

**TC
BOZOK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MEKATRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

Yüksek Lisans Tezi

**ELEKTROHİDROLİK BİR SİSTEMİN DARBE ENİ
MODÜLELİ KAYAN KIPLI KONTROLÜ**

Salih DEDEOĞLU

**Tez Danışmanı
Yrd. Doç. Dr. İlhami YİĞİT**

Yozgat 2015

**TC
BOZOK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MEKATRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

Yüksek Lisans Tezi

**ELEKTROHİDROLİK BİR SİSTEMİN DARBE ENİ
MODÜLELİ KAYAN KIPLI KONTROLÜ**

Salih DEDEOĞLU

**Tez Danışmanı
Yrd. Doç. Dr. İlhami YİĞİT**

**Bu çalışma, Bozok Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi
tarafından 2014FBE/T79 proje kodu ile desteklenmiştir.**

Yozgat 2015

T.C.
BOZOK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TEZ ONAYI

Enstitümüzün Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı 70111711021 numaralı öğrencisi **Salih DEDEOĞLU** 'nun hazırladığı "**Elektrohidrolik Bir Sistemin Darbe Eni Modüleli Kayan Kipli Kontrolü**" başlıklı YÜKSEK LİSANS tezi ile ilgili TEZ SAVUNMA SINAVI, Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği uyarınca 08/09/2015 Salı günü saat 14:00'te yapılmış, tezin onayına OY BİRLİĞİYLE karar verilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Ömer KELEŞ



Üye : Doç. Dr. Hamza Kemal AKYILDIZ



Üye : Yrd. Doç. Dr. İlhami YİĞİT



ONAY:

Bu tezin kabulü, Enstitü Yönetim Kurulu'nun/09/2015 tarih ve 26 sayılı kararı ile onaylanmıştır.



Doç. Dr. Fuat KÖKSAL

Müdür

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
TEŞEKKÜR	v
SEMBOLLER LİSTESİ	vi
KISALTMALAR LİSTESİ	viii
ŞEKİLLER LİSTESİ	ix
TABLolar LİSTESİ	xv
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	5
2.1. Elektrohidrolik Kontrol Sistemleri.....	5
2.2.1.Servovalfler	6
2.2.2.Doğrudan Tahrikli Servovalfler	6
2.3.Kartuş Valfler.....	8
2.3.1.Üstünlükleri	9
2.3.2. Valflerin Karşılaştırılması	10
2.4. Darbe Eni Modülasyonu	10
2.5. PID Kontrol	12
2.6. Kayan Kipli Kontrol	12
2.6.1. Referans Yörünge İzleme Kontrolü	15
2.6.2. İntegral Kayan Kipli Kontrol	15
3.DENEY DÜZENEGİ	17
3.1.1. Hidrolik Güç Ünitesi.....	17
3.1.2. Hidrolik Silindir	18
3.1.3. İki Konumlu İki Yollu (2/2) Kartuş Valfler İle Deney Düzenegi.....	19

3.1.4. Üç Yollu İki Konumlu (3/2) Kartuş Valfler İle Deney Düzeneği.....	21
3.2. Servovalf	22
3.3. Solenoid Valfler	25
3.3.1. 2 Yollu 2 Konumlu Kartuş Valf.....	25
3.3.2. 3 Yollu 2 Konumlu Kartuş Valf.....	27
3.4. Bilgisayar ve Veri Toplama Kartı	27
3.5. Elektronik Arayüz	27
3.5.1. Servo Güç Yükseltici	28
3.5.2. Konum Ölçer	29
3.5.3. Güç Kaynakları	29
3.5.4. Kontrol Yazılımı	31
4. SİSTEMİN MODELLENMESİ.....	33
4.1. Servovalfli Sistemin Modeli	33
4.2. 2/2 Kartuş Valflerle Sistem Modeli	37
4.3. 3/2 Kartuş Valflerle Sistem Modeli	40
5. BENZETİM VE DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	44
5.1. Filtreleme	44
5.2. Benzetim Programını Akış Diyagramı	45
5.3. Yüksüz Sistemin İzleme Özelliği.....	47
5.3.1 Servovalfle Kontrol.....	47
5.3.3.1.1. PID kontrol.....	47
5.3.3.1.2 Kayan Kipli Kontrol.....	54
5.3.2. İki Konum İki Yollu (2/2) Kartuş Valflerle Darbe Eni Modüleli Kontrol.....	62
5.3.2.1. PID Kontrol.....	62
5.3.2.2. Kayan Kipli Kontrol.....	68
5.3.3. İki Konum Üç Yollu (3/2) Kartuş Valflerle Darbe Eni Modüleli Kontrol	73

5.3.3.1. PID Kontrol.....	73
5.3.3.2. Kayan Kipli Kontrol.....	81
5.4. Yüklü Sistemin İzleme Özelliği.....	87
6.SONUÇLAR VE TARTIŞILMASI.....	102
7.SONUÇ	107
KAYNAKLAR	108
EKLER	110
ÖZGEÇMİŞ.....	131

ELEKTROHİDROLİK BİR SİSTEMİN DARBE ENİ MODÜLELİ KAYAN KIPLI KONTROLÜ

Salih DEDEOĞLU

**Bozok Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi**

2015; Sayfa:131

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. İlhami YİĞİT

ÖZET

Kayan kipli kontrol, dış bozucular ve sistemdeki parametre değişimlerine karşı kontrol sistemine büyük gürbüzlük sağlayan oldukça özel bir yaklaşımdır. Son yıllarda, kayan kipli kontrol yöntemi basitliği ve etkinliğinden dolayı dikkat çekmiş ve çok sayıda kayan kipli kontrol tekniği geliştirilmiştir. Aynı zamanda, dünyada hidrolik sistemlerin servovalf yerine daha az maliyetli valfler ile dijital kontrolü gittikçe daha çok ilgi çekmektedir. Literatürde pnömatik sistemler için güncel çalışmalar olsa da hidrolik sistemlerin kartuş valflerle kontrolü konusunda kapsamlı ve güncel bir çalışmaya rastlanamamıştır. Hidrolik sistemlerle ilgili en öne çıkan bir çalışmanın bile zamanının valf, bilgisayar ve elektronik teknolojisini kullanarak yeterince gelişmemiş bir kontrol tekniği ile yapıldığı anlaşılmıştır. Buradan hareketle, bu çalışmada, yeni teknolojik bileşenler ve gelişmiş bir kontrol tekniği kullanılmış, servovalfle elde edilen çıktı kalitesine daha az maliyetli bobin uyarılı aç/kapa kartuş valfler kullanılarak darbe eni modüleli kayan kipli kontrol tekniği ile yaklaşılmaya çalışılmıştır. Tekniğin kullanılabilirliğinin derecesini ortaya koymak için servovalf ve kartuş valflerle çok sayıda benzetim ve deney yapılmış, elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Endüstrideki birçok hidrolik sistemin, belli bir çıktı kalitesine kadar, daha az maliyetle, söz konusu teknik ile kontrol edilebileceği sonucuna varılmış, tekniğin üstünlükleri ve eksiklikleri ortaya konulmuş ve gelecek uygulamalar için önerilerde bulunulmuştur.

Anahtar Kelimeler- elektrohidrolik sistem, kartuş valf, servovalf, darbe eni modülasyonu, kayan kipli kontrol, modelleme, benzetim, deneysel

PULSE WIDTH MODULATED SLIDING MODE CONTROL OF AN ELECTROHYDRAULIC SYSTEM

Salih DEDEOĞLU

**Bozok University
Institute of Natural and Applied Sciences
Department of Mechatronic Engineering
Master of Science Thesis**

2015; Page:131

Advisor: Assist. Prof. Dr. İlhami YİĞİT

ABSTRACT

Sliding mode control is a robust control technique which is able to provide a desired dynamic behaviour in spite of disturbances and uncertainties under matching conditions. In recent years, because of simplicity and robustness, sliding mode control has become popular and various sliding mode control techniques have been developed. At the same time, it is drawing considerable interest in the world to digitally control electrohydraulic systems with lower cost valves instead of servovalves. It is found that, unlike pneumatic systems, a comprehensive and updated study on hydraulic systems with on/off cartridge valves with sliding mode control is not available in open literature. It is also seen that even the most prominent study using this technique was implemented using valves, computer and electronic components of its time and using a preliminary version of a control method. Thus, with this study, using current technological components and a more developed control technique, it was tried to approach an output quality of a servovalve with pulse width modulated sliding mode control utilizing low cost solenoid operated on/off cartridge valves for position control of an electrohydraulic system. In order to prove the usability degree of the technique, a large number of simulations and experiments were carried out with servovalve and cartridge valves and obtained results were compared with each others. It is concluded that, to a certain output quality level, several systems in industry can be controlled with this technique with low cost valves; advantages and disadvantages of the technique and some suggestions for further studies are presented.

Keywords: electrohydraulic system, cartridge valve, servovalve, pulse width modulation, sliding mode control, modelling, simulation, experiment

TEŞEKKÜR

Çalıőmalarımnda değerli bilgilerini, emeklerini ve yardımlarını esirgemeyen Yrd. Doç. Dr. İlhami YİĞİT'e ayrıca finansal desteklerinden dolayı Bozok Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne ve manevi desteklerini esirgemeyen eőime teőekkürü bir borç bilirim.

SEMBOLLER LİSTESİ

K_p	: oransal, kazanç
T_i	: integral kazanç
T_d	: türevsel kazanç
x_v	: valf makarasının konumu, m
v_v	: servovalfsürgüsünün hızı
K_v	: servovalfin kazancı, m/mA
ω_v	: servovalfin doğal frekansrad.s-1
ξ_v	: servovalfin sönüm oranıdır.
K_Q	: orifis geometrisi ve debi katsayısını içeren katsayı
C_d	: servovalforifislerinin debi katsayıları
w	: servovalf kapılarının çevresel uzunluğu (m)
ρ	: hidrolik yağın yoğunluğu, kg m s-1
P_s	: hidrolik besleme basıncı, Pa
P_1, P_2	: hidrolik basınçlar (Pa)
A_1, A_2	: pistonun her iki tarafındaki alanlar (m ²)
V_1, V_2	: hidrolik silindir içindeki yağ hacimleri (m ³)
x	: pistonun konumu (m)
b	: sönüm sabiti (N.s/m)
C_s	: piston silindir arası sızıntı katsayısı (m ³ /s / Pa)
β	: hidrolik yağın Bulkmodülü (Pa)
v	: pistonun hızı
F_s	: kuru sürtünme kuvveti

$F_b(t)$: bozucu kuvvet girişi (aktif yük)
v_{x3}, v_{x4}	: sürgüsü için kullanılan voltaj katsayıları
τ	: valf sürgüsünün tam açılma/kapanma süresi
$u(t)$: kontrol sinyali (volt)
u_{PWM}	: darbe eni modülasyonu sinyali
v_{xi}	: i'nci valf kapısına etkiyen voltaj
K_{v12}, K_{v12}	: 1 → 2 ve 2 → 1 için valf kazançları
v_{x1}, v_{x2}	: valf sürgüsü için kullanılan voltaj katsayıları
K_{v12}, K_{v23}	: 1 → 2 ve 2 → 3 için valf kazançları

KISALTMALAR LİSTESİ

- ISMC** : İntegral kayan kipli kontrol
- PID** : Proportional-Integral-Derivative (Oransal integral türev)
- PWM** : Pulse width modulation (Darbe Eni Modülasyonu)
- SMC** : Sliding mode control (Kayan Kipli Kontrol)

