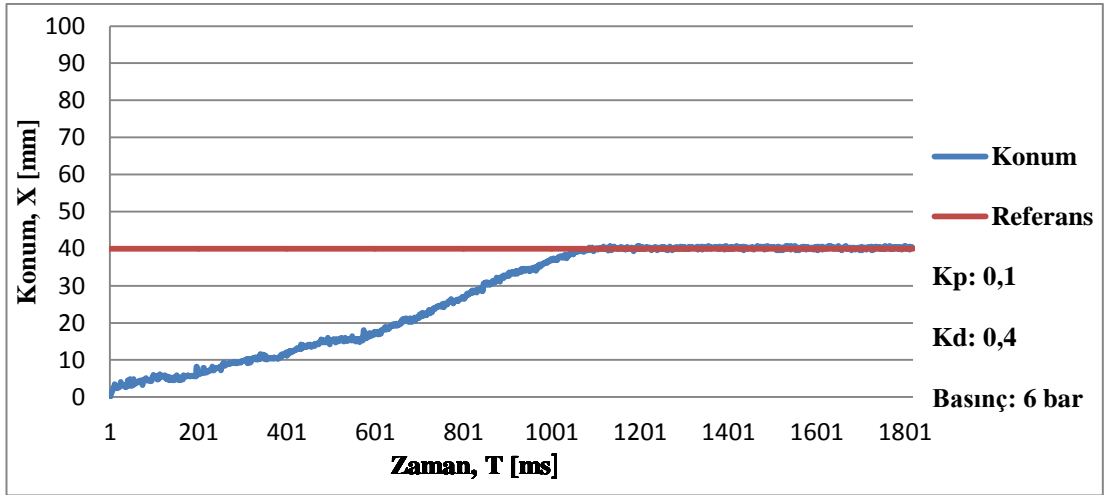
Şekil 5.37. Konum (X) – Zaman (T) grafiği (PD kontrol, 0-10 mm).



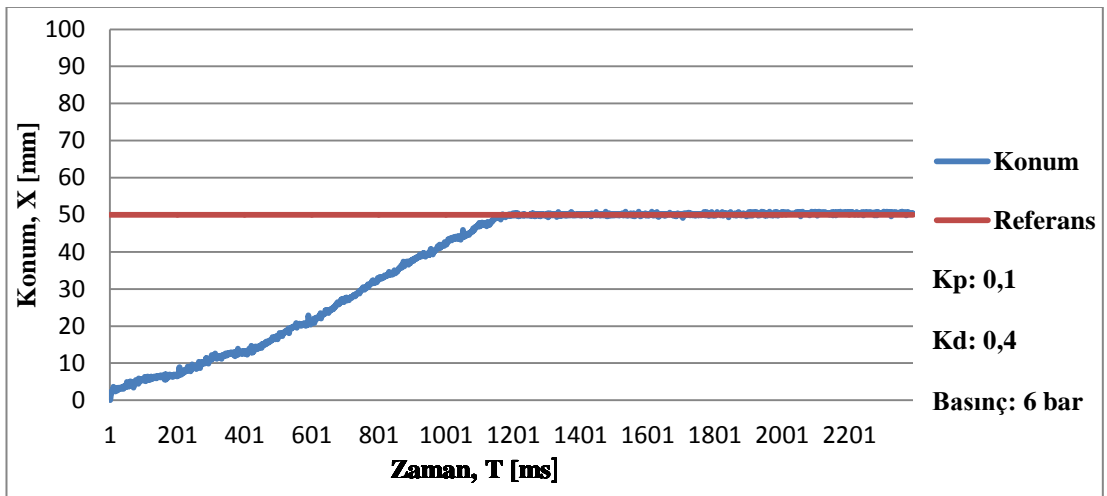
Şekil 5.38. Konum (X) – Zaman (T) grafiği (PD kontrol, 0-20 mm).



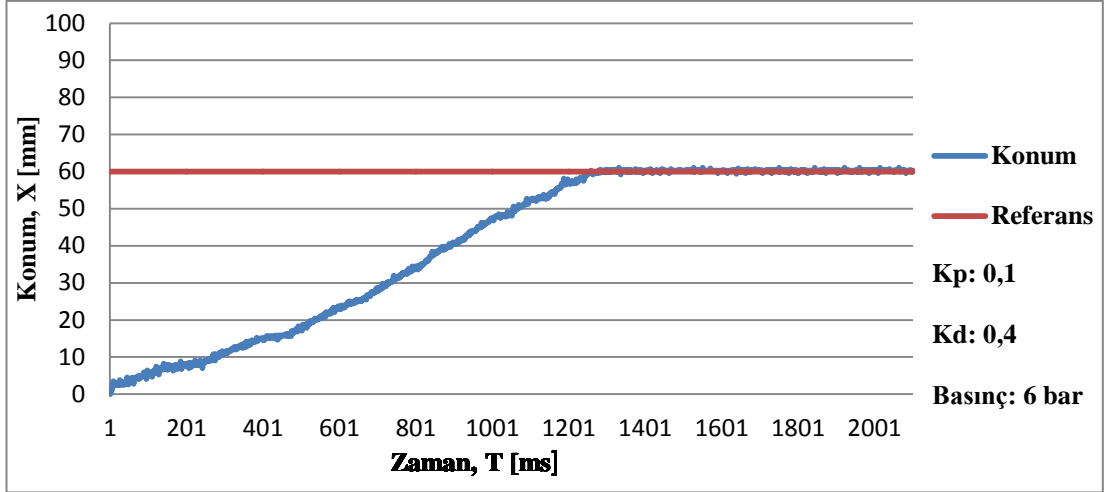
Şekil 5.39. Konum (X) – Zaman (T) grafiği (PD kontrol, 0-30 mm).



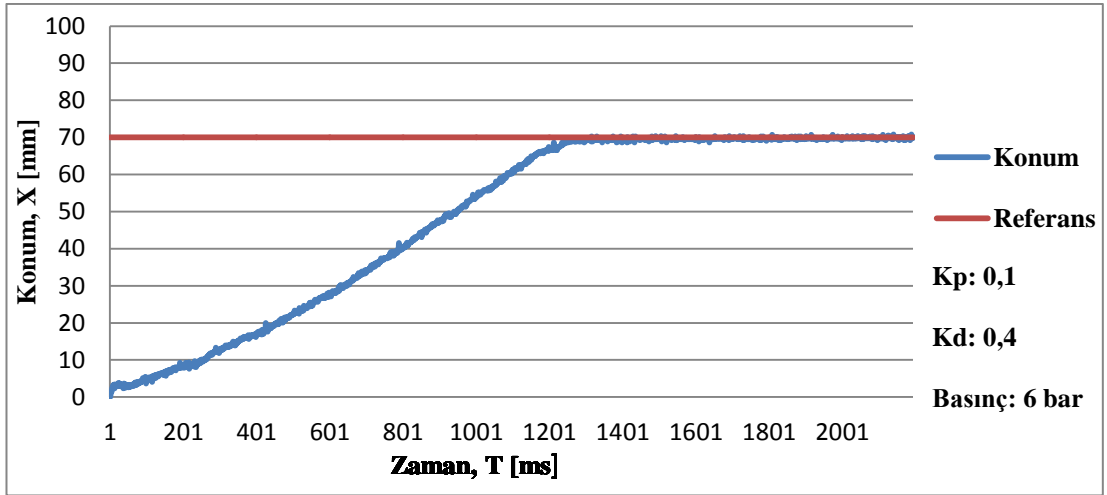
Şekil 5.40. Konum (X) – Zaman (T) grafiği (PD kontrol, 0-40 mm).



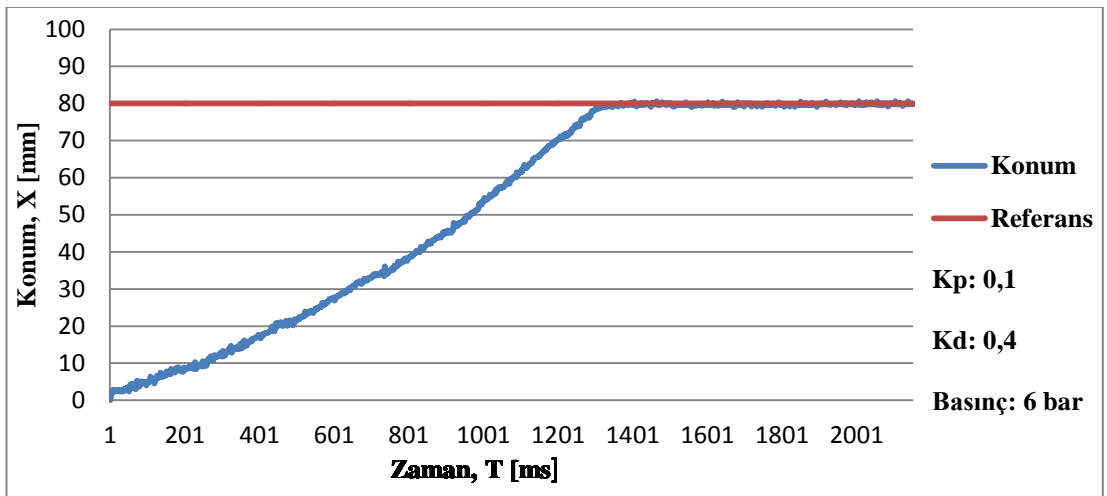
Şekil 5.41. Konum (X) – Zaman (T) grafiği (PD kontrol, 0-50 mm).



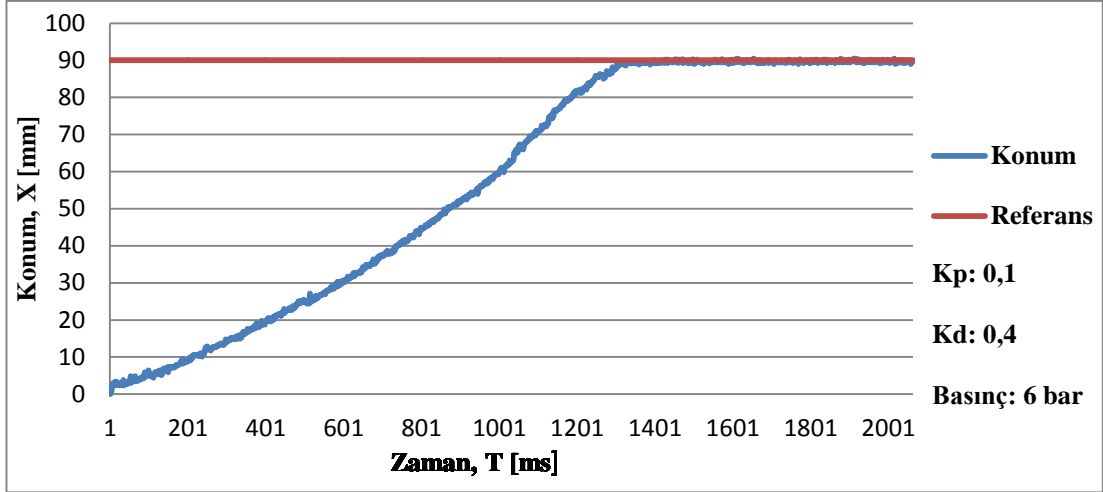
Şekil 5.42. Konum (X) – Zaman (T) grafiği (PD kontrol, 0-60 mm).



Şekil 5.43. Konum (X) – Zaman (T) grafiği (PD kontrol, 0-70 mm).