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil.2.1.1: Elektorhidrolik Servo Sistemin Blok Diyagramı	6
Şekil 2.2.2.1: Doğrudan Tahrikli Servovalf	7
Şekil 2.3.1: Kartuş Valfin Sürgüsü	8
Şekil 2.3.1.1 :Kartuş Valflerin Blok Üzerinde Kullanımı	9
Şekil 2.4.1 :PWM Sinyalini Oluşturma Prensibi	11
Şekil 2.4.2 :Görev Çevrimi Prensibi	11
Şekil 2.6.1: İkinci Mertebeden Bir Sistemin Kayan Kipli Kontrolü	14
Şekil 2.6.2: Anahtarlama Fonksiyonları ($\text{sgn}(s)$, $\text{sat}(s/\delta)$ ve $\text{tanh}(s/\delta)$)	15
Şekil 3.1: Elektrohidrolik Tahrikli Beton Basma Deneyi Makinesi DeneyDüzeneği	17
Şekil 3.1.1.1: Deney Düzeneğinde Kullanılan Hidrolik Güç Ünitesi	17
Şekil 3.1.2.1: Deney Düzeneğinde Kullanılan Silindir ve Ölçüleri	18
Şekil 3.1.3.1: İki Yollu İki Konumlu (2/2) Valf Blok İmalat Şeması	19
Şekil 3.1.3.2: İki Yollu İki Konumlu (2/2) Valflerle Deney Düzeneği	20
Şekil 3.1.3.3: İki Yollu İki Konumlu (2/2) Valflerle Deney Düzeneği	20
Şekil 3.1.4.1: İki Adet 3 Yollu 2 Konumlu Valf Blok İmalat Şeması	21
Şekil 3.1.4.2: 3/2 Valf Bloğunun Piston Üzerindeki Resmi	22
Şekil 3.2.1: Moog D633 Servovalf Kesit Görüntüsü ve Sembölü	23
Şekil 3.2.2: Servovalf Sürgüsünün Gecikme Zamanı	24
Şekil 3.2: Debi Sinyal Karakteristik Eğrisi	24
Şekil 3.2.4: Servovalfin Frekans Cevap Eğrileri	25
Şekil 3.2.5: Basınç Farkı Göre Valfin Geçirebileceği Debi	25
Şekil 3.3.1: 2/2 Kartuş Valfin Sürgüsü	26

Şekil 3.3.2: 3/2 Kartuş Valf Sürgüsü	27
Şekil 3.5.1: Valflere Modüleli Kontrol Sinyalini Üreten PWM Devresi.....	28
Şekil 3.5.1.1: ServoGüç Yükseltici (Akım Yüksetme Devresi)	29
Şekil 3.5.2.1: Konum Ölçerin Elektrik Bağlantı Şeması(Ek-5).....	30
Şekil 3.5.3.1: Elektronik Arayüz ve Valf Bobinlerini Besleyen Güç Kaynakları	30
Şekil 3.5.3.2: Beş Voltluk Regüleli Güç Kaynağı	31
Şekil 3.5.4.1: Kontrol Yazılımı Arayüzü.....	32
Şekil 4.1.1: Yükleme Çerçevesinin Fiziksel Modeli	33
Şekil 4.1.2: Kapalı Merkezli 4-Yollu Servovalfin Devresi	34
Şekil 4.2.1: Sistemin 2/2 Yön Kontrol Valfli Sistem Modeli	38
Şekil 4.3.1: Sistemin 3/2 Yön Kontrol Valfli Sistem Modeli.....	41
Şekil 5.2.1: RC filtre devresi	44
Şekil 5.2.2: Benzetim programını akış diyagramı	45
Şekil 5.3.3.1.1: Sistemin Basamak Referans Girişlere Cevapları , Benzetim ($K_p=2.5$, $K_i=0.0001$, $T_d=0.0001$;).....	47
Şekil 5.3.3.1.1.2: Sistemin Basamak Referans Girişlere Cevapları, Benzetim <i>Detaylı Görünüm</i>	48
Şekil 5.3.3.1.1.3: Sistemin Basamak Referans Girişlere Cevapları Yüksüz Deney ($K_p=2.5$, $K_i=0.0001$, $T_d=0.0001$; $K_w=0.0001$).....	48
Şekil 5.3.3.1.1.4: Sistemin Basamak Referans Girişlere Cevapları Yüksüz Deney <i>Detaylı Görünüm</i> ($K_p=2.5$, $K_i=0.0001$, $T_d=0.0001$; $K_w=0.0001$)	49
Şekil 5.3.3.1.1.5: Sistemin Rampa Referans Girişlere Cevapları, Benzetim ($K_p=2.5$, $K_i=0.0001$, $T_d=0.0001$; $A_r=1, 3, 5$ mm/s).....	50
Şekil 5.3.3.1.1.6: Sistemin Rampa Referans Girişlere Cevapları, Yüksüz Deney ($K_p=2.5$, $K_i=0.0001$, $T_d=0.0001$; $K_w=0.0001$; $A_r=1, 3, 5$ mm/s)...	50
Şekil 5.3.3.1.1.7: Sistemin Sinüs Referans Girişe Cevabı, Benzetim ($K_p=2.5$, $K_i=0.0001$, $T_d=0.0001$; ; $f = 0.3$ Hz).....	51

Şekil 5.3.3.1.1.8: Sistemin Sinüs Referans Girişe Cevabı, Yüksüz Deney ($K_p=2.5$, $K_i=0.0001$, $T_d=0.0001$; $K_w=0.0001$; $f = 0.3\text{Hz}$)	51
Şekil 5.3.3.1.1.9: Sistemin Sinüs Referans Girişe Cevabı, Benzetim ($K_p=2.5$, $K_i=0.0001$, $T_d=0.0001$; $f=2\text{Hz}$)	52
Şekil 5.3.3.1.1.10: Sistemin Sinüs Referans Girişe Cevabı Yüksüz Deney ($K_p=2.5$, $K_i=0.0001$, $T_d=0.0001$ $K_w=0.0001$; $f=2\text{Hz}$)	52
Şekil 5.3.3.1.1.11: Sistemin Sinüs Referans Girişe Cevabı, Benzetim ($K_p=2.5$, $K_i=0.0001$, $T_d=0.0001$; $f = 5\text{Hz}$)	53
Şekil 5.3.3.1.1.12: Sistemin Sinüs Referans Girişe Cevabı, Yüksüz Deney ($K_p=2.5$, $K_i=0.0001$, $T_d=0.0001$; $K_w=0.0001$; $f = 5\text{ Hz}$).....	53
Şekil 5.3.3.1.2.1: Sistemin Basamak Referans Girişlere Cevapları Benzetim ($\lambda=5$, $\delta=2$)	54
Şekil 5.3.3.1.2.2: Sistemin Basamak Referans Girişlere Cevapları Yüksüz Deney ($\lambda=5$, $\delta=2$).....	55
Şekil 5.3.3.1.2.3: Sistemin Basamak Referans Girişlere Cevapları, Yüksüz Deney Detaylı Görünüm (($\lambda=5$, $\delta=2$).....	55
Şekil 5.3.3.1.2.4: Sistemin Basamak Referans Girişe Cevabı Benzetim Detaylı Görünüm ($\lambda=5$, $\delta=2$).....	56
Şekil 5.3.3.1.2.5: Sistemin Rampa Referans Girişlere Cevapları Benzetim ($\lambda=5$, $\delta=2$; $A_r = 3, 5$).....	57
Şekil 5.3.3.1.2.6: Sistemin Rampa Referans Girişlere Cevapları,Yüksüz Deney ($\lambda=5$, $\delta=2$; $A_r = 3, 5$).....	57
Şekil 5.3.3.1.2.7: Sistemin Rampa Referans Girişlere Cevapları, Benzetim ($\lambda=5$, $\delta=2$; $A_r = 10$) (eğim=maksimum piston hızı)	58
Şekil 5.3.3.1.2.8: Sistemin Rampa Referans Girişlere Cevapları , Yüksüz Deney ($\lambda=5$, $\delta=2$; $A_r = 10$) ..	58
Şekil 5.3.3.1.2.9: Sistemin Sinüs Referans Girişlere Cevapları Benzetim (ISM) ($\lambda=5$, $\delta=2$; $K_i=0.0005$; $f= 0.1, 0.2\text{ Hz}$)	59
Şekil 5.3.3.1.2.10: Sistemin Sinüs Referans Girişlere Cevapları, Yüksüz Deney (ISM) ($\lambda=5$, $\delta=2$; $K_i=0.0005$; $f= 0.1, 0.2\text{ Hz}$)	60

Şekil 5.3.3.1.2.11: Sistemin Sinüs Referans Giriş Cevabı, Benzetim (ISMC) ($\lambda=5, \delta=2, K_i=0.0005; f=1\text{Hz}$).....	60
Şekil 5.3.3.1.2.12: Sistemin Sinüs Referans Giriş Cevabı Yüksüz Deney (ISMC) ($\lambda=5, \delta=2; K_i=0.0005; f=1\text{Hz}$).....	61
Şekil 5.3.2.1.1a: Sistemin Basamak Referans Giriş Cevabı Benzetim ($K_p=7, K_i=0, T_d=0$).....	62
Şekil 5.3.2.1.1b: Sistemin Basamak Referans Giriş Cevabı Benzetim <i>Detaylı Görünüm</i>	62
Şekil 5.3.2.1.2a: Sistemin Basamak Referans Giriş Cevabı Yüksüz Deney ($K_p=7, K_i=0, T_d=0$).....	63
Şekil 5.3.2.1.2b: Sistemin Basamak Referans Giriş Cevabı (<i>Detaylı Görünüm</i>)... ..	63
Şekil 5.3.2.1.3: Sistemin Rampa Referans Giriş Cevabı Benzetim ($K_p=7, K_i=0, T_d=0; A_r=2$).	64
Şekil 5.3.2.1.4: Sistemin Rampa Referans Giriş Cevabı Yüksüz Deney ($K_p=7, K_i=0, T_d=0; A_r=2$).....	65
Şekil 5.3.1.1.5: Sinüs Referans Girişlere Cevap Eğrisi Benzetim ($K_p=7, K_i=0, T_d=0; f=0.2\text{Hz}$).....	66
Şekil 5.3.1.1.6: Sinüs referans Girişlere Cevap Eğrisi Yüksüz Deney ($K_p=7, K_i=0, T_d=0; f=0.2\text{Hz}$).....	66
Şekil 5.3.2.2.1: Sistemin Basamak Referans Giriş Cevabı Benzetim (yüksüz) ($\lambda=500, \delta=1$).....	67
Şekil 5.3.2.2.2: Sistemin Basamak Referans Giriş Cevabı Yüksüz Deney ($\lambda=500, \delta=1$).....	68
Şekil 5.3.2.2.3 : Sistemin Rampa Referans Girişlere Cevabı, Benzetim (Yüksüz ($\lambda=7770, \delta=3, A_r=2$).....	69
Şekil 5.3.2.2.4: Sistemin Rampa Referans Girişlere Cevabı, Yüksüz Deney ($\lambda=7770, \delta=3, A_r=2$).....	69
Şekil 5.3.2.2.5: Sistemin Sinüs Referans Giriş Cevabı Benzetim ($\lambda=500, \delta=3; f=0.1\text{Hz}$).....	70
Şekil 5.3.2.2.6: Sistemin Sinüs Referans Giriş Cevabı, Yüksüz Deney ($\lambda=500, \delta=3; f=0.1\text{Hz}$).....	70