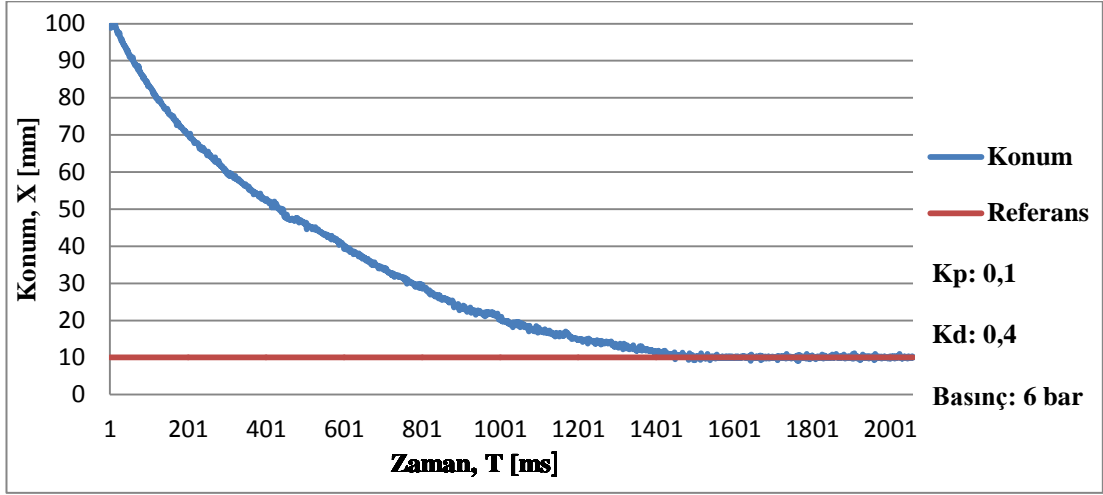
Şekil 5.44. Konum (X) – Zaman (T) grafiği (PD kontrol, 0-80 mm).



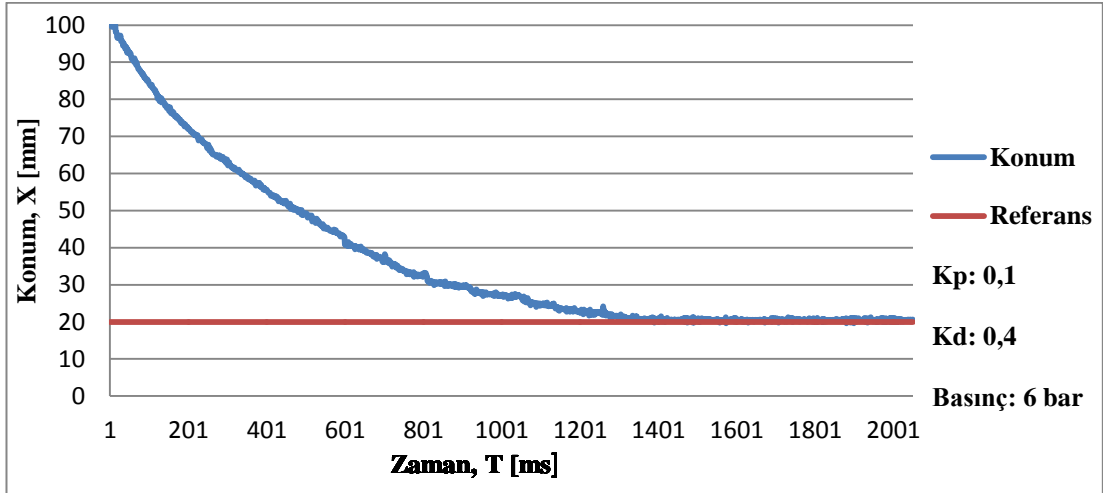
Şekil 5.45. Konum (X) – Zaman (T) grafiği (PD kontrol, 0-90 mm).

PD kontrol yönteminin test edildiği Şekil 5.37 – Şekil 5.45 arasındaki deneylerde pnömatik silindir kademeli olarak başlangıç konumundan son konumuna doğru 10 mm aralıklarla hareketlendirilmiştir. Deneyler 6 bar basınç altında yapılmıştır. Yapılan ön deneylerde bulunan k_p ve k_d kazanç değerlerine göre her deneyde silindirin osilasyona düşmediği görülmektedir. Konumlama hassasiyeti olarak en yüksek ± 1 mm hata payının olduğu görülmektedir. Deneylerde konumlama hatası olarak genelde pozitif yönlü hatalar yapıldığı görülmektedir. Silindirin hiç aşma yapmadığı kararlı bir şekilde referans konumuna oturduğu gözlenmektedir. Mesafenin uzamasının pnömatik silindirin referans noktasına ulaşma zamanı üzerinde doğrusal bir etki gösterdiği ve mesafe uzadıkça oturma zamanının genelde uzadığı görülmektedir. Ön deneylerde k_p değerinin belirlenmesi için yapılan testlerde 10 mm mesafe kullanılmıştır. Bunun sonucu olarak pnömatik silindirin daha büyük mesafelere gitmesi için gerekli olan silindirin hareketini sağlayan valflerin açık kalma süresi birkaç adımda hesaplandığı grafiklerden gözlenmiştir. Valflerin açık kalma süreleri her adımda biraz daha azaldığı da grafiklerden görülebilmektedir.

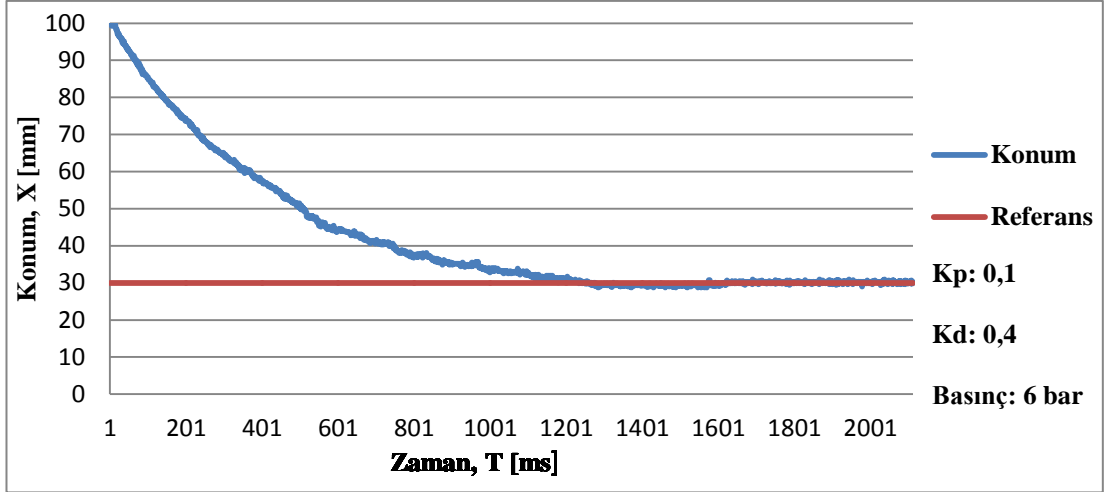
5.6. ORANSAL – TÜREV KONTROL GERİ HAREKET



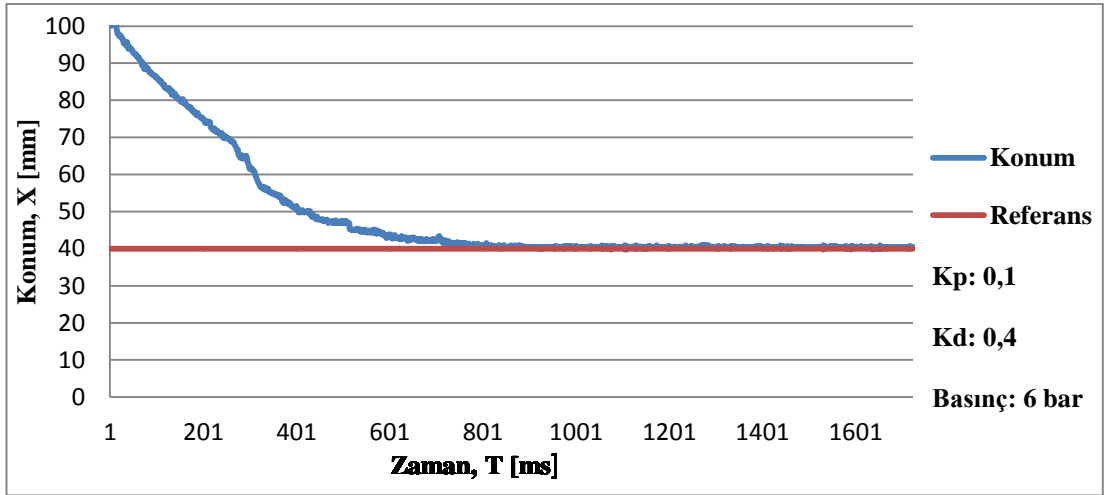
Şekil 5.46. Konum (X) – Zaman (T) grafiği (PD kontrol, 100-10 mm).



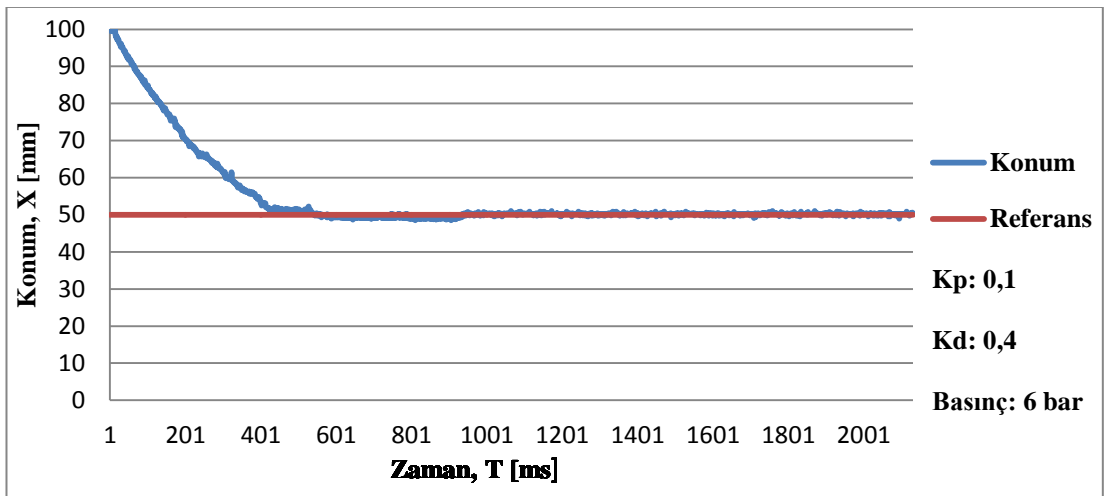
Şekil 5.47. Konum (X) – Zaman (T) grafiği (PD kontrol, 100-20 mm).



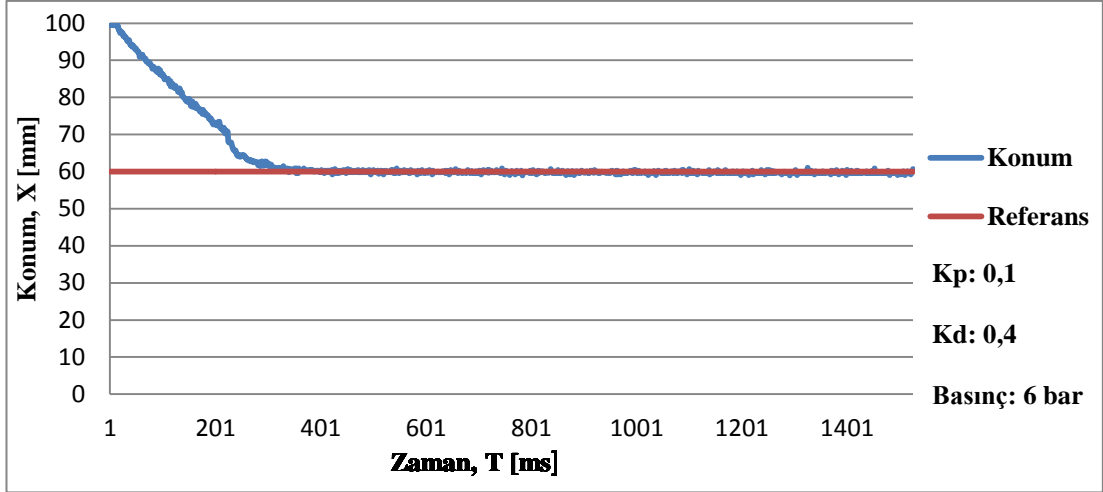
Şekil 5.48. Konum (X) – Zaman (T) grafiği (PD kontrol, 100-30 mm).