Şekil 5.3.2.2.7: Sistemin Sinüs Referans Girişe Cevabı Benzetim ($\lambda=500, \delta=3; f=0.1$ Hz).....	71
Şekil 5.3.2.2.8: Sistemin Sinüs Referans Girişe Cevabı Yüksüz Deney ($\lambda=500, \delta=3; f=0.1$ Hz).....	71
Şekil 5.3.3.1.1: Sistemin Basamak Referans Girişe Cevabı, K_w uygulanmadan Benzetim ($X_{ref}=70, K_p=12, K_i=0,8, T_d=0, K_w=0;$)	73
Şekil 5.3.3.1.2a: Sistemin Basamak Referans Girişe Cevabı Benzetim ($X_{ref}=70, K_p=12, K_i=0,8, T_d=0;$).....	73
Şekil 5.3.3.1.3a: Sistemin Basamak Referans Girişe Cevabı Yüksüz Deney ($X_{ref}=70, K_p=12, K_i=0,8, T_d=0; K_w=1$)	74
Şekil 5.3.2.1.2b: Sistemin Basamak Referans Girişe Cevabı Yüksüz Deney <i>Detaylı Görünüm</i> ($X_{ref}=70, K_p=12, K_i=0,8, T_d=0;$)	74
Şekil 5.3.3.1.3b: Sistemin Basamak Referans Girişe Cevabı Detaylı Görünüm) ($X_{ref}=70, K_p=12, K_i=0,8, T_d=0;$)	75
Şekil 5.3.3.1.4a: Sistemin Rampa Referans Girişe Cevabı Benzetim ($K_p=5, K_i=2, T_d=0; K_w=1$)	76
Şekil 5.3.3.1.5a: Sistemin Rampa Referans Girişe Cevabı Yüksüz Deney ($K_p=5, K_i=2, T_d=0; K_w=1$)	76
Şekil 5.3.3.1.4b: Sistemin Rampa Referans Girişe Cevabı Yüksüz Deney <i>Detaylı Görünüm</i> ($K_p=5, K_i=2, T_d=0; K_w=1$).....	77
Şekil 5.3.1.5b: Sistemin Rampa Referans Girişe Cevabı Benzetim <i>Detaylı Görünüm</i> ($K_p=5, K_i=2, T_d=0; K_w=1$)	77
Şekil 5.3.3.1.6: Sistemin Sinüs Referans Girişi Cevabı Benzetim ($K_p=7, K_i=1, T_d=0; K_w=1, f=0.05$ Hz)	79
Şekil 5.3.3.1.7: Sistemin Sinüs Referans Girişi Cevabı Yüksüz Deney ($K_p=7, K_i=1, T_d=0; K_w=1, f=0.05$ Hz).....	79
Şekil 5.3.3.2.1: Sistemin Basamak Referans Girişlere Cevabı Benzetim ($\lambda=150, \delta=9.8, X_{ref}:15$)	80
Şekil 5.3.3.2.2: Sistemin Basamak Referans Girişlere Cevabı Yüksüz Deney ($\lambda=150, \delta=9.8, X_{ref}:15$)	81

Şekil 5.3.3.2.3: Sistemin Rampa Referans Girişlere Cevabı Benzetim ($\lambda=150, \delta=9.8$ Ar 1).....	82
Şekil 5.3.3.2.4: Sistemin Rampa Referans Girişlere Cevabı Yüksüz Deney ($\lambda=150, \delta=9.8$ Ar 1).....	82
Şekil 5.3.3.2.5: Sistemin Rampa Referans Girişlere Cevabı Yüksüz Deney <i>Detaylı Görünüm</i> ($\lambda=150, \delta=9.8, Ar 1:75$).....	83
Şekil 5.3.3.2.6: Sistemin Rampa Referans Girişlere Cevabı Benzetim <i>Detaylı Görünüm</i> ($\lambda=150, \delta=9.8, Ar 1:75$)	83
Şekil 5.3.3.2.7: Sistemin Sinüs Referans Girişe Cevabı, (Benzetim) ($\lambda=500000, \delta=0.5; f=0.3Hz$).	84
Şekil 5.3.3.2.8: Sistemin Sinüs Referans Girişe Cevabı, .Yüksüz Deney ($\lambda=500000, \delta=0.5; f=0.3Hz$)	85
Şekil 5.3.3.2.9: Sistemin Sinüs Referans Girişe Cevabı,Benzetim ($\lambda=500000, \delta=0.5; f=0.5Hz$)..	85
Şekil 5.3.3.2.10: Sistemin Sinüs Referans Girişe Cevabı, Yüksüz Deney ($\lambda=500000, \delta=0.5; f=0.5Hz$)	86
Şekil: 5.4.1 : Sisteme Yükün Bağlanması	87
Şekil 5.4.2: 3/2 Kartuş Valfli Sistemin Yük Altındaki Basamak Referans Girişlere Cevabı <i>Yüklü Deney</i> ($\lambda=150, \delta=9.8$)	88
Şekil 5.4.3: 3/2 kartuş valfli sistemin Basamak Referans Girişlere Cevapları <i>Yüklü Deney</i> ($\lambda=150, \delta=9.8$).....	88
Şekil 5.4.4: 3/2 Kartuş Valfli Sistemin Basamak Referans Girişlere Cevapları <i>Yüklü Deney</i> ($\lambda=150, \delta=9.8, detaylı görünüm$)	89
Şekil 5.4.5: 3/2 Kartuş Valfli Sistemin Rampa Referans Girişlere Cevabı <i>.Yüklü Deney</i> ($\lambda=150, \delta=9.8$ Yük 40 Ton, Ar 1)	90
Şekil 5.4.6: 3/2 Kartuş Valfli Sistemin Rampa Referans Girişlere Cevabı <i>Yüklü Deney Detaylı Görürünüm,</i>	90
Şekil 5.4.7: 3/2 Kartuş Valfli Sistemin Rampa Referans Girişlere Cevabı <i>Yüklü Deney</i> ($\lambda=150, \delta=9.8, Ar 1,5$)	91
Şekil 5.4.8: 3/2 Kartuş Valfli Sistemin Rampa Referans Girişlere Cevabı <i>Yüklü Deney(Detaylı Görürünüm,)</i> Ar 1,5	91

Şekil 5.4.9: 3/2 Kartuş Valfli Sistemin Basamak Referans Girişe Cevabı Yüklü Deney (<i>Yükle buluşma xref:97 mm, $K_p=12$, $K_i=0.8$, $T_d=0$; $K_w=1$)</i>	92
Şekil 5.4.10: 3/2 kartuş valfli Sistemin Basamak Referans Girişe Cevabı Yüklü .Deney(<i>Yükle buluşma xref:95 mm, $K_p=12$, $K_i=0.8$, $T_d=0$; $K_w=1$)</i> ...	93
Şekil 5.4.11: 3/2 kartuş valfli Sistemin Basamak Referans Girişe Cevabı Detaylı Görünüm (<i>Yükle buluşma xref:95 mm, $K_p=12$, $K_i=0.8$, $T_d=0$; $K_w=1$)</i>	93
Şekil 5.4.12: Servovalfli Sistemin Basamak Referans Girişlere Cevapları Yüklü Deney (<i>Xref=99, $\lambda=5$, $\delta=2$)</i>	94
Şekil 5.4.13: Servovalfli Sistemin Basamak Referans Girişlere Cevabı .Yüklü Deney <i>Detaylı Görünüm(Xref=99, $\lambda=5$, $\delta=2$)</i>	95
Şekil 5.4.14: Servovalfli Sistemin Basamak Referans Girişlere Cevabı Yüklü Deney <i>Xref=98, $\lambda=5$, $\delta=2$)</i>	95
Şekil 5.4.15: Servo valfli Sistemin Basamak Referans Girişlere Cevabı Yüklü Deney <i>Detaylı Görünüm(Xref=98, $\lambda=5$, $\delta=2$)</i>	96
Şekil 5.4.16: Sistemin rampa referans girişlere cevabı Yüklü Deney <i>Aref=1, $\lambda=5$, $\delta=2$)</i>	97
Şekil 5.4.17: Servovalfli Sistemin Rampa Referans Girişlere Cevabı Yüklü Deney <i>Detaylı Görünüm(yüklü) (Aref=1, $\lambda=5$, $\delta=2$)</i>	97
Şekil 5.4.18: Servovalfli Sistemin Rampa Referans Girişlere Cevabı Yüklü Deney (<i>Aref=2, $\lambda=5$, $\delta=2$)</i>	98
Şekil 5.4.19: Servovalfli Sistemin Basamak Referans Girişe Cevabı Yüklü Deney <i>Yükle buluşma xref:98 mm, $K_p=2,5$, $K_i=.,0004$, $T_d=0.0004$; $K_w=1$..</i>	99
Şekil 5.4.20: Sistemin Basamak Referans Girişe Cevabı Yüklü Deney (<i>Detaylı Görünüm</i>) <i>Yükle buluşma xref:98 mm, $K_p=2.5$, $K_i=0.0004$, $T_d=0.0004$; $K_w=1$</i>	99
Şekil 5.4.21: Servo valfli Sistemin Rampa Referans Girişlere Cevabı Yüklü Deney <i>Ar=3, $K_p=25$, $K_i=0.0004$, $T_d=0.0004$; $K_w=1$</i>	100
Şekil 5.4.22: Servovalfli Sistemin Rampa Referans Girişlere Cevabı Yüklü Deney <i>Detaylı GörünümAr=3, $K_p=2.5$, $K_i=0.0004$, $T_d=0.0004$; $K_w=1$</i>	101
Şekil 6.1: Servovalfli Kontrol Sisteminin Referans Girişlere Cevap Eğrileri (<i>$K_p=2.5$, $K_i=0.0001$, $T_d=0.0001$; $K_w=0.0001$; $A_r=1, 3, 5$ $f=0.3\text{Hz}$)</i>	102

Şekil 6.2: Servovalfli Kontrol Sisteminin Referans Girişlere Cevap Eğrileri (SMC, Deneysel) ($\lambda=5, \delta=2; A_r=3, 5 \text{ mm/s}, f=0.3\text{Hz}$)	103
Şekil 6.3: 2/2 Kartuş Valfli Kontrol Sisteminin Referans Girişlere Cevap Eğrileri (SMC, Benzetim) ($\lambda=7770, \delta=3; A_r=2, f=0.1 \text{ Hz}$)	103
Şekil 6.4: 2/2 Kartuş Valfli Kontrol Sisteminin Referans Girişlere Cevap Eğrileri (SMC, Deneysel) ($\lambda=7770, \delta=3; A_r=2, f=0.1 \text{ Hz}$)	103
Şekil 6.5: 3/2 Kartuş Valfli Kontrol Sisteminin Referans Girişlere Cevap Eğrileri (SMC, Benzetim) ($\lambda=7770, \delta=3; A_r=2, f=0.1 \text{ Hz}$)	104
Şekil 6.6: 3/2 Kartuş Valfli Kontrol Sisteminin Referans Girişlere Cevap Eğrileri (SMC, Deneysel) ($\lambda=150, \delta=9.8; A_r=2;)$	104
Şekil 6.7: Yüklü Deney Düzeneği Ve Sistemlerin Rampa Girişlere Cevap Eğrileri (SMC, Deneysel)	105

TABLolar LİSTESİ

Sayfa

Tablo.3.3.1:	Deney Düzeneginde Kullanılan 3/2 ve 2/2 Kartuş Valflerin Teknik Özellikler.....	24
---------------------	---	----

1.GİRİŞ

Kayan kipli kontrol, dış bozucular ve sistemdeki parametre değişimlerine karşı kontrol sistemine büyük gürbüzlük sağlayan oldukça özel bir yaklaşımdır. Son yıllarda, kayan kipli kontrol yöntemi basitliği ve etkinliğinden dolayı dikkat çekmiş ve çok sayıda kayan kipli kontrol tekniği geliştirilmiştir. Ayrıca, hızlı ve ucuz solenoid aç/kapa valflerin servo kontrollere için kullanımı dünyada gittikçe yaygınlaşmaya başlamıştır. Bu kapsamda, literatürde kaynak olabilecek çalışmalar incelenmiş olup servovalf yerine daha az maliyetli solenoid aç/kapa valfler kullanılarak darbe eni modüleli kayan kipli kontrol ile elektrohidrolik sistemlerin kontrolü çalışmasının en son ürünler ve teknikler ile gerçekleştirilmesi hedeflenmiştir.

Younghuh ve Wennmacher tarafından yapılan ve 1998 yılında yayınlanan çalışmada, elektrohidrolik sistemin 4 adet aç kapa valfi kullanılarak kayan kipli kontrolü (SMC) darbe eni modülasyonu da (PWM) kullanılarak teorik ve deneysel olarak gerçekleştirilmiştir [1]. Çalışma, dijital akış kontrolünün ilk örneklerinden olup silindirin konum kontrolü konusunda daha detaylı bir çalışmaya rastlanmamıştır. Çalışmada detaylı bir doğrusal olmayan valf ve silindir modeli kullanılmıştır. Bilgisayardan çıkan sinyal bir PWM modülatörü ile PWM sinyaline dönüştürülmüştür. Ancak, kayma yüzeyi, sistemin yaklaşık doğrusal modelinden yararlanılarak durum değişkenleri cinsinden ifade edilmiştir. Halbuki günümüzde özellikle doğrusal olmayan sistemler için daha etkili kayan kipli kontrol teknikleri geliştirilmiştir. Ayrıca çalışmada kullanılan donanım günümüzdükine göre çok sınırlı özelliktedir. Örneğin, kullanılan bilgisayarın kapasitesi örnekleme zamanı açısından yetersizdir. Örnekleme zamanı ne kadar küçükse yüksek frekanslı kontrollerdeki kalite o derece iyi olur. Ayrıca, aç/kapa hızları, sızıntı oranları ve sürtünmeler gibi özellikler açısından valf kaliteleri günümüze kadar çok artmış, elektronik arayüz ve algılayıcılar ile ilgili teknoloji de çok gelişmiştir.

Sárosi, J.,Gyeviki, J., Véha, A. ve Toman P., tarafından yapılan “Accurate Position Control Of Pam Actuatorin Labview Environment” isim ile 2009 yılında yayınlanan

çalışma uluslararası bir sempozyumda sunulmuştur. Çalışmanın amacı insandaki kas yapısına benzer yapay bir kas elde etmek olup bunun için tıpkı insanda olduğu gibi hassas bir kontrol sağlanması gerekmektedir. Klasik kontrol yöntemlerinin yapay kaslarda istenen verimi sunmayacağı görülmüştür. Bundan dolayı çalışmada gürbüz bir kontrol tekniği olan SMC kullanılmıştır. Geleneksel valflerde tepki süresi sınırlı olduğu için doğru konum kontrolü elde etmek zordur. Bu nedenle son yıllarda gelişen ucuz ve yüksek hızlı aç/kapa pnomatik valfler bu iş için uygundur. Sistemin fiziksel modeli ileri geri hareketi sağlayan yapay kas modelleri, yüksek hızlı aç kapa pnomatik valfler, artırılmış enkoder, bilgisayar ve arayüz programından oluşmaktadır. Kontrol sinyallerinin PWM ile üretildiği çalışmada yüksek hassasiyetli, titreşim oranı düşük hareket elde edilmeye çalışılmıştır. Ancak, çalışma pnömatik kontrol ile ilgili olmakla beraber, hidrolik sistemlere uygulamada örnek alınabilir [2].

Kangwu ve ark. tarafından yapılan çalışmada, uzaktan kumandalı bir su altı aracının pervanesi çift yönlü bir hidrolik motor ile tahrik edilmektedir [3]. Hidrolik motorun açısal konum kontrolü dalgalı kontrol yöntemi ile oluşturulan kontrol sinyali darbe eni ve darbe frekans modülasyonu (PWPFM) ile üretilen sinyaller 3/2 aç kapa valflere gönderilerek gerçekleştirilmiştir. Çalışma teorik ve deneysel olup doğrusal olmayan sistem modeli oluşturulmuştur. Hidrolik motor ile açısal konum kontrolüne iyi bir örnektir.

Muto ve ark. tarafından yapılan çalışmada, hidrolik silindirle hareketi sağlanan bir tablanın hassas kontrolü ele alınmıştır [4]. Hidrolik silindirin kontrolü için yüksek hızlı iki adet aç/kapa valf kullanılmıştır. Geleneksel yöntemlerden farklı olarak valf yerine otomobil yakıt enjektörü sisteme bağlanmış ve PWM tekniği ile kontrol sinyali üretilmiştir. Tablanın kontrolü bir mikroişlemci ile yapılmıştır. Sistemin dinamik ve statik özellikleri deneysel çalışmalarla tespit edilmiştir.

Shao-jun ve ark. tarafından yapılan çalışmada, hem pratik hem teorik değerlere sahip olan bir hidrolik konum sistemi incelenmiştir [5]. Bu çalışmada bir silindirin 2 adet yüksek hızlı solenoid valf ile kontrolü ele alınmıştır. PWM sinyali üretilerek Lineer Quadratik Optimizasyon kontrol tekniği kullanılarak silindirin kontrolü sağlanmıştır. Valflerin tepki hızları 150-180 milisaniyedir. Silindirde valflerin açma

kapamalarından dolayı titreşim oluşmaktadır. Daha hassas bir kontrol için daha hızlı valflere ihtiyaç olduğu görülmektedir.

Branson ve ark. tarafından yapılan çalışmada, tekerlekli bir kütlelin hareketi iki hidrolik silindir ile sağlanmıştır [6]. Çalışmanın amacı yüksek hızlı aç/kapa valfleri kullanarak hassas kontrol elde etmektir. Teorik ve deneysel çalışmanın yapıldığı sistem üzerinde PWM kontrol sinyalleri uygulanmıştır. PID kontrol tekniğinin uygulandığı çalışmada yüksek hızlarda istenen sonuç elde edilememiştir. Ancak yüksek hızlı aç/kapa valflerinin bu tür çalışmalarda etkin kullanılabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Şitum ve ark. tarafından yapılan çalışmada, yüksek hızlı aç kapa valflerle pnömatik bir sistemin servo kontrolü yapılmıştır [7]. Teorik ve deneysel bir çalışmadır. Çalışmada nispeten pahalı olan oransal valflerin yerine yüksek hızlı aç/kapa valfler kullanılarak kontrol sağlanmıştır. Yenilikçi bu valflerin düşük iç sürtünme oranları uygulamayı başarılı kılmıştır. PWM tekniğinin valflerin hızlı aç/kapa yaptırılarak çalıştırma durumuna uygun düştüğü görülmüştür. Ayrıca gecikme süresi düşük valflerle yapılacak çalışmanın daha verimli olacağı belirtilmiştir. 3/2 veya 5/3 aç/kapa valf, basınç ölçer ve konum ölçerin kullanıldığı düzenek bilgisayar üzerinden C dilinde yazılmış bir programla kontrol edilmiştir. Oransal valflere göre eksiklikleri olan aç/kapa valflerin son teknoloji ile aradaki farkı kapatabileceği ve oransal valflerin yerine kullanılabileceği vurgulanmıştır. PWM kontrol sinyali üretilirken, kullanılan valflerin ölü zamanının dikkate alınması gerektiğine de dikkat çekilmiştir. Çalışma pnömatik kontrol ile ilgili olmakla beraber hidrolik sistemlerin kontrolü iyi bir örnek oluşturmaktadır.

Bu çalışmada yeni teknolojik bileşenler ve gelişmiş bir kontrol tekniği kullanılarak servovalf ile elde edilen çıktı kalitesi aç/kapa kartuş valfler kullanılarak darbe eni modüleli kayan kipli kontrol tekniği ile tutturulmaya çalışılmıştır. Servovalfli sistem dahil üç ayrı sistem üzerinde çalışılmıştır. Birincisi, servovalfli sistem; ikincisi, iki yollu iki konumlu (2/2), solenoid uyarılı, sürgülü, yay geri dönüşlü dört adet aç/kapa kartuş valf kullanan sistem; üçüncüsü ise üç yollu iki konumlu (3/2), solenoid uyarılı, sürgülü, yay geri dönüşlü iki adet kartuş valf kullanan sistemdir. Her bir sistem için detaylı modellemeyi müteakip çok sayıda benzetim ve deney yapılmış, servovalf ve

kartuş valflerle elde edilen teorik ve deneysel sonuçlar karşılaştırılmıştır. Kullanılan tekniğin üstünlükleri ve eksiklikleri ortaya konulmuş ve gelecek uygulamalar için önerilerde bulunulmuştur.

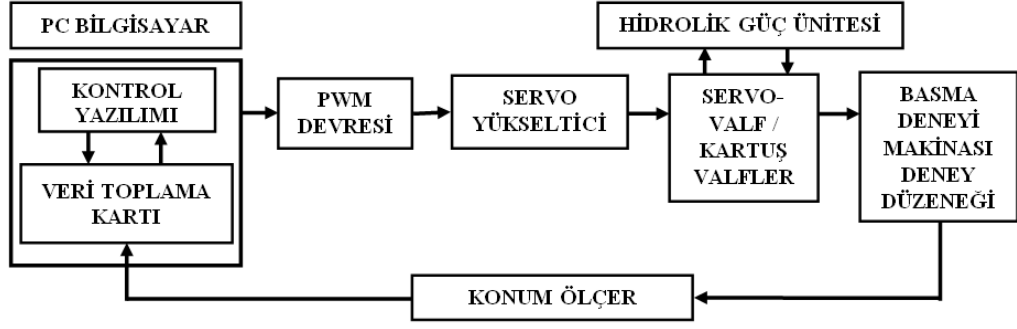
2.GENEL BİLGİLER

2.1. Elektrohidrolik Kontrol Sistemleri

Elektrohidrolik kontrol sistemleri, elektrik sinyali ile uyarılan valfler ve kullanılan hidrolik tahrik elemanları ile sürülen analog veya sayısal kapalı çevrim geri beslemeli kontrol sistemleridir. Yetirince hassas kontrolleri gerçekleştirebilmek için genelde yüksek frekanslı servovalfler kullanılır. Ancak günümüzde yüksek hızlı servosolenoid valfler ve modüleli sinyal yardımıyla kartuş valfler de kullanılmaktadır. Gelişen mikro işlemci bilgisayar ve valf hızları ile birlikte sayısal hidrolik tarafına doğru eğilim kuvvetlenmektedir. Servovalf maliyetlerinin hala yüksek oluşu bu eğilim hızlandırmaktadır. Servovalf ile elde edilen kontrol kalitesine ne kadar yaklaşılabirirse o kadar istenilen kalitede iş görebilen ancak servovalfe göre daha ekonomik sistemler ortaya çıkmaktadır.