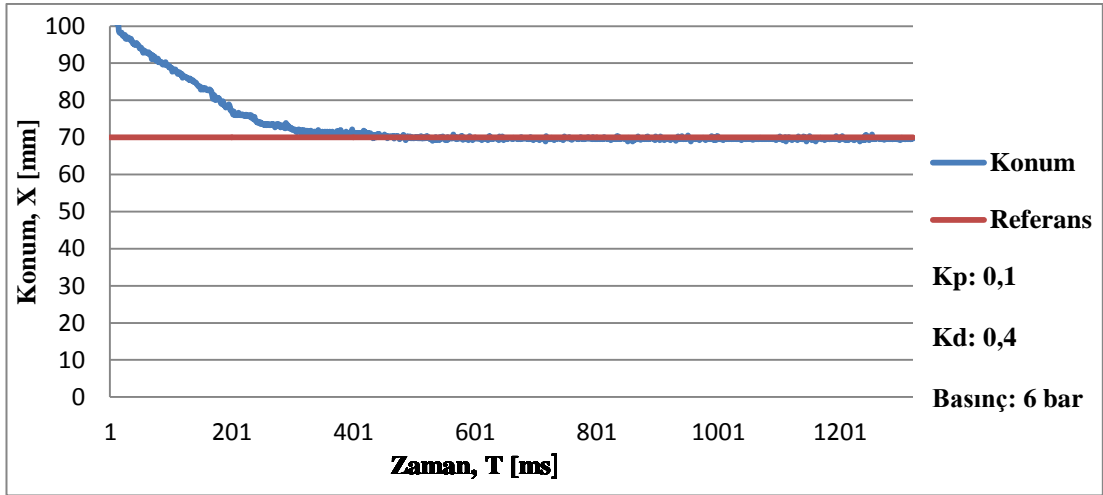
Şekil 5.49. Konum (X) – Zaman (T) grafiği (PD kontrol, 100-40 mm).



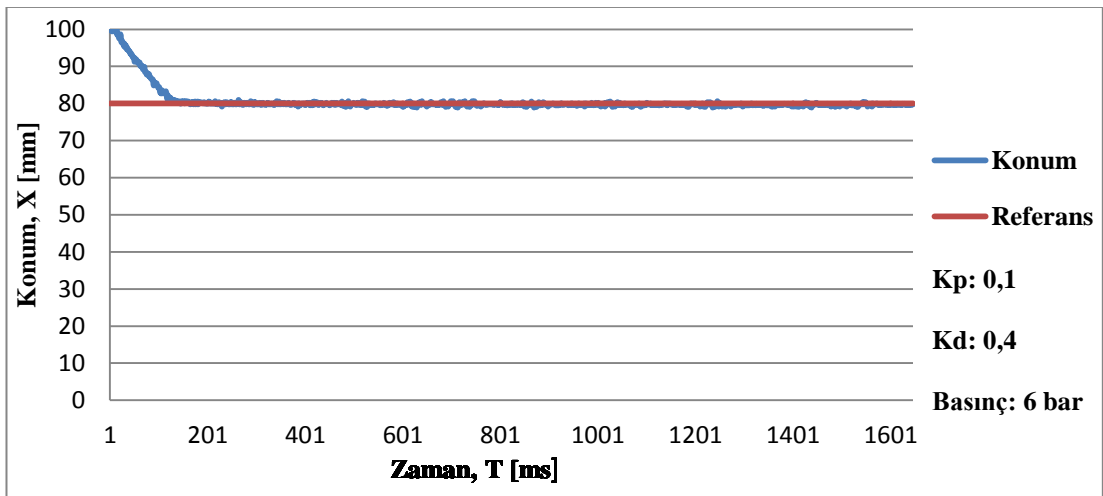
Şekil 5.50. Konum (X) – Zaman (T) grafiği (PD kontrol, 100-50 mm).



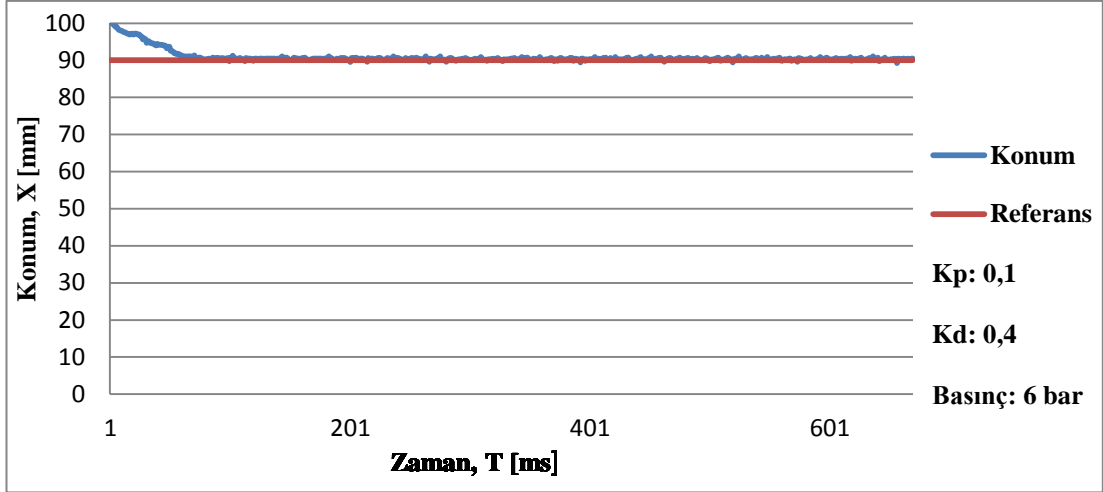
Şekil 5.51. Konum (X) – Zaman (T) grafiği (PD kontrol, 100-60 mm).



Şekil 5.52. Konum (X) – Zaman (T) grafiği (PD kontrol, 100-70 mm).



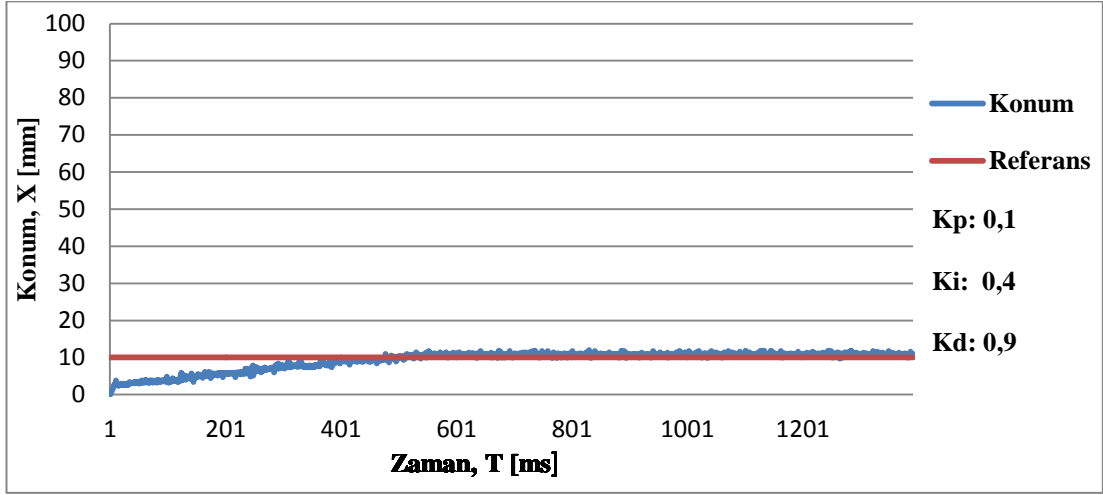
Şekil 5.53. Konum (X) – Zaman (T) grafiği (PD kontrol, 100-80 mm).



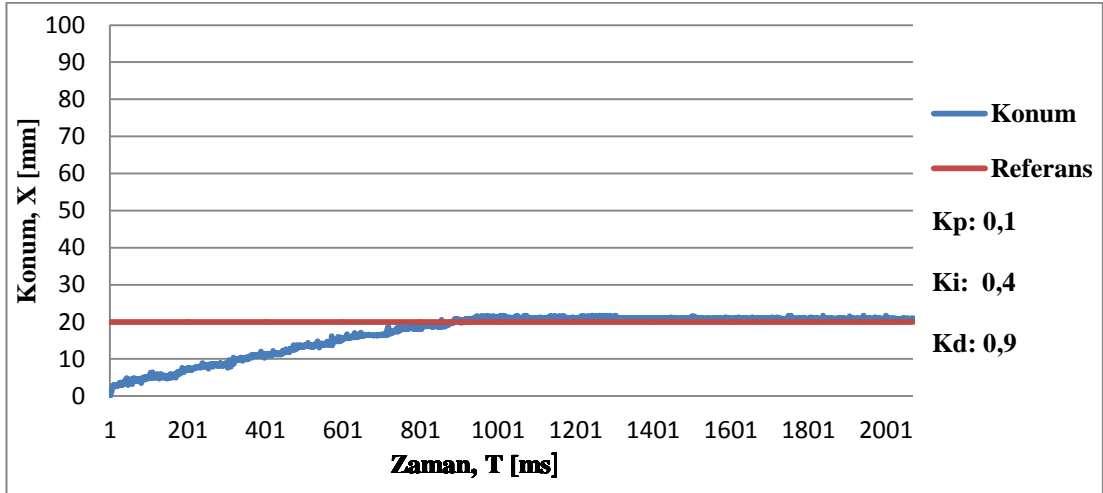
Şekil 5.54. Konum (X) – Zaman (T) grafiği (PD kontrol, 100-90 mm).

PD kontrol yönteminin test edildiği Şekil 5.46 – Şekil 5.54 arasındaki deneylerde pnömatik silindir kademeli olarak son konumundan başlangıç konumuna doğru 10 mm aralıklarla hareketlendirilmiştir. Deneyler 6 bar basınç altında yapılmıştır. Yapılan ön deneylerde bulunan k_p ve k_d kazanç değerlerine göre her deneyde silindirin osilasyona düşmediği görülmektedir. Konumlama hassasiyeti olarak en yüksek ± 1 mm hata payının olduğu görülmektedir. Deneylerde konumlama hatası olarak genelde pozitif yönlü hatalar yapıldığı görülmektedir. Silindirin hiç aşma yapmadığı kararlı bir şekilde referans konumuna oturduğu gözlenmektedir. Mesafenin uzamasının pnömatik silindirin referans noktasına ulaşma zamanı üzerinde doğrusal bir etki gösterdiği ve mesafe uzadıkça oturma zamanının genelde uzadığı görülmektedir. Ön deneylerde k_p değerinin belirlenmesi için yapılan testlerde 10 mm mesafe kullanılmıştır. Bunun sonucu olarak pnömatik silindirin daha büyük mesafelere gitmesi için gerekli olan silindirin hareketini sağlayan valflerin açık kalma süresi birkaç adımda hesaplandığı grafiklerden gözlenmiştir. Valflerin açık kalma süreleri her adımda biraz daha azaldığı da grafiklerden görülebilmektedir. Bu adımların ileri yönlü harekete göre geri yönlü hareketlerde daha belirgin olduğu görülmektedir.