Servovalfin her bir uyarı konumunda iki akış kapısı açık olacaktır. İleri harekette iki kapı ($P \rightarrow A$, $B \rightarrow T$) geri harekette ise diğer iki kapı ($P \rightarrow B$, $A \rightarrow T$) aktiftir. Bu davranışı benzetebilmek için dört adet 2/2 kartuş valf veya iki adet 3/2 kartuş valf kullanılabilir. Ancak, servovalfin kapıları orantılı bir şekilde açması (değişken orifis alanı) kartuş valflerin ise tam açık veya tam kapalı çalışması benzeşimi engellenmektedir. Bunu aşmak için darbe eni modülasyonu, kartuş valflere yapılmış kontrol sinyali gönderilerek görev çevrimine (duty cycle) göre valflerin sürgüleri istenilen açıklıklarına yakın konumlarda dinamik olarak kontrol edilebilirler. Bu durum-alçak geçiren filtre prensibinde olduğu gibi- elektrohidro mekanik sürgü dinamiğinin elektriksel sistem dinamiğine göre çok yavaş kalması sayesinde gerçekleşmektedir.

Şekil 2.1.1 'de bilgisayar kontrollü bir elektrohidrolik servo sistemin genel blok diyagramı görülmektedir.



Şekil 2.1.1 Elektrohidrolik Servo Sistemin Blok Diyagramı

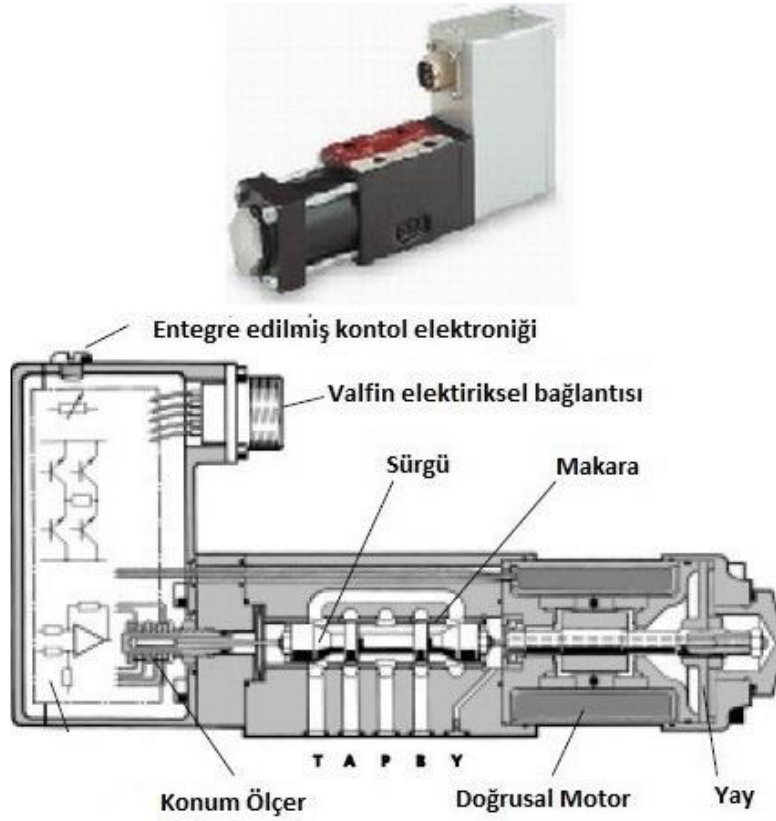
2.2.1.Servovalfler

Servovalfler genelde çok kademeli veya doğrudan tahrikli tek kademeli diye iki kısımda ele alınabilir. Genelde çok kademeli valfler, birinci kademesi kanat-nozul ikinci veya üçüncü kademeleri sürgülüdür. Birinci kademesi servo-jet sistemi ile çalışan servovalfler de vardır. [8]. Ancak en çok kullanılan klasik servovalf kanat-nozul sistemi kullanan valftir. Gelişen yapay mıknatıs ve daha büyük kuvvetler uygulayabilen hızlı magnetik doğrusal motor teknolojisi ile birlikte içerisinde elektromekanik sürgü konum kontrolü bulunan tek kademeli doğrudan tahrikli servovalfler geliştirilmiştir. Gelişmiş özelliklerden dolayı tercih edilmeye başlanmıştır.

Bu çalışmada doğrudan tahrikli servovalf kullanılmış olup, yalnızca bu tür servovalfle ilgili özet bilgi verilmiştir.

2.2.2.Doğrudan Tahrikli Servovalfler

Kanat-nozulve sürgü türü servovalflerin dezavantajlarını ortadan kaldırmak için bu valfler ortaya çıkmıştır. Doğrudan tahrikli servovalf tek kademeli olup, birdoğrusal manyetik motor, motor nüvesine bağlı sürgü, konum ölçer ve valfe entegre edilmiş kontrol elektroniği kısmından oluşur. Bu elemanlar ile oluşturulan kapalı çevrim kontrol sistemi ile sürgünün konumu istenildiği gibi kontrol edilir. Sistemin girişi uygulanan voltaj, çıkışı ise sürgünün konumudur. Sonuç olarak giriş sinyalinin büyüklüğüyle orantılı olarak valfin sürgüsünün konumu değiştirilebilir. Valf sürgüsünün konumuna göre de değişken debiler elde edilebilir.



Şekil 2.2.2.1. Doğrudan Tahrikli Servovalf [12]

Doğrudan tahrikli servovalfin kanat-nozul türü valfe göre avantajları şunlardır. Valfin dinamik özellikleri sistem basıncına bağlı değildir. Elektromekanik sürgü konum kontrolü sayesinde cevap verme hassasiyeti yüksek, histerezis değeri düşüktür. Ayrıca pilot uyarı hattına ihtiyaç duymaz. Dezavantajı ise, doğrudan tahrikli servovalfin toplam kütlesi kanat-nozultürü valfe göre nispeten büyük olduğundan dolayı kırılma frekansları biraz daha düşük değerlerdedir.

Servovalfin kararlı bir şekilde kontrol edilmesinde etkili olan en önemli dinamik karakteristikleri frekans cevabı ve basamak cevabıdır. Kapalı çevrim sistemlerde servovalfin cevap zamanı sistemin cevap zamanından en az 4-5 kat daha fazla olmalıdır [9].

Servovalfin kontrol edilmesinde etkili olan karakteristiklerinden biride histerezisdir.Histerezis, valfi kontrol eden giriş voltajının sıfırdan başlayıp maksimum değere çıkıncaya kadar alınan sonuç ile giriş voltajının maksimum değerden minimum değere ininceye kadar alınan sonuç arasındaki farktır.Valfin içindeki statik sürtünmesinin yüksek olması histerezis değerini artırır[9]. Histerezis değeri ne kadar düşük olursa valfin tekrarlama hassasiyeti artar. Hidrolik sistemi kumanda eden valf, sistemin tutarlı bir şekilde kontrol edilmesinde etkin rol oynar.

2.3.Kartuş Valfler

Gelişen teknoloji ile daha hassas dahadayanlı üretilen elektriksel tahrikli bu valfler kullanım alanları artmaya başlamıştır. Servovalflerin maliyetinin yüksek olması solenoid valflerle çalışma gereksinimini ortaya çıkarmıştır. Günümüzde kaliteli hassas malzemelerden üretilen solenoid valflerin performansı servovalfe rakip olacak düzeye yaklaşmaktadır.

Blok içinde kendisi için ayrılmış olan boşluklara gömülerek kullanılır. Kartuş valfler genel olarak kovan ve kapama elemanı adı verilen 2 farklı elemanın birleşmesinden oluşur. Yapıları ve çalışma sistemleri sıradan valflere göre farklıdır. Kartuş valfler genelde 2 yollu olarak yapılmasına rağmen bazı durumlarda 3 veya 4 yollu olarak yapılabilir. Kartuş valfler; çek valf, yön kontrol, basınç kontrol ve akış kontrol valfi gibi bir çok ihtiyacı karşılamak amacıyla kullanılabilir.



Şekil 2.3.1 Kartuş valfin sürgüsü

2.3.1.Üstünlükleri [10]

1. Yapıları basittir.
2. Debi geçirgenliği yüksektir.
3. Dış sızıntıları yoktur.
4. Hem düşük hem de yüksek basınçlarda kullanılabilir.
5. Blok içinde kullanıldığı için boru, hortum gibi bağlantı sayısı azdır.
6. Mantık uygulamalarında kullanılabilir (lojik valf olarak da adlandırılır).
7. Bir kartuş valf çok sayıda işlev için kullanılabilir.
8. Önemli oranda yer kazanımı sağlar.
9. Devre uygulamalarında esneklik sağlar.



Şekil 2.3.1.1. Kartuş valflerin blok üzerinde kullanımı [10]

Bu valflerin servovalfe rakip olabilmesi için iyi bir kontrol tekniği ile kullanılması gerekir. Solenoid valfler(kartuş valfler) uygulama alanına göre özel olarak üretilmiş bloklar üzerinde monte edilerek kullanılır. Blok üzerinde basınç, hattı tahliye hattı, iş hattı(çalışma), ve barometre bağlantı bölümü yer alır. Elektriksel tahrikle kontrol edilen bu valflerin bobinleri valf üzerine sökülüp takılabilir.

Solenoid valf şu şekilde çalışır. Valf bobininin enerjilenmesi sonucu valf sürgüsü yukarı hareket eder. Basınç yada tahliye hattı açılır yağ akışı sağlanır. Enerjisi kesildiğinde valf, normalde kapalı ise sürgü eski yerine oturarak tekrar kapalı konuma gelir. Kartuş valflerin içinde bulunan açma kapama elemanları sürgülü(spoll) ve oturmalı(popet) olmak üzere iki çeşittir. Sürgülü olan kartuş

valflerde sızıntı problemleri ve kirlilik sorunları ile karşılaşılabilir. Sürgülü valfin oturma valfe göre fiyatı daha ucuzdur.

Elektrohidrolik sistemlerde aç kapa kartuş valf kullanılması gerekirse sistemin özel durumları dikkate alınarak en uygun kartuş valf seçilmelidir. Piyasada satılan kartuş valflerin sipariş kodu kullanılacağı yere göre oluşturulur.

2.3.2 Valflerin Karşılaştırılması [9].

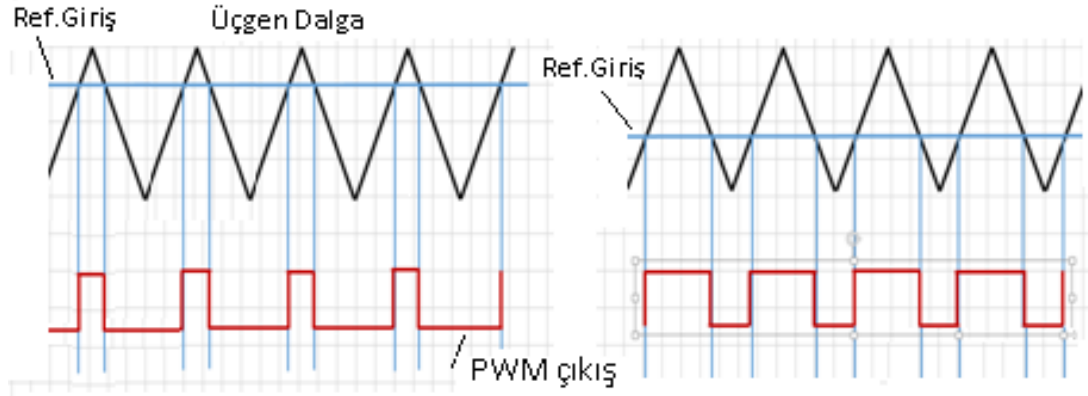
Maliyete göre bir karşılaştırmada aç-kapa selenoid valflerin fiyatı baz alınırsa,

- Konum geribeslemesiz oransal valfin fiyatı 2 kat,
- Geribeslemeli oransal valflerin fiyatı 2.5 kat,
- Servoselenoid valflerin fiyatı 3.5 kat
- Servovalflerin fiyatı ise 6 kat daha yüksektir

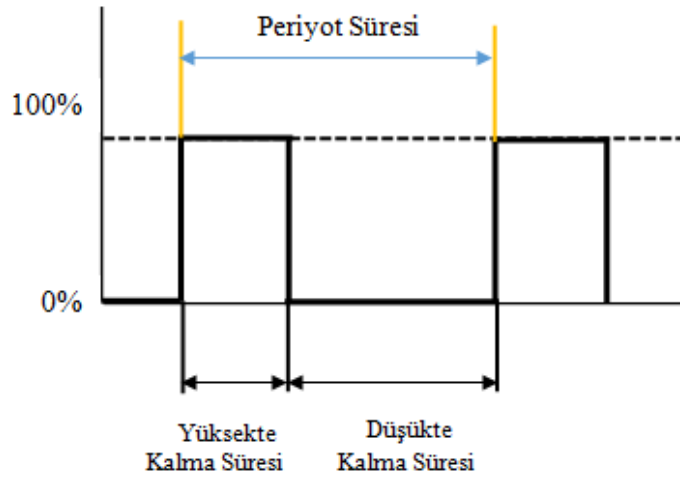
Dinamik performansa göre karşılaştırmada, valflerin dinamik başarımları kıyaslandığında fiyatları ile doğru orantılıdır. Servovalf, servoselenoid valf, oransal valfler ve aç kapa valf olarak yazılabilir; yani servovalflerin performansı diğerlerinden üstündür[9].

2.4. Darbe Eni Modülasyonu

Dönüştürülecek sinyalin bir üçgen dalga ile karşılaştırılması sonucu elde edilmesi tekniğine “darbe eni modülasyonu”(Pulse Width Modulation, PWM) denir. Karşılaştırma işlemi, işlemsel yükselticilerle elde edilebileceği gibi mikro işlemciler veya yazılımla yapılabilir. Üçgen dalganın frekansı, üretilecek kare dalganın frekansına eşittir. Bütün tekniklerde dönüştürülecek giriş sinyali PWM üreticine girilir; çıkışta istenilen frekansta PWM sinyali elde edilir. PWM tekniğinde bilinmesi gereken önemli kavramlardan biride görev zamanıdır (Duty Cycle). Görev çevrimi, giriş sinyalinin maksimum değerinde kalma süresinin periyoda oranına denir. PWM işleminde ayarlanan periyot sabit olup, giriş sinyalinin genliği değiştirildikçe üretilen kare dalganın çalışma oranı (bir periyotluk sinyalin pozitif ve negatif kısımlarının bütüne oranı) değiştirilmiş olur.



Şekil 2.4.1. PWM Sinyalini Oluşturma Prensipleri [19]



Şekil 2.4.2. Görev Çevrimi Prensipleri [20]

PWM sinyali farklı şekillerde üretilebilir. En basit olarak 555 ile üretilen üçgen dalga işareti referans sinyali ile karşılaştırılırsa PWM üretilmiş olur.

Başka bir yöntem ise PIC ile pwm sinyali üretmektir Mikroişlemciye girilen referans sinyali entegre içinde karşılaştırılıp 0-5v arasında PWM çıkış sinyali verir; servo yükselticiden geçirilerek istenilen sistem sürülebilir. Elektrohidrolik kontrolde puls genişliği modülasyonunun tercih edilmesinin en önemli nedeni, puls genişliği modülasyonunun biri pozitif diğeri negatif olmak üzere puls çiftlerinden oluşmuş

olmasıdır. Bu sinyal yapısı uygulamada yüksek hızlı solenoid valflerin açık/kapalı biçimde kullanılmasına olanak sağlar [17].

2.5. PID kontrol [11]

Hatanın mevcut, geçmiş ve gelecek durumunu dikkate alabilen PID kontrol, yapısının basitliği, uygulanabilirliğinin yüksek olması ve yeterli gürbüzlüğü sağlaması nedeniyle pek çok endüstriyel uygulamada tercih edilmektedir. Standart PID kontrol için kontrol sinyali, çoğunlukla,

$$u_{pid} = K_p \left(e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t)dt + T_d \frac{de}{dt} \right) \quad (1)$$

şeklinde ifade edilir. Burada, K_p oransal, T_i integral ve T_d türevsel kazançlardır

2.6. Kayan kipli kontrol [11, 18]

Kayan kipli kontrol, sistemdeki belirsizliklere, parametre değişimlerine ve bozuculara rağmen istenilen dinamik davranışı sağlayabilen son derecede gürbüz bir kontrol tekniğidir. 1950’lerde ilk defa Emelyanov tarafından ortaya atılan teknik, hem hızlı anahtarlama teknolojisinin gelişmemiş olması, hem de bir müddet yalnızca Rusça literatürde yer almış olmasından dolayı 1970’li yıllara kadar çarpıcı teorisine rağmen raflarda kalmış, gelişen hızlı anahtarlama teknolojisi ve 1977 yılında ilk kez Vadim Utkin’in İngilizce makalesi ile ciddi anlamda gündeme gelmiş, günümüze kadar da gittikçe artan bir ivme ile kullanım alanı genişlemiştir. Gerçek dinamik sistemlerde, modelleme hataları, istenmeyen sıcaklık, basınç veya voltaj değişimleri, titreşim ve bozucu girişler gibi çeşitli çevresel faktörlerden kaynaklanan belirsizliklerden kaçınmak imkânsızdır. Endüstride kullanılan PID kontrolcü gibi klasik doğrusal kontrolcüler genellikle parametre değişimlerine, modellenmemiş dinamiklere ve bozucu girişlere karşı yeterince tatmin edici sonuçlar verememektedir. Bu nedenle, özellikle belirsiz sistemler için, doğrusal veya doğrusal olmayan sistemlerdeki belirsizliklerin sistem cevabı üzerindeki etkisini sıfıra götürebilen kayan kipli kontrol tekniği tercih edilmekte olup kullanımı son derecede yaygınlaşmış, çok sayıda kayan kipli kontrol tekniği geliştirilmiştir. Kayan kipli kontrolün temeli gürbüz kontrol olarak bilinen “değişken yapıli kontrol”e

dayanmaktadır. Kayan kipli kontrol (SMC) tekniğinde, sonsuz anahtarlamalı geri besleme kontrolü kullanılarak, doğrusal veya doğrusal olmayan sistem durum uzayında tanımladığımız yüzey üzerine çekilir ve yüzey üzerinde tutulur. Bu yüzey durum değişkenlerinden oluşur, arzu edilen dinamik cevap şekline göre seçilir ve ‘kayma yüzeyi’ denilir. Sistem, kayma yüzeyine bir kez ulaştığı zaman kontrol edilen sistem (plant) parametre değişimlerinden ve bozucu etkilerden bağımsız hale gelir.

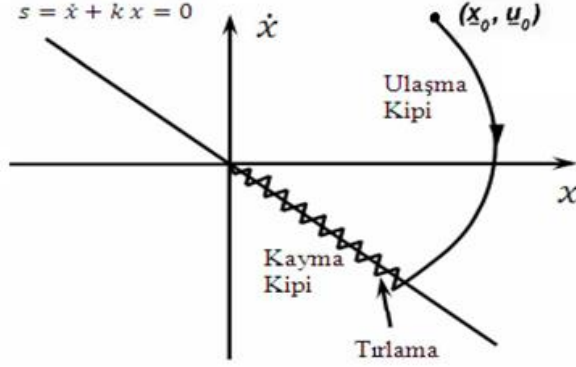
Birinci mertebeden bir sistemin kontrol edilmesi, n. mertebeden bir sistemin kontrol edilmesine nazaran daha basittir. Kayan kipli kontrol yaklaşımında ‘n’ inci mertebeden kontrol probleminin yerini birinci mertebeden kontrol problemi alır. Böylelikle, sistemdeki parametre belirsizlikleri ve bozucu girişlerin varlığına rağmen gürbüz bir kontrol gerçekleştirilmiş olur. Birinci mertebeden bir sistemin geribesleme kontrol yapısı, eğer hata eksi ise sistemi artı yöne zorla; eğer hata artı ise sistemi eksi yöne zorla şeklindedir ve göreceli olarak uygulanması basittir. Bu basitlik, kayan kipli kontrol sayesinde n. mertebeden doğrusal veya doğrusal olmayan sistemlere de uygulanabilmektedir. Kayan kipli kontrol tekniğinin anlaşılabilmesi için örnek olarak ikinci mertebeden zamanla değişmeyen aşağıda modeli verilmiş doğrusal bir sistem ele alınmış olsun.

$$\ddot{x} + a_1\dot{x} + a_2x = u \quad (2)$$

$$s = \dot{x} + \lambda x \quad \& \quad u = -M_0 \operatorname{sgn}(s) \quad (3)$$

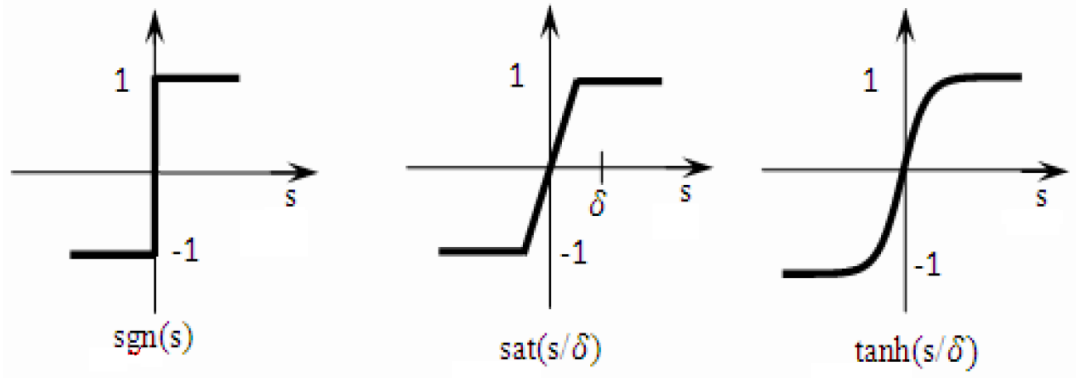
Burada, s kayma yüzeyi olup değişken; a_1, a_2 plant parametreleri, λ kontrol kazancı ve M_0 ise anahtarlama sinyalinin maksimum değeri olup sabit değerlerdir. Kontrol sinyali süreksizdir ve sistemi yüzey üzerine çeker. Sistem ulaşma kipindedir (reachingphase) ve bir t_e anında sistem bu yüzeye erişir ve kayma kipine girer (Şekil 2.6.1). Yüzey üzerinde sistem kayma kipine girmiş olup $s = \dot{x} + \lambda x = 0$ denklemi geçerlidir ve çözümü $x(t) = x(t_e)e^{-\frac{1}{\lambda}(t-t_e)}$ şeklindedir. Görüldüğü üzere çözüm düşük mertebededir ve sistem parametreleri ile bozucu girişlerden bağımsızdır. Çözüm sadece yüzey parametrelerine bağlıdır ve yeni sistemin dinamiğini yalnızca seçilen yüzey belirlemektedir. Kayan kipli kontrolün değişmezlik (invariance) ve gürbüzlük özelliği (robustness) buradan gelmektedir.