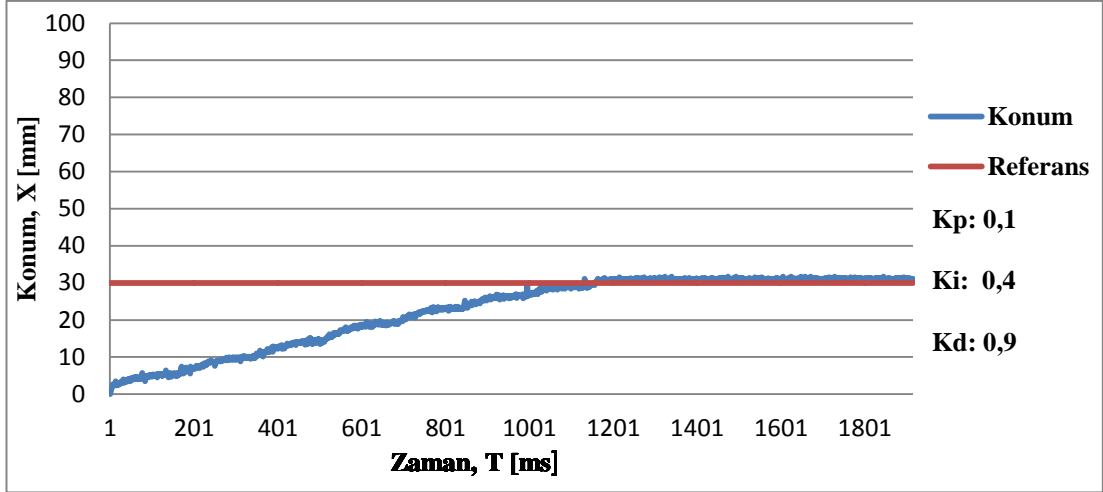
5.7. ORANSAL – İNTEGRAL – TÜREV KONTROL İLERİ HAREKET



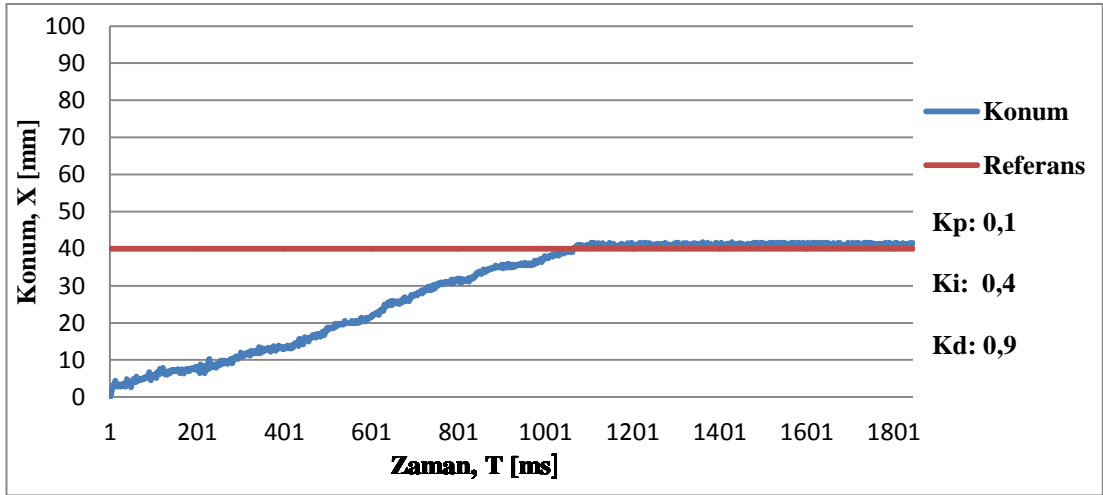
Şekil 5.55. Konum (X) – Zaman (T) grafiği (PID kontrol, 0-10 mm).



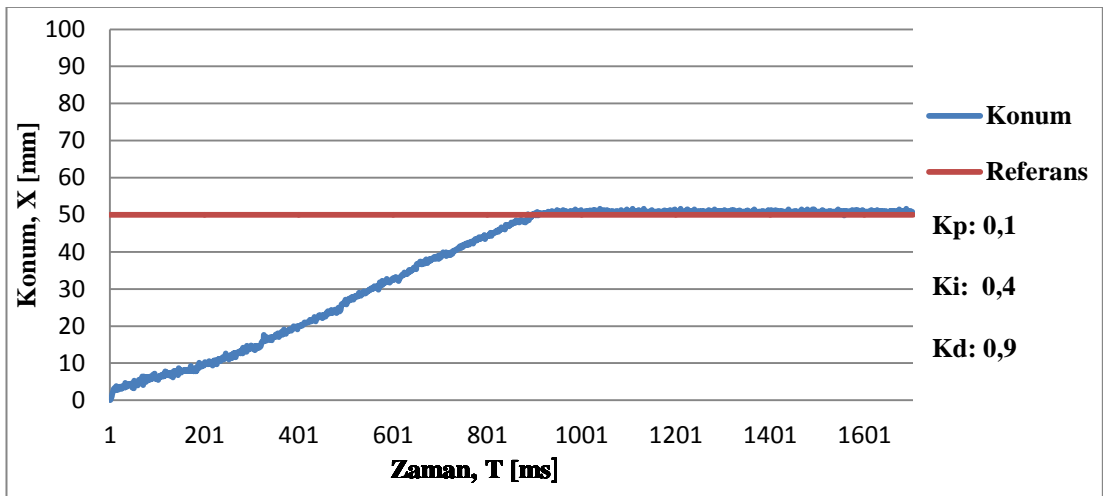
Şekil 5.56. Konum (X) – Zaman (T) grafiği (PID kontrol, 0-20 mm).



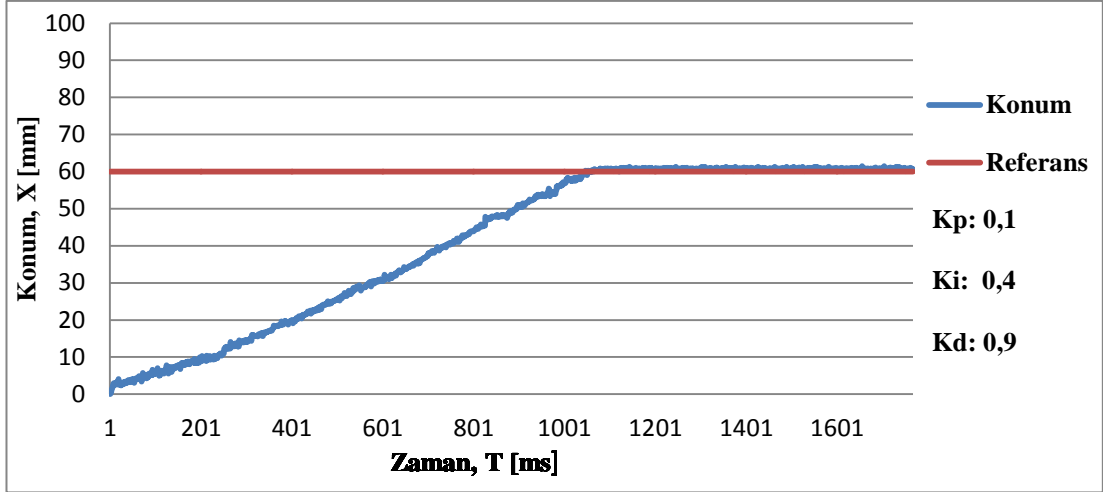
Şekil 5.57. Konum (X) – Zaman (T) grafiği (PID kontrol, 0-30 mm).



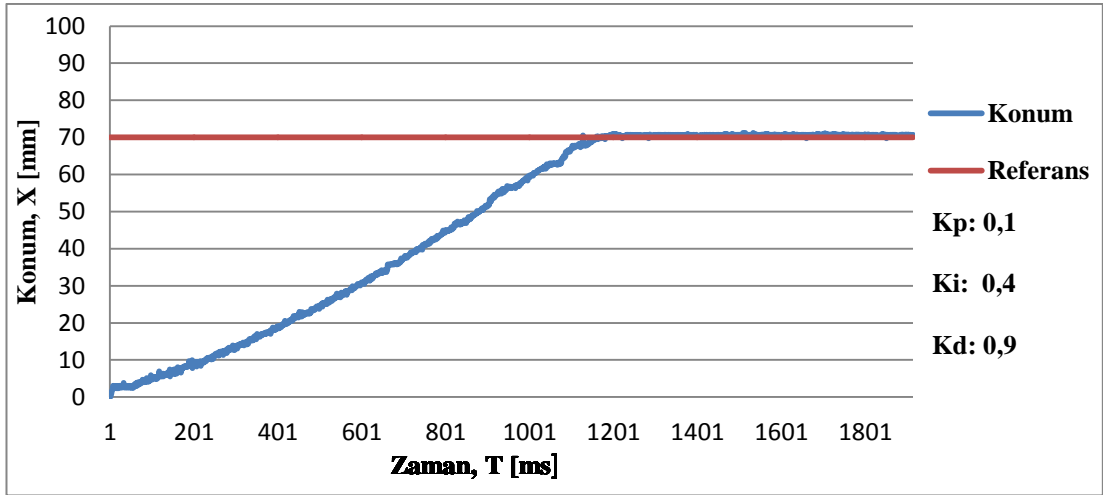
Şekil 5.58. Konum (X) – Zaman (T) grafiği (PID kontrol, 0-40 mm).



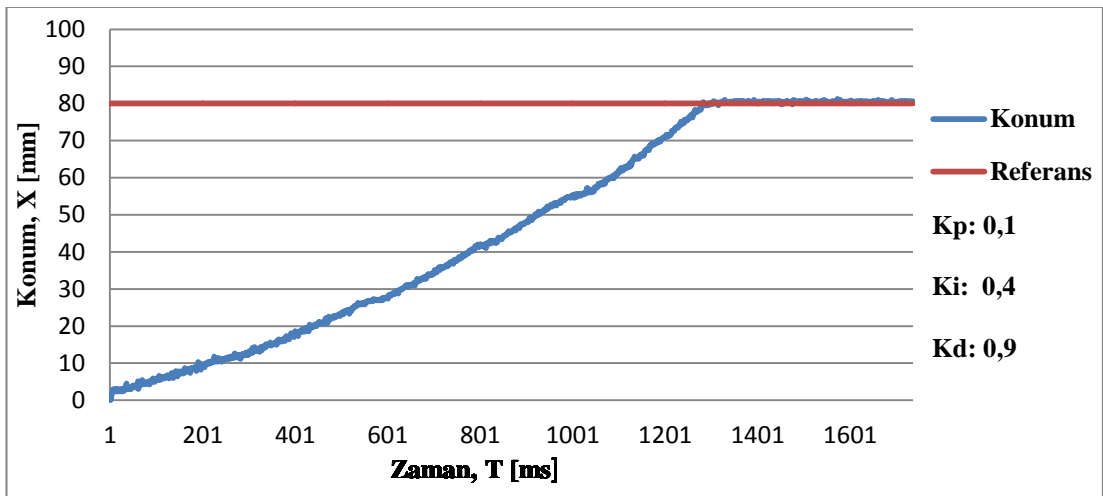
Şekil 5.59. Konum (X) – Zaman (T) grafiği (PID kontrol, 0-50 mm).