Ancak ulaşma kipinde kontrol dinamiği sistem parametrelerine bağlıdır; kayma kipinde ise yüzeye bağlıdır, gürbüzlük özelliği kayma kipinde geçerli olur.



Şekil 2.6.1. İkinci mertebeden bir sistemin kayan kipli kontrolü [11]

Kayan kipli kontrol süreksiz bir yapıya sahiptir ve anahtarlama kontrol sinyaline sahiptir. Ancak anahtarlama gecikmesi, sistemdeki diğer gecikme ve doğrusal olmayan parazitik etkilerden dolayı sistemde tırlama (chattering) meydana gelir (Şekil 2.6.1.) Tırlama gereksiz yere titreşim oluşturan, sistemin ömrünü kısaltan ve gereksiz enerji tüketimine neden olan olumsuz bir etkidir. Tırlamayı azaltmak için sert geçişleri olan “sgn” fonksiyonu yerine “sat” doyma fonksiyonu veya daha da azaltmak için “tanh” sigmoid fonksiyonu gibi yumuşak geçişleri olan “yumuşatma fonksiyonları” kullanılabilir (Şekil 2.6.2). Böylelikle yüzeyin yakınlarında daha yumuşak ve azalan sinyal üretilmiş olur. Bu ise, kayma yüzeyinin yeterince yakınında yüzeye alttan ve üstten paralel sınır yüzeyler tanımlanarak ve sinyal bu sınırlar içerisinde yumuşatılarak gerçekleştirilebilir.



Şekil 2.6.2. Anahtarlama fonksiyonları ($\text{sgn}(s)$, $\text{sat}(s/\delta)$ ve $\text{tanh}(s/\delta)$) [11]

2.6.1. Referans Yörünge İzleme Kontrolü [11, 18]

Doğrusal olmayan tek girişli tek çıkışlı bir sistem bir çok durumda aşağıdaki gibi tanımlanabilir.

$$\dot{\mathbf{x}}^{(n)} = \mathbf{A}(\mathbf{x}) + \mathbf{B}(\mathbf{x}) u \quad (4)$$

Referans giriş durum vektörü $\mathbf{x}_r = [x_r, \dot{x}_r, \dots, x_r^{(n-1)}]^T$ şeklinde, sistemin çıkışı x için hata $e = x - x_r$ ve hata vektörü $\mathbf{e} = [e, \dot{e}, \dots, e^{(n-1)}]^T$ şeklinde tanımlanmış olsun. Zamanla değişen kayma yüzeyi aşağıdaki ifade uyarınca tasarlanabilir.

$$s(x, t) = \left(\frac{d}{dt} + \lambda\right)^{n-1} e \quad (5)$$

Sistemi zamanla değişen kayma yüzeyine ulaştıracak kontrol sinyali u aşağıdaki gibi μ erişilebilirlik kriterinden elde edilebilir.

$$\frac{d}{dt} s^2 < -\mu |s| < 0 \quad (6)$$

Burada, $\eta > 0$ 'dır. Denklem 5, sistemi yüzeye ulaşmaya zorlar ve yüzeye ulaştığında da yüzey üzerinde tutar.

2.6.2. İntegral kayan kipli kontrol [11]

Kayma yüzeyi denkleminde integral terimi eklenerek benzer sonuçlar elde edilebilir.

$$s(t) = \left(\lambda + \frac{d}{dt}\right)^{n-1} e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt \quad (7)$$

Burada, k_i integral kazancıdır. İkinci mertebeden bir sistem için kayma yüzeyi,

$$s(t) = \dot{e}(t) + \lambda e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt \quad (8)$$

halini alır. Buradan, toplam kontrol sinyali aşağıdaki gibi elde edilebilir.

$$u = u_{eq} + u_{sw} = -f + \ddot{x}_r - \lambda \dot{e} - K_i e - \mu \text{sign}(s) \quad (9)$$

3. DENEY DÜZENEĞİ

Deney düzeneği, hidrolik güç ünitesi, DC güç kaynakları, piston-silindir mekanizması (silindir), servovalf, solenoid valfler, modülasyon devresi, güç yükseltme devresi, veri toplama kartı ve bilgisayardan oluşur.



Şekil 3.1.Elektrohidrolik Tahrikli Beton Basma Deneyi Makinesi Deney Düzeneği

3.1.1 Hidrolik Güç Ünitesi

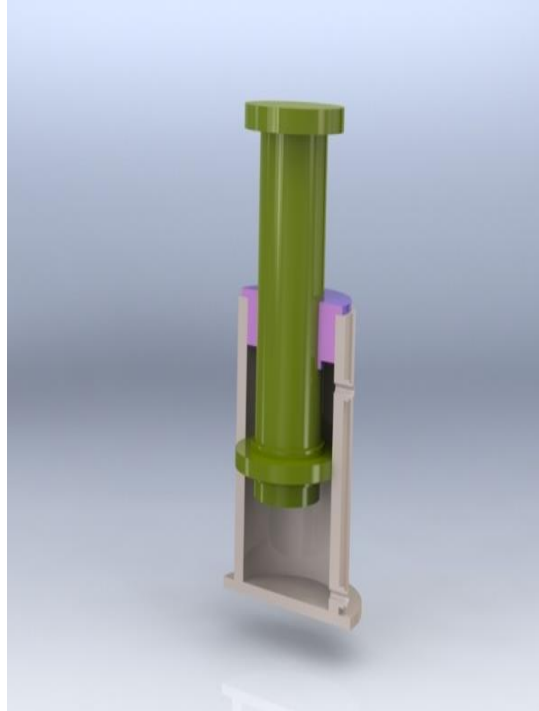
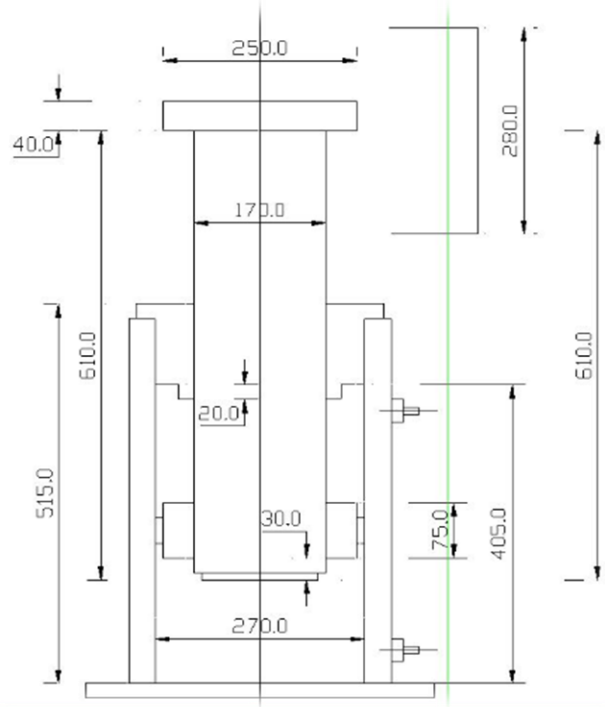
Hidrolik güç ünitesi basınç denetimli pompa içermekte olup 280 bar, 60 l/dak kapasitelidir. Hem emme hattı filtresi hemde servovalf uygulamalarına uygun 5 mikronluk basma hattı filtresine sahiptir.(Şekil 3.1.1 .1.)



Şekil 3.1.1.1. Deney Düzeneğinde Kullanılan Hidrolik Güç Ünitesi

3.1.2. Hidrolik Silindir

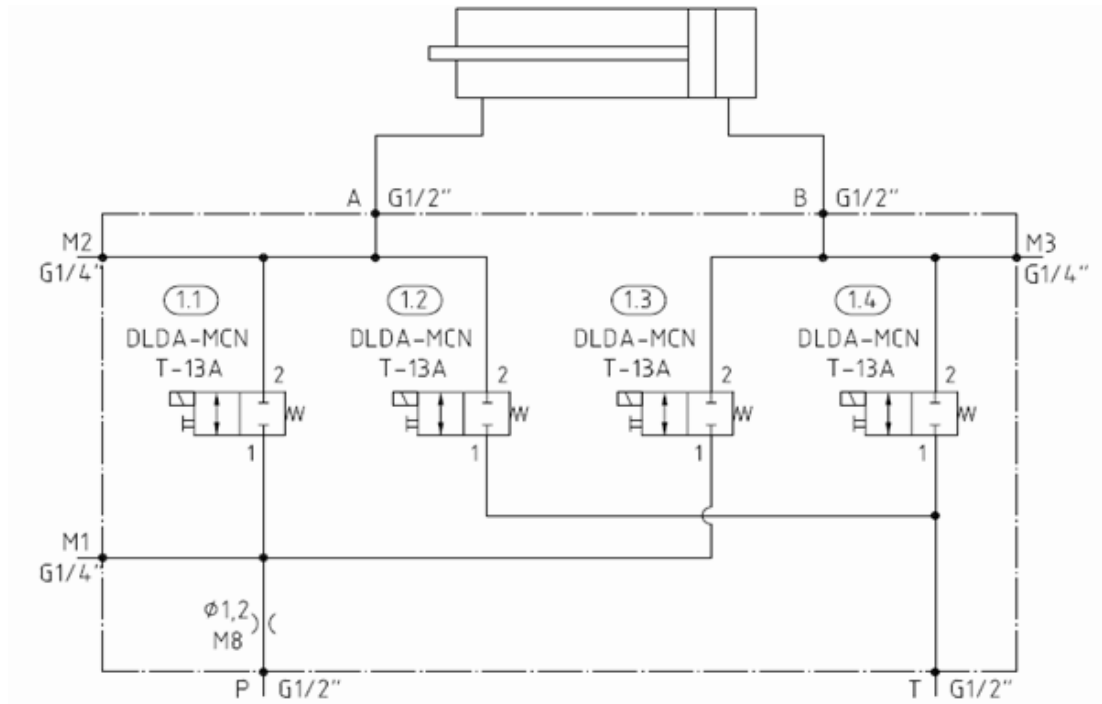
Şekil 3.1.2.1’de silindirin ölçüleri ve üç boyutlu çizimi görülmektedir; çift etkili, tek milli diferansiyel silindir, 200 bar basınçta yaklaşık 150 ton kapasitelidir.