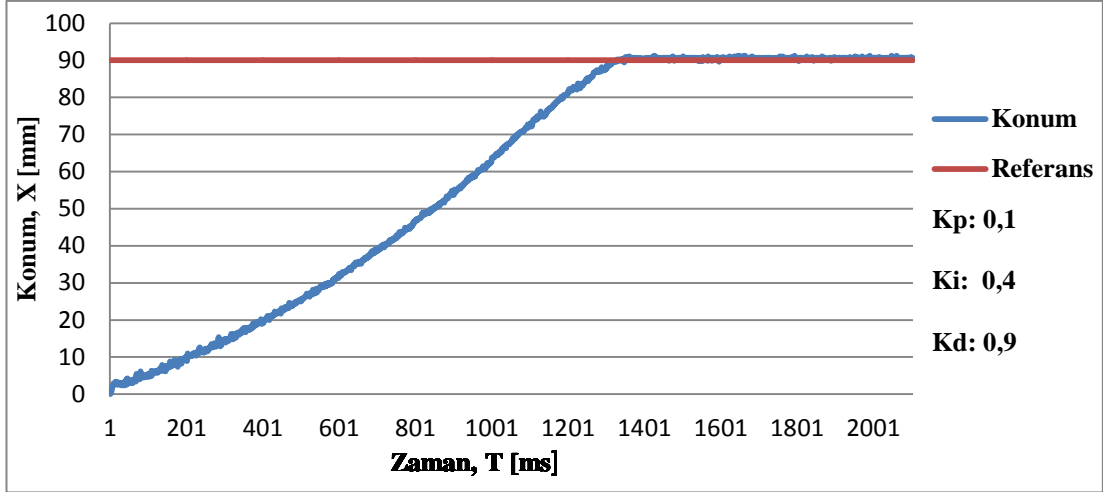
Şekil 5.60. Konum (X) – Zaman (T) grafiği (PID kontrol, 0-60 mm).



Şekil 5.61. Konum (X) – Zaman (T) grafiği (PID kontrol, 0-70 mm).



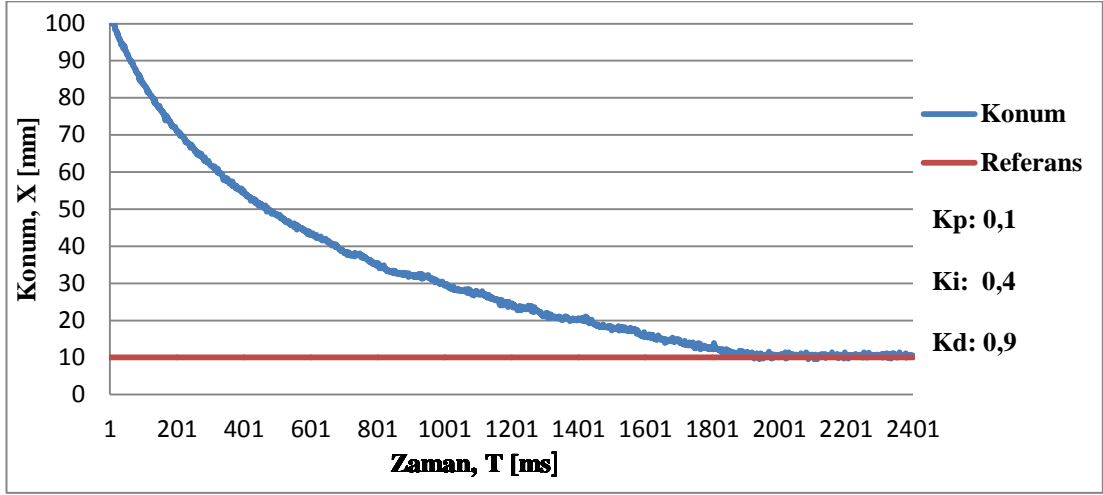
Şekil 5.62. Konum (X) – Zaman (T) grafiği (PID kontrol, 0-80 mm).



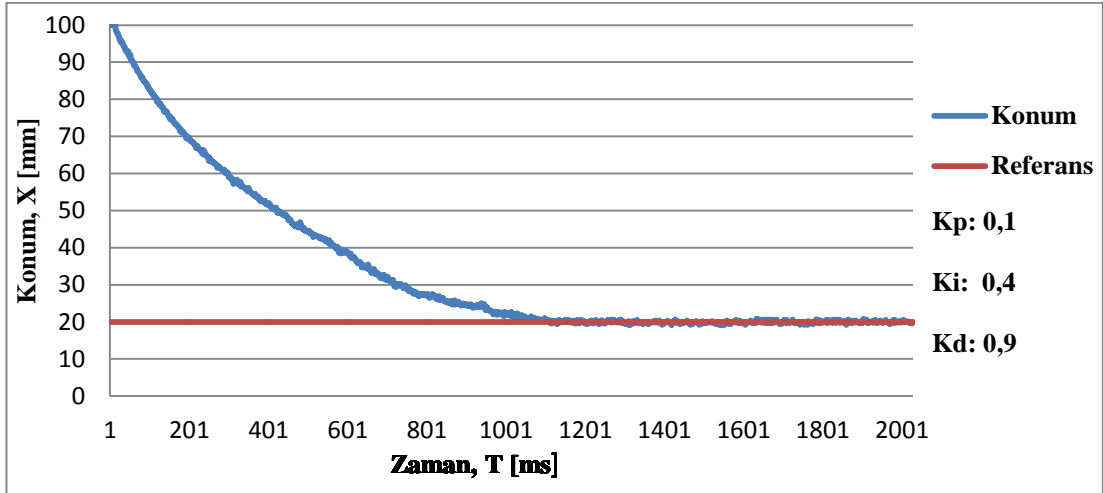
Şekil 5.63. Konum (X) – Zaman (T) grafiği (PID kontrol, 0-90 mm).

PID kontrol yönteminin test edildiği Şekil 5.55 – Şekil 5.63 arasındaki deneylerde pnömatik silindir kademeli olarak başlangıç konumundan son konumuna doğru 10 mm aralıklarla hareketlendirilmiştir. Deneyler 6 bar basınç altında yapılmıştır. Yapılan ön deneylerde bulunan kp, ki ve kd kazanç değerlerine göre her deneyde silindirin osilasyona düşmediği görülmektedir. Konumlama hassasiyeti olarak en yüksek $\pm 1,5$ mm hata payının olduğu görülmektedir. Deneylerde konumlama hatası olarak genelde pozitif yönlü hatalar yapıldığı görülmektedir. Silindirin hiç aşma yapmadığı kararlı bir şekilde referans konumuna oturduğu gözlenmektedir. Mesafenin uzamasının pnömatik silindirin referans noktasına ulaşma zamanı üzerinde doğrusal bir etki gösterdiği ve mesafe uzadıkça oturma zamanının genelde uzadığı görülmektedir. Ön deneylerde kp değerinin belirlenmesi için yapılan testlerde 10 mm mesafe kullanılmıştır. Bunun sonucu olarak pnömatik silindirin daha büyük mesafelere gitmesi için gerekli olan silindirin hareketini sağlayan valflerin açık kalma süresi birkaç adımda hesaplandığı grafiklerden gözlenmiştir. Valflerin açık kalma süreleri her adımda biraz daha azaldığı da grafiklerden görülebilmektedir.

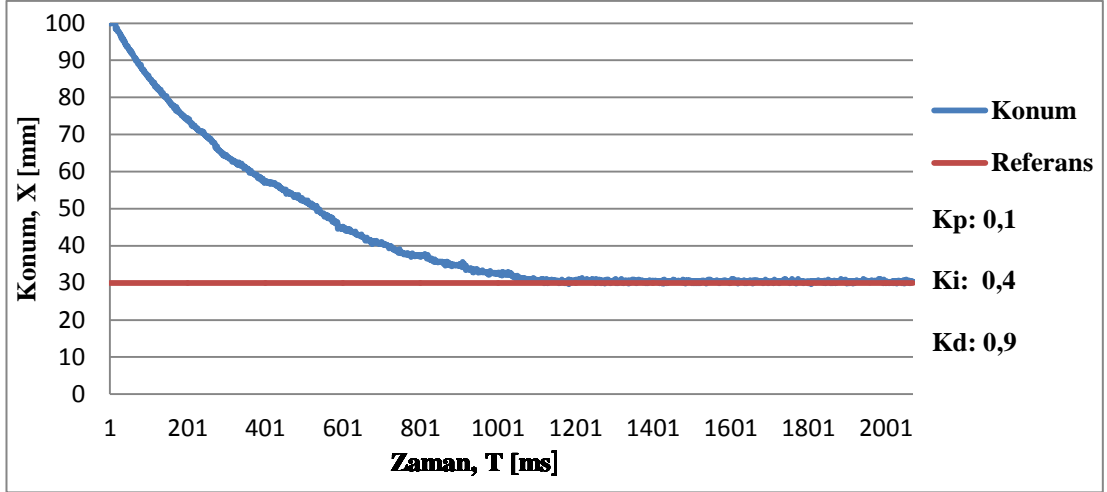
5.8. ORANSAL – İNTEGRAL – TÜREV KONTROL GERİ HAREKET



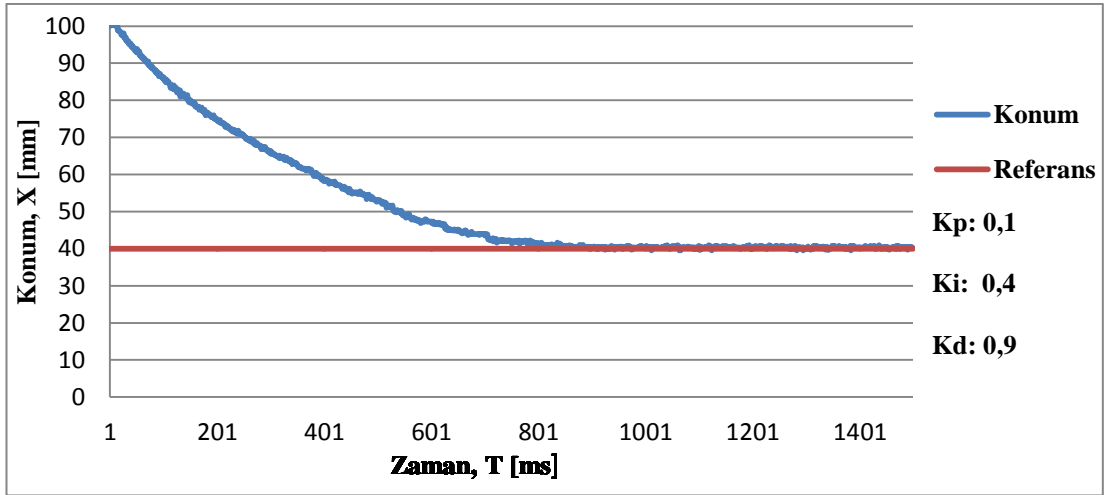
Şekil 5.64. Konum (X) – Zaman (T) grafiği (PID kontrol, 100-10 mm).



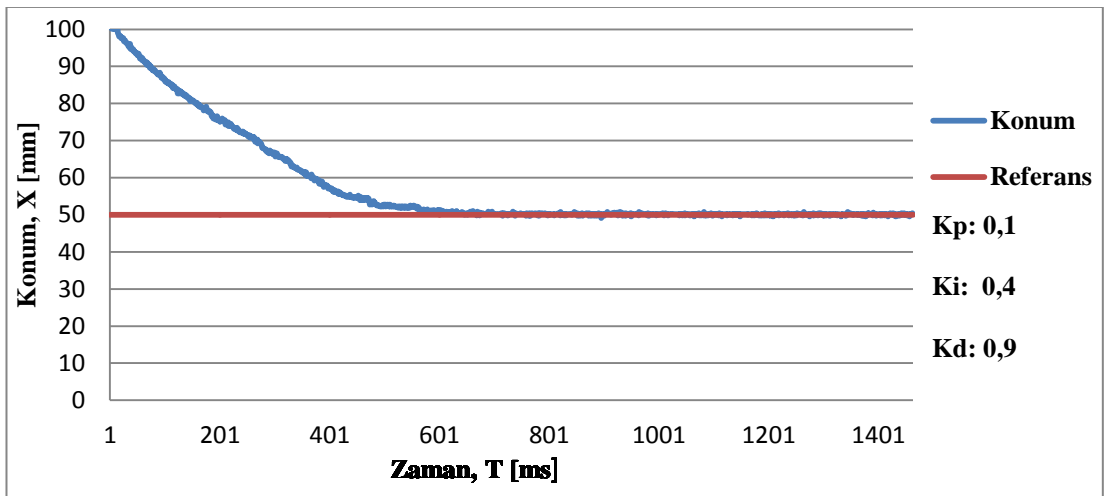
Şekil 5.65. Konum (X) – Zaman (T) grafiği (PID kontrol, 100-20 mm).



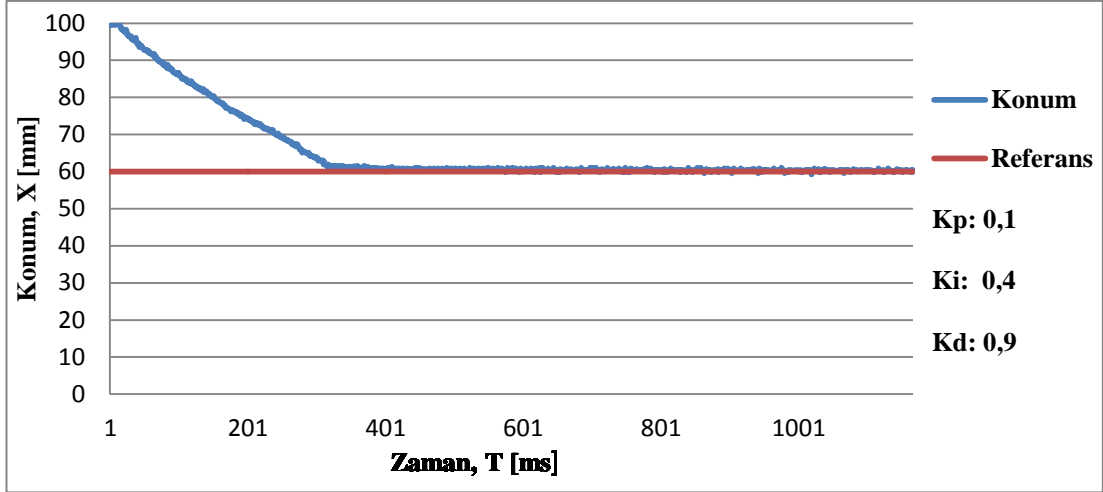
Şekil 5.66. Konum (X) – Zaman (T) grafiği (PID kontrol, 100-30 mm).



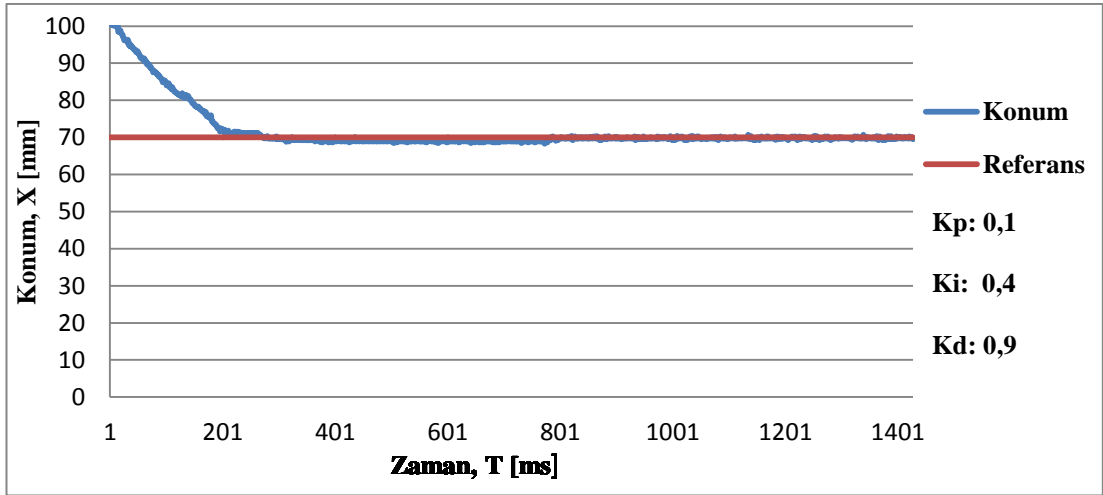
Şekil 5.67. Konum (X) – Zaman (T) grafiği (PID kontrol, 100-40 mm).



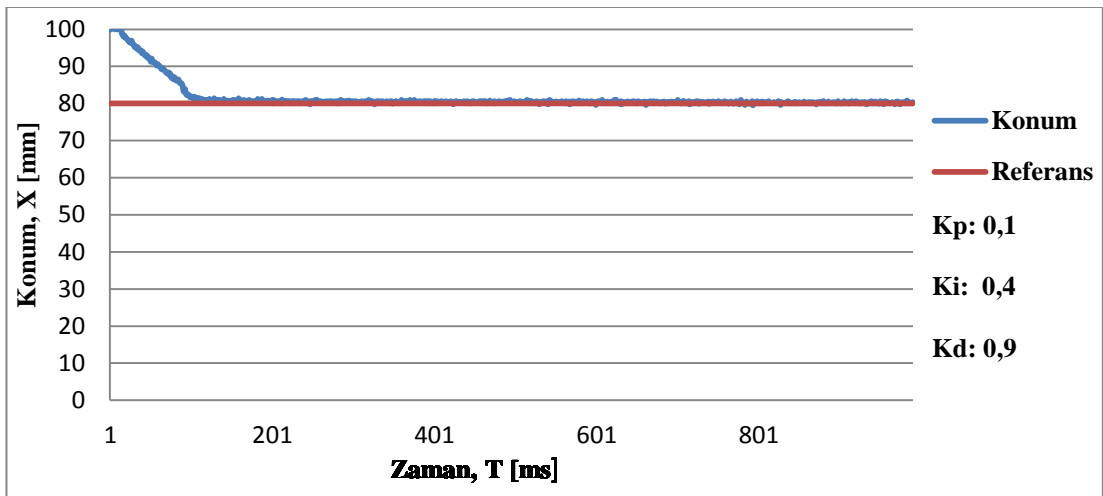
Şekil 5.68. Konum (X) – Zaman (T) grafiği (PID kontrol, 100-50 mm).



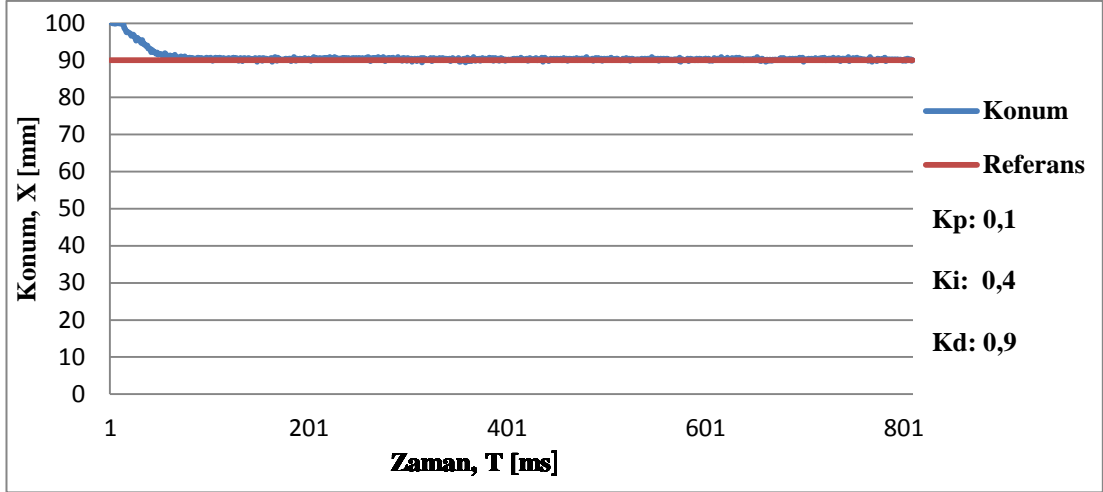
Şekil 5.69. Konum (X) – Zaman (T) grafiği (PID kontrol, 100-60 mm).



Şekil 5.70. Konum (X) – Zaman (T) grafiği (PID kontrol, 100-70 mm).



Şekil 5.71. Konum (X) – Zaman (T) grafiği (PID kontrol, 100-80 mm).



Şekil 5.72. Konum (X) – Zaman (T) grafiği (PID kontrol, 100-90 mm).

PID kontrol yönteminin test edildiği Şekil 5.64 – Şekil 5.72 arasındaki deneylerde pnömatik silindir kademeli olarak son konumundan başlangıç konumuna doğru 10 mm aralıklarla hareketlendirilmiştir. Deneyler 6 bar basınç altında yapılmıştır. Yapılan ön deneylerde bulunan kp, ki ve kd kazanç değerlerine göre her deneyde silindirin osilasyona düşmediği görülmektedir. Konumlama hassasiyeti olarak en yüksek ± 1 mm hata payının olduğu görülmektedir. Deneylerde konumlama hatası olarak genelde pozitif yönlü hatalar yapıldığı görülmektedir. Silindirin hiç aşma yapmadığı kararlı bir şekilde referans konumuna oturduğu gözlenmektedir. Mesafenin uzamasının pnömatik silindirin referans noktasına ulaşma zamanı üzerinde doğrusal bir etki gösterdiği ve mesafe uzadıkça oturma zamanının genelde uzadığı görülmektedir. Ön deneylerde kp değerinin belirlenmesi için yapılan testlerde 10 mm mesafe kullanılmıştır. Bunun sonucu olarak pnömatik silindirin daha büyük mesafelere gitmesi için gerekli olan silindirin hareketini sağlayan valflerin açık kalma süresi birkaç adımda hesaplandığı grafiklerden gözlenmiştir. Valflerin açık kalma süreleri her adımda biraz daha azaldığı da grafiklerden görülebilmektedir. Bu adımların ileri yönlü harekete göre geri yönlü hareketlerde daha belirgin olduğu görülmektedir.

BÖLÜM 6

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Pnömatik sistemlerin konum kontrolünde kullanılan PID kontrol yönteminin kazanç değerleri olan k_p , k_i , k_d 'nin değişimlerinin sistem üzerindeki etkilerinin incelendiği bu deney setinde ilk önce P kontrol yöntemi uygulanmıştır. P kontrol yönteminde kullanılacak olan k_p katsayısının bulunması için yapılan ön deneylerde silindir 0 mm den 10 mm ye hareket ettirilerek k_p katsayısı ayarlanmaya çalışılmıştır. Bu bulunan kat sayı değeri PID hesabına sokularak DGM'nin hesaplanmasında kullanılmaktadır. Eğer 10 mm değil de daha büyük bir referans değerinde bu kat sayı ayarlanacak olursa kendisinden küçük referans değerlerinde aşma davranışı meydana getirebileceği gibi konumlama hassasiyetini de olumsuz etkileyeceği sonucuna varılmıştır. Ayrıca bazı ön deneylerde büyük referans değerlerinde yapılan oransal kazanç belirleme işlemleri sonucunda daha küçük referans değerlerinde pnömatik silindirin osilasyona düştüğü görülmüştür. Bu oransal kazanç belirleme işlemi diğer kontrol yöntemlerinin kazanç değerlerini belirlerken de kullanılmıştır. Bu kazanç değerlerinin belirlenmesi işleminde sistemin çalışma basıncıda önemli bir parametre olduğu görülmüştür. Yapılan ön deneylerde kazanç değerleri sabit bir basınçta ayarlandıktan sonra basınç değiştirilmiş ve bunun sonucu olarak da kazanç değerlerinin de değişmesi gerektiği sonucuna varılmıştır. Bu değişim çalışma basıncı yükseldikçe kazanç değerlerinin azalması, çalışma basıncı düştükçe kazanç değerlerinin artması yönündedir. Bunun nedeni ise yüksek çalışma basıncında pnömatik silindir hızlı hareket edeceği için DGM değerinin azaltılmasının gerekmesidir. Bu nedenden dolayı pnömatik sistemin basıncının sürekli aynı basınçta olması gerekmektedir. Yapılan deney setinde pnömatik sistemlerin normal çalışma basıncı olan 6 bar lık basınç kullanılmıştır.

P kontrol yönteminin kullanıldığı pnömatik silindirin ileri yönde hareket ettirildiği deneylerin tamamı başarı ile sonuçlanmıştır. Pnömatik silindir tüm referans değerlerinde osilasyona düşmeden kararlı duruma geçmiştir. Bunun yanında

pnömatik silindirin aşma davranışı göstermediği ve osilasyona düşmediği gözlenmektedir. Oransal kazanç değerinin en küçük referans değerine göre ayarlanması ve kazanç değerlerinin bir çarpan olarak PID hesabına dâhil edilmesi nedeniyle pnömatik silindirin referans noktasına birkaç adımda gitmesine sebebiyet verdiği görülmüştür. Bu adımların referans noktasına yaklaştıkça küçüldüğü görülmektedir. Bunun nedeni olarak PID hesabına mevcut konum ile referans noktası arasındaki farkın bir çarpan olarak katılması ve bu çarpanın pnömatik silindirin referans noktasına yaklaştıkça değerinin düşmesine bağlı olduğu sonucuna varılmıştır. Bu adımların oluşmasının sebebi olarak kullanılan kontrolörün ayı anda iki işlemi yapamıyor olmasıdır. PID hesabının sonucu kadar yön kontrol valfleri açık kaldıktan sonra yeni bir PID hesabı yapılana kadar yön kontrol valfleri kapılı kalmaktadır. Bu esnada pnömatik silindir yatay şekilde de olsa bir miktar ileri yönde hareket etmeye devam etmektedir. Bunun nedeni, kullanılan pnömatik silindirin asimetrik olmasından dolayı olduğu sonucuna varılmıştır. Yapılan deneylerde pnömatik silindir referans noktasına genelde pozitif yönlü hatalar yaparak oturduğu görülmektedir. Bunun nedeni olarak pnömatik silindirin ileri yönlü hareket yapması ve ön bölmesindeki piston yüzey alanının büyük olmasından dolayı olduğu sonucu çıkarılmıştır. Pnömatik silindirin referans noktasına ulaşma zamanının mesafe uzadıkça arttığı görülmektedir. Bu, yolun uzamasının doğal bir sonucudur ancak pnömatik silindirin sönümlü sinüzoidal bir aşma davranışı göstermeden referansa oturması da bu doğru orantının oluşmasının bir nedeni olduğu sonucuna varılmıştır.

P kontrol yönteminin kullanıldığı pnömatik silindirin geri yönde hareket ettirildiği deneylerde pnömatik silindir osilasyona düşmemiş ve deneylerin tamamı başarı ile sonuçlanmıştır. Deneylerin birçoğunda pnömatik silindirin aşma davranışı yaptığı görülmektedir. Bu aşma davranışları hareket yönüne göre pozitif yönlü olduğu görülmektedir. Bu aşma davranışlarının nedeni olarak çalışma basıncı her ne kadar aynı olsa da silindirin arka bölmesindeki piston yüzey alanının küçük olmasından dolayı olduğu sonucuna varılmıştır. Yapılan deneylerde konumlama hassasiyetiyle aşma davranışı arasında bir bağıntı gözlenmemiştir. Konumlama hatasının genelde pozitif yönde olduğu görülmüş ve bunun hareketin o anlık yönüne ve silindirin ön bölmesindeki piston yüzey alanının daha büyük olmasına bağlı olduğu sonucuna varılmıştır. Geri yönlü hareketlerde pnömatik silindirin referans noktasına daha uzun

sürede oturduğu görülmektedir. Bunun nedeni olarak çalışma basıncı her ne kadar aynı olsa da silindirin arka bölümündeki yüzey alanının küçük olmasından dolayı silindiri yavaş hareket ettirdiği sonucu bulunmuştur. Diğer sonuçlar bakımından P kontrolün ileri yönlü hareketiyle paralellik göstermektedir. P kontrol yönteminin kullanıldığı deneylerin ileri yönlü hareketlerinde %6 - %1,11 arasında bir hata ile referansa otururken geri yönlü hareketlerinde %7 - %0,78 arasında hatayla referansa oturmaktadır.

PI kontrol yönteminin uygulandığı ve pnömatik silindirin ileri ve geri yönde hareket ettirildiği deneylerde deneylerin tamamı başarı ile sonuçlanmıştır. Pnömatik silindir 10 mm lik mesafeye hareketinde aşma davranışı göstermemiş diğer bütün referans değerlerinde aşma davranışı göstermiştir. Bunun nedeni olarak 10 mm lik mesafenin oransal ve integral kazanç değerlerinin ayarlandığı referans noktası olmasıdır. Bu aşma davranışlarının sebebi P kontrol yöntemine bir de integral kazanç değerinin de katılmasıdır. İntegral kazanç DGM'nin değerini arttıran yönde etki yaptığından sistemin davranışını sönümlü sinüzoidal yönüne kaydırmıştır. P kontrol yönteminin deneyleriyle kıyaslandığında integral kazancın kontrolü bozduğu ve olumsuz bir etki yaptığı daha açık bir şekilde görülmektedir. Aşma miktarıyla referans noktası olan uzaklık arasında bir bağıntı gözlenememiştir. Konumlama hatası ile referansa olan uzaklık ya da aşma miktarı arasında da herhangi bir bağıntı gözlenememiştir. Diğer sonuçlar bakımından P kontrole paralellik göstermektedir. PI kontrol yönteminin kullanıldığı deneylerin ileri yönlü hareketlerinde %12 - %0,55 arasında bir hata ile referansa otururken geri yönlü hareketlerinde %7 - %1 arasında hatayla referansa oturmaktadır.

PD kontrol yönteminin uygulandığı pnömatik silindirin ileri ve geri yönde hareket ettirildiği deneylerin tamamı başarıyla sonuçlanmıştır. Pnömatik silindir tüm referans değerlerinde aşma gerçekleştirmemiş ve osülasyona düşmeden referans değerine oturmuştur. P kontrol yöntemine ilaveten türevsel kazanç değerinin de PID hesabına katıldığı bu kontrol yönteminde türevsel kazanç değeri pnömatik silindirin aşma davranışını bertaraf etmek için hesaba dâhil edilmiş ve bu yönde etki gösterdiği de görülmüştür. PD kontrol yönteminin ileri yönlü deneylerinin sonuçları P kontrol yönteminin ileri yönlü deneylerinin sonuçlarıyla paralellik gösterirken geri yönlü

hareketleri birbirlerinden ayrılmaktadır. Bunun nedeni türevsel kazanç değerinin aşmayı azaltan yönde etki göstermesi nedeniyledir. Diğer bütün yönleriyle P kontrole benzeyen PD kontrol yöntemi sistemin kontrolü için P kontrolden daha iyi bir kontrol yöntemi olduğu görülmektedir. PD kontrol yönteminin kullanıldığı deneylerin ileri yönlü hareketlerinde %10 - %0,78 arasında bir hata ile referansa otururken geri yönlü hareketlerinde %6 - %0,67 arasında hatayla referansa oturmaktadır.

PID kontrol yönteminin uygulandığı pnömatik silindirin ileri ve geri hareket ettirildiği deneylerin tamamı başarı ile sonuçlanmıştır. Pnömatik silindir tüm referans değerlerinde aşma gerçekleştirmemiş ve osülasyona düşmeden referans değerine oturmuştur. PI kontrol yöntemine türevsel kat sayısının da eklendiği bu kontrol yönteminde türevsel kat sayı PI kontrol yönteminin yol açtığı aşma davranışlarını ortadan kaldıran yönde etki etmiştir. Bunun nedeni olarak türevsel kat sayısının PID hesabının sonucunu düşürücü yönde etki göstermesidir. Bu kontrol yöntemiyle yapılan deneylerin sonuçları PD kontrol yönteminin sonuçlarıyla paralellik gösterirken sadece konumlama hatası kısmında birbirlerinden ayrılmıştır. PD kontrol yönteminde nispeten daha az konumlama hatası varken bu kontrol yönteminde daha fazla konumlama hatası meydana gelmiştir. Bunun nedeni ise integral katsayısının var olmasından kaynaklandığı sonucuna varılmıştır. PID kontrol yönteminin kullanıldığı deneylerin ileri yönlü hareketlerinde %13 - %0,89 arasında bir hata ile referansa otururken geri yönlü hareketlerinde %10 - %0,78 arasında hatayla referansa oturmaktadır.

Genel olarak değerlendirildiğinde tüm kontrol yöntemleri kabul edilebilir bir davranış sergilemiştir. Buna karşın iyiden kötüye doğru bir sıralama yapılması gerekirse sıralama PD, PID, P ve PI kontrol yöntemleri olarak oluşmaktadır. Deney seti üzerinde türevsel kazanç değerinin etkisinin ciddi bir şekilde hissedildiği ve karakteristik davranışı olan aşmayı yok etme becerisi görülmüştür. Türevsel kazanç değerinin diğer kat sayı değerlerine göre çok daha düşük bir değerde olması türev kat sayısının deney seti üzerindeki etkisini göstermektedir. İntegral kazanç değeri deney setini davranışlarını bozucu yönde etki yapmıştır. Bunun nedeni de oransal kat sayıya

benzer karakteristikte olmasında dolayı PID hesabını pozitif yönde etkileyerek sonucu arttıran yönde etki göstermesidir.

Bu tarz kontrol uygulamaları yapılırken silindirin daha hassas kontrolünü yapmak adına temassız ölçüm yapabilen bir mesafe ölçüm sensörü kullanılması daha uygun olacaktır. Bunun nedeni mekanik birleştirme sonucu silindirin konumunu ölçen sensörler silindirin sürtünme katsayısını artırmakta ve hareket kabiliyetini azaltmaktadır. Yine mekanik bağlantıda esneme olabileceğinden silindirin her hareketi algılanmaya bilmektedir.

Konumlama hassasiyeti üzerinde kontrol yöntemlerinin kazanç değerlerinin önemli etkileri vardır. Bu değerlere göre sistem DGM üretmekte ve sistemin aşma ve sinüzoidal davranışlarını bu değerler belirlemektedir. Bunun yanında bu değerler aynı şekilde referans noktasına ulaşma zamanını da etkilemektedir. Deneylemlerin sonuçları incelendiğinde pnömatis silindir birkaç adımda referans noktasına gitmektedir. Bunun nedeni sistemin her mesafe aralığı için ayrı bir kazanç değerine ihtiyaç duymasısıdır. Bu nedenden dolayı PID kontrol yöntemine destek olarak Fuzzy lojik kontrol yönteminin işin içerisine dâhil edilerek melez bir kontrol yöntemi oluşturulmalı ve her durum için ayrı bir kazanç katsayı değeri oluşturulmalıdır.

Yapılan deneylerde silindirin ileri ve geri hareketlerinde birbirlerinden farklı karakteristiklerinin olduğu görülmektedir. Bu kontrol edilecek olan sistem için bir dezavantaj oluşturacak bir durumdur. Bu davranış bozukluğunun sebebi silindirin tek kollu olmasından dolayı piston yüzey alanlarının birbirleriyle eşit olmamasıdır. Bu nedenden dolayı silindirin tek kollu değil çift kollu olarak kullanılması gerekmektedir. Başka bir çözüm yolu da yukarıda bahsedildiği gibi fuzzy lojik kontrol yöntemi sisteme adapte ederek melez bir kontrol yöntemi oluşturulmalıdır. Bunun sonucunda da her mesafeye ayrı kazanç değeri hesaplanacağı gibi her yöne de farklı kazanç değeri hesaplanacaktır.

Yapılan deneyler sonucunda basınç parametresinin önemli olduğu sistemin konumlama hassasiyeti ve oturma zamanı üzerinde bazı etkilerinin olduğu görülmektedir. Bunun silindirin konumlanması gereken mesafenin uzak olması

durumda üretilecek DGM'nin fazla olması silindirin ilgili bölgesinin atmosfere daha fazla açılmasına ve ani basınç düşümlerine sebebiyet vermesine neden olmaktadır. Bu da sistemin aşma ve sinüzoidal davranışlar göstermesine neden olmaktadır. Ayrıca sistemin osilasyona girmesine de sebebiyet vermektedir. Bu nedenler göz önünde tutulduğunda basınç geri beslemesinin yapılması pnömatik sistemlerin konumlanmasında önem taşımaktadır.

KAYNAKLAR

1. Aykaç, E. S., “Pnömatik–hidrolik”, *TMMOB Ankara Şubesi*, Ankara, 7–12 (2011).
2. Çetin, R., “İleri Kumanda Teknikleri 2 Pnömatik Elektro Pnömatik”, *Doğuşum Matbaacılık*, Ankara, 1–5 (2004).
3. Festo, “Bionic Handling Asistant”, *Festo*, Esslingen, 2,3 (2010).
4. Topçu, E. E. ve Yüksel, İ., “Elektro pnömatik ve alternatif valflerin gelişimi ve karakteristiklerinin incelenmesi”, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 12 (2): 21 – 33 (2007).
5. Topçu, E. E. , Yüksel, İ. and Kamış, Z. , “Development of electro – pneumatic fast switching valve and investigation of its characteristics”, *Mechatronics*, 16: 365-378 (2006).
6. Gezici, H. ve Işık, B., “Pnömatik sistemlerde konum geri beslemesi yapılarak basınç ayarlaması ile hassas konum kontrolü”, *Electronic Journal Of Vocational Colleges*, Article in Press.
7. Topçu, E. E. ve Yüksel, İ. , “DGM denetimli hızlı anahtarlama valfi ile pnömatik bir sistemin konum denetiminin deneysel araştırılması”, *Fırat Üniversitesi Fen ve Müh. Bil. Dergisi*, 19 (2): 193-200 (2007).
8. Gao, X. and Feng, Z. J., “Design study of an adaptive fuzzy-PD controller for pneumatic servo system”, *Control Engineering Practice*, 13: 55-65 (2005).
9. Chen, C. K. and Hwang, J., ”Iterative learning control for position tracking of a pneumatic actuated X–Y table”, *Control Engineering Practice*, 13: 1455-1461 (2005).
10. Ying, C., Jia-Fan, Z., Can-Jun, Y. and Bin, N., “Design and hybrid control of the pneumatic force-feedback systems for arm-exoskeleton by using on/off valve”, *Mechatronics*, 17: 325–335 (2007).
11. Lin, C. L., Chen, C. H. and Shiu, B. M., “A neural net-based time-delay compensation scheme and disturbance rejection for pneumatic systems”, *J Intell Manuf*, 19: 407–419 (2008).

12. Babu, M. V. S., “Microprocessor based position and velocity control of a pneumatic actuator for low cost automation applications”, *International Journal of Applied Engineering Research*, 4 (8): 1499–1506 (2009).
13. Ahn, K. K. and Anh, H. P. H., “Design and implementation of an adaptive recurrent neural networks (ARNN) controller of the pneumatic artificial muscle (pam) manipulator”, *Mechatronics*, 19: 816–828 (2009).
14. Taghizadeh, M. , Ghaffari, A. and Najafi, F., “Improving dynamic performances of PWM-driven servo-pneumatic systems via a novel pneumatic circuit”, *ISA Transactions*, 48: 512-518 (2009).
15. Taghizadeh, M., Ghaffari, A. and Najafi, F., “Modeling and identification of a solenoid valve for PWM control applications”, *C. R. Mecanique*, 337: 131–140 (2009).
16. Taghizadeh, M. , Najafi, F. and Ghaffari, A., “Multimodel PD-control of a pneumatic actuator under variable loads”, *Int J Adv Manuf Technol*, 48: 655–662 (2010).
17. Pujana, A. A., Mendizabal, A., Arenas, J., Prestamero, R. and Landaluze, J., “Modelling in modelica and position control of a 1-DoF set-up powered by pneumatic muscles”, *Mechatronics* 20: 535–552 (2010).
18. Anh, H. P. H., “Online tuning gain scheduling MIMO neural PID control of the 2-axes pneumatic artificial muscle (PAM) robot arm”, *Expert Systems with Applications*, 37: 6547–6560 (2010).
19. Junyi, C. and Binggang, C., “Fractional-order control of pneumatic position servosystems”, *Mathematical Problems in Engineering*, Article ID 287565, 14 pages (2011).
20. Lu, C. H. , Hwang, R. and Shen, Y. T., “Backstepping sliding mode tracking control of a vane-type air motor x–y table motion system”, *ISA Transactions*, 50 : 278–286 (2011).
21. Anh, H. P. H. and Ahn, K. K., “Hybrid control of a pneumatic artificial muscle (PAM) robot arm using an inverse NARX fuzzy model”, *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 24, : 697–716 (2011).
22. Takosoglu, J. E. and Laski, P. A., “Intelligent positioning system of electro-pneumatic servo-drive”, *Annals of DAAAM for 2011 & Proceedings of the 22nd International DAAAM Symposium*, Vienna, Austria , 22 (1): 1641–1642 (2011).
23. Sivcak, M. and Skoda, J., “Verification of active controlled air spring model”, *Journal of Vibroengineering*, 13 (4): 788 (2011).

24. Jianmin, Z., Jingtao L., Zhiwen, H. and Tingting, F., "Grey relational compensation control of pneumatic position servo system", *The Journal of Grey System*, 4 : 307-316 (2012).
25. Ganguly, S., Garg, A., Pasricha, A. and Dwivedy, S. K., "Control of pneumatic artificial muscle system through experimental modelling", *Mechatronics*, 22: 1135–1147 (2012).
26. Faudzi, A. A. M., Osman K. B., Rahmat, M. F., Mustafa, N. D., Azman, M. A. and Suzumori, K., "Controller design for simulation control of intelligent pneumatic actuators (IPA) system", *Procedia Engineering*, 41: 593–599 (2012).
27. Aliff, M., Dohta, S., Akagi, T. and Li H., "Development of a simple-structured pneumatic robot arm and its control using low-cost embedded controller", *Procedia Engineering*, 41: 134–142 (2012).
28. Tan, K. K., Huang, S., Liang, W., Mamun, A. A., Koh, E. K. and Zhou, H., "Development of a spherical air bearing positioning system", *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 59 (9): 3501–3509 (2012).
29. Hodgson, S., Le, M. Q., Tavakoli, M. and Pham, M. T., "Improved tracking and switching performance of an electro-pneumatic positioning system", *Mechatronics*, 22 : 1–12 (2012).
30. Lai, W. K., Rahmat, M. F. and Wahab, N. A., "Modeling and controller design of pneumatic actuator system with control valve", *International Journal on Smart Sensing and Intelligent Systems*, 5 (3): 624 – 644 (2012).
31. Cajetinac, S., Seshlja, D., Aleksandrov, S. and Todorovic, M., "PWM control and identification of frequency characteristics of a pneumatic actuator using PLC controller", *Electronics and Electrical Engineering*, 7 (123): 21–26 (2012).
32. Li, J., Kawashima, K., Fujita, T. and Kagawa, T., "Control design of a pneumatic cylinder with distributed model of pipelines", *Precision Engineering*, 37: 880– 887 (2013).
33. Situm Z., "Control of a pneumatic drive using electronic pressure valves", *Transactions of the Institute of Measurement and Control*, 35 (8): 1085–1093 (2013).
34. Cai, S., Wu, S. and Bao, G., "Cylinder position servo control based on fuzzy PID", *Journal of Applied Mathematics*, Article ID 375483: 1 – 10 (2013).
35. Nuchkrua, T. and Leephakpreeda, T., "Fuzzy self-tuning PID control of hydrogen-driven pneumatic artificial muscle actuator", *Journal of Bionic Engineering*, 10 : 329–340 (2013).

36. Prieto, P. J., Rubio, E., Hernández, L. and Orlando, U., "Proxy-based sliding mode control on platform of 3 degree of freedom (3-DOF)", *Advanced Robotics*, 27 (10): 773-784 (2013).
37. Najjari, B., Barakati, S. M., Mohammadi, A., Futohi, M. J. and Bostanian, M., "Position control of an electro – pneumatic system based on PWM technique and FLC", *ISA Transactions*, 53: 647–657 (2014).
38. Bingül, Z., "Matlab ve Simulinkle Modelleme ve Kontrol 1", *Birsen Yayınevi*, İstanbul, 75–131 (2005).
39. Kocaoğlu, S., "PID kontrollü top-çubuk sisteminin tasarımı ve kontrolü üzerine bir araştırma", Yüksek Lisans Tezi, *Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Edirne, 5–12 (2013).
40. Opkon Optik Elektronik Ltd., "Toll Hand Book", *Opkon*, İstanbul, 4–7 (2013).
41. Tek Hidrolik Pnömatik San. ve Tic. Ltd. Şti., "Toll Hand Book", *Tek Hidrolik Pnömatik San. ve Tic. Ltd. Şti.*, İstanbul, 14–16 (2014).
42. Festo Türkiye, "Toll Hand Book", *Festo Türkiye*, İstanbul, 22,23 (2014).
43. Karacan, İ., "Hidrolik ve Pnömatik", *Birsen Yayın Evi*, Kütahya, 159–252 (2000).
44. Topçu, E. E. ve Yüksel, İ., "Elektro-pnömatik bir sistemde konum denetiminin araştırılması", *III. Ulusal Hidrolik Pnömatik Kongresi ve Sergisi*, İstanbul, 439–449 (2005).
45. Emil, M., "Hava dağıtım sistemleri", *II. Ulusal Hidrolik Pnömatik Kongresi ve Sergisi*, İstanbul, 333 – 343 (2001).
46. Akkaya, A. V., Sevilgen, S. H., Erdem, H. H. ve Çetin, B., "Simulink kullanarak bir pnömatik sistemin simülasyonu", *Doğuş Üniversitesi Dergisi*, 6 (2): 155-162 (2005).
47. Topçu, E. E., ve Yüksel, İ., "Elektro-pnömatik sistemler için tasarlanan hızlı anahtarlama valfi ile konum denetiminin araştırılması", *IV. Ulusal Hidrolik Pnömatik Kongresi ve Sergisi*, İstanbul, 289–297 (2006).

ÖZGEÇMİŞ

Harun GEZİCİ 1985 yılında İstanbul'da doğdu. İlk ve orta öğrenimini aynı ilde tamamladı. Lise öğrenimini de aynı şehirde Kartal Teknik Lisesi Makine Bölümünde 1999 yılında başlayıp 2003 yılında mezun olmuştur. 2004 yılında Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Mekatronik Bölümünde öğrenimine devam ederek 2008 yılında mezun olmuştur. Halen daha Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mekatronik Mühendisliği Anabilim dalında Yüksek lisans öğrenimine devam etmektedir.

Lisans öğreniminden mezun olduktan sonra sırasıyla Profeks Kalıp Sanayi firmasında üretim şefi, Plasti-Med Medikal Sanayi firmasında bakım onarım şefi ve Gedik Üniversitesi Meslek Yüksekokulu Mekatronik Programında Öğretim Görevlisi olarak görev yapmıştır. Daha sonra Kırklareli Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu Mekatronik programında göreve başlamış ve halen daha bu görevde bulunmaktadır.

ADRES BİLGİLERİ

Adres :Karahırdır Mah. Harmanlık Mevkii Teknik Bilimler Meslek
Yüksekokulu 39100 Merkez / KIRKLARELİ

Tel :0 555 358 97 94

E-posta :harun.gezici@klu.edu.tr
harungezici@outlook.com