Şekil 3.1.2.1. Deney Düzeneğinde Kullanılan Silindir ve Ölçüleri

3.1.3. İki Konumlu İki Yollu (2/2) Kartuş Valfler İle Deney Düzeneği

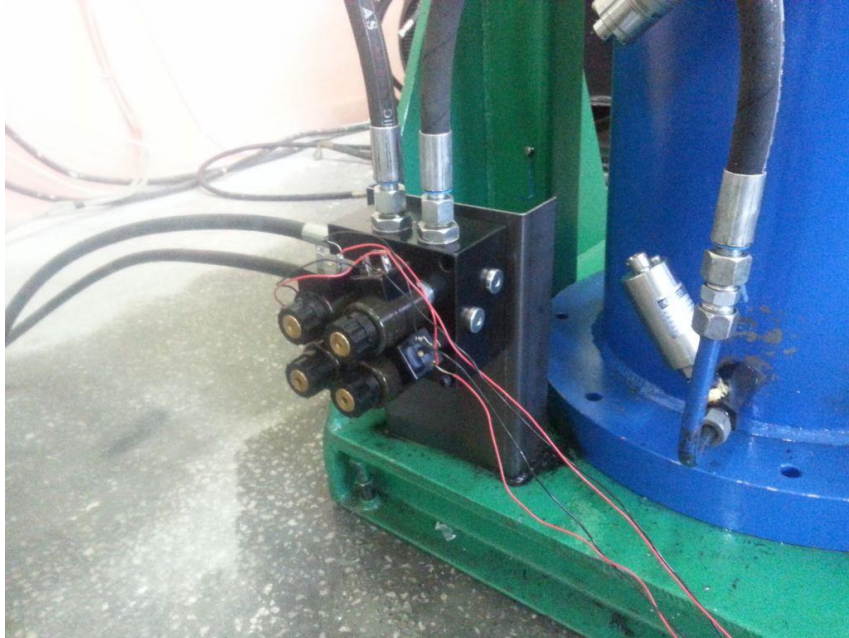
Pistonun-silindir mekanizmasının, ileri geri hareketini sağlamak için 4 adet 2-2 valfler blok üzerine monte edilmiştir. Kartuş valflerin blok üzerinde yerleştirilmesinden sonra Pompa (P) Tank(T) A Hattı(A) ve B Hattı (B) belirlenir. Belirlenen hatlara göre piston-silindir bağlantısı yapılır. Valflerin her biri normalde kapalı durumdadır. Yani herhangi bir elektriksel tahrik olmadığı sürece yağ geçişi olmaz. A hattı pistonun ileri gitmesi için B hattı ise pistonun geri gitmesi için kullanılır. P hattından sisteme basınç verilirken, T hattı ise tanka tahliyeyi sağlar. Şekil 3.1.3.1'e göre 1.3 numaralı valf ile 1.2 numaralı valf tetiklendiğinde piston ileri doğru hareket eder. 1.1 numaralı valf ile 1.4 numaralı valf tetiklendiğinde ise pistonun geri hareketi sağlanır.



Şekil 3.1.3.1. İki Yollu İki Konumlu (2/2) Valf Blok İmalat Şeması



Şekil 3.1.3.2. İki Yollu İki Konumlu (2/2) Valflerle Deney Düzeneği



Şekil 3.1.3.3. İki Yollu İki Konumlu (2/2) Valflerle Deney Düzeneği (Valf Bloğu)

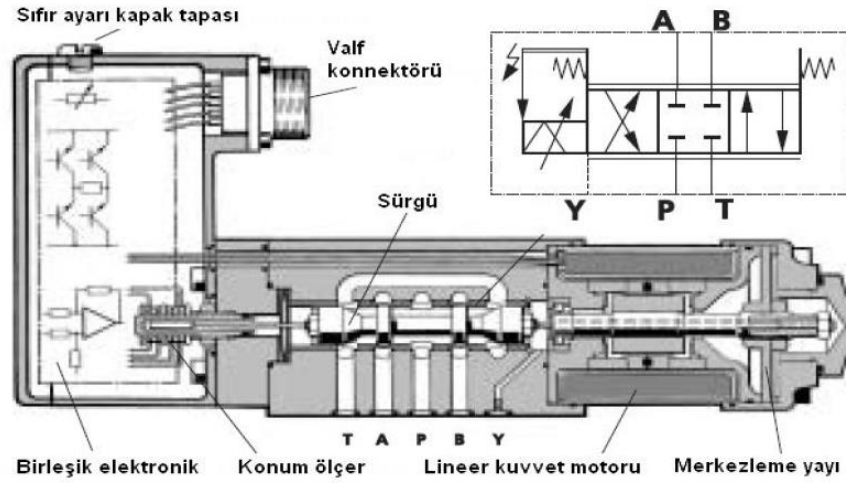


Şekil 3.1.4.2. 3/2 Valf Bloğunun Piston Üzerindeki Resmi

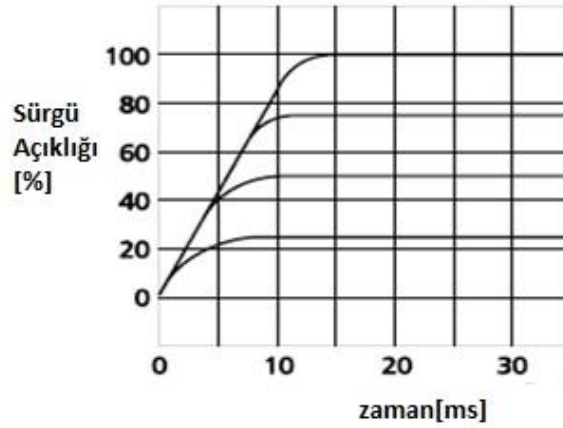
3.2. Servovalf

Deney düzeneğinde kullanılan servovalf, Moog marka D633 model direk voltaj tahrikli, 4 yollu 3 konumlu, kapalı merkez bir servovalftir. Servovalf maksimum 350 bar' a kadar çalışabilen ve ideal çalışma debisi de 40 lt/dk olan bir valftir. Deney düzeneğinde 0-5V olan kontrol kartı çıkış sinyalini $\pm 10V$ 'e dönüştüren bir devre kullanılmıştır. Deney düzeneğinde kullanılan servovalfin resmi Şekil 3.2.1'de, servovalf ile ilgili detaylı bilgide Ek-1'de verilmiştir.

Deneyde kullanılan elektrohidrolik servovalfin özellikleri aşağıda verilmiştir. Servovalfin sürgüsünün yerine gelmesinin gecikme zamanı: Şekil 3.2.2'te servovalfin sürgüsünün % açıklık durumuna göre gecikme zamanını gösterilmektedir. Valf sürgüsü %100 açıkken gecikme zamanı en yüksek değerinde yaklaşık 15ms' de dir. Buradan görülür ki valf sürgüsü açıklığı arttıkça sürgünün yerine gelmesinin gecikmesi de artmaktadır.

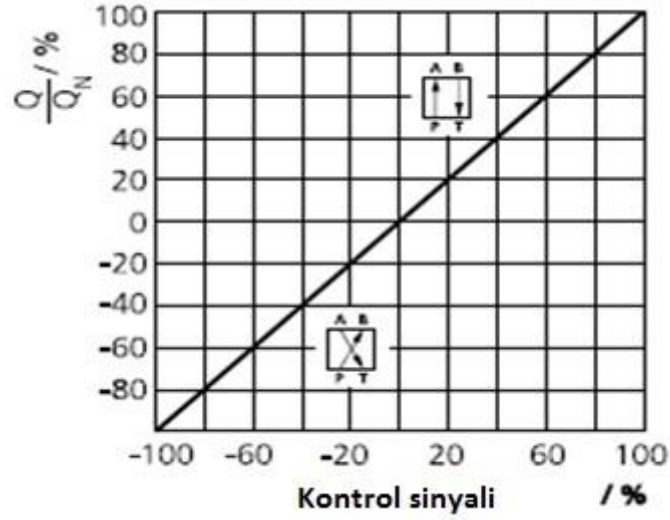


Şekil 3.2.1. Moog D633 Servovalf Kesit Görüntüsü ve Sembolü [12]



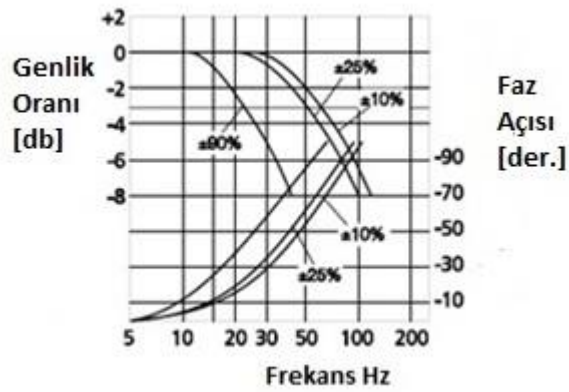
Şekil 3.2.2. Servovalf Sürgüsünün Gecikme Zamanı [12]

Servovalfin kontrol sinyaline göre geçirdiği debinin lineerliği: Şekil 3.2.3.de servovalfin kontrol sinyaline göre valften geçen debinin lineerliğini gösterilmektedir. Buradan görülür ki uygulanan her kontrol sinyaline göre valf lineer şekilde debi vermektedir.



Şekil 3.2.3. Debi sinyal karakteristik eğrisi [12]

Servovalfin frekans cevabı analizi: Şekil 3.2.4'te servovalf sürgüsünün açma-kapama frekans grafiği verilmiştir. Burada görülür ki servovalfin çalışma frekansı yükseldikçe valf sürgüsünün komutlara gecikmeli cevap vermesi yükseldiği görülmektedir. Yani faz kayması ve genlik düşüşü meydana gelmektedir. Buradan da görüldüğü gibi valfin sürgüsü yaklaşık 30 Hz' den sonra istenilen komutları yerine getirememektedir.

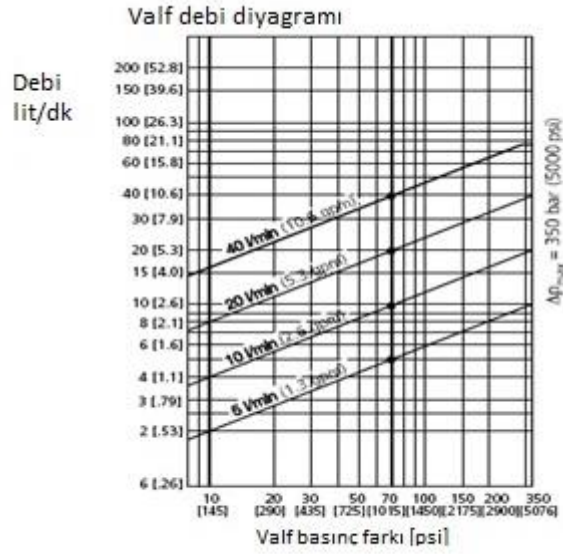


Şekil 3.2.4 Servovalfin Frekans Cevap Eğrileri [12]

Servovalfte oluşan basınç farklarına göre valfin geçirebileceği debi: Şekil 3.2.5'de dört çeşit servovalfin basınç farklarına göre geçirebilecekleri debiler

gösterilmektedir. Burada ki ideal 40lt/dk debi veren servovalf kullanmış olduğumuz valftir.

Servovalfi 350 bar basınç farkı olduğunda yaklaşık 75 lt/dk debi verebilmektedir. Fakat bu basınç farkında servovalfin ömrü azalır. Buradan görülür ki servovalfi 70 bar basınç farkında ideal 40 lt/dk debi de kullanılması tavsiye edilmektedir.



Şekil 3.2.5. Basınç Farkı Göre Valfin Geçirebileceği Debi [12]

3.3. Solenoid valfler

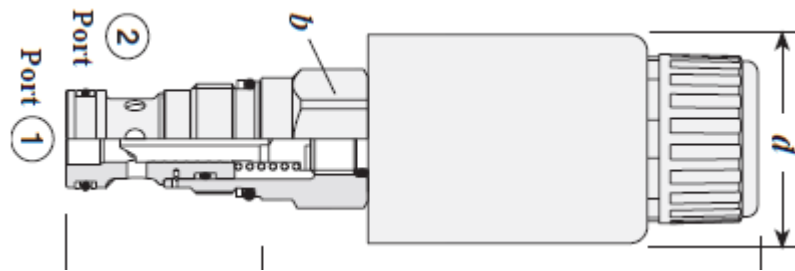
Aşağıda deney düzeneğinde kullandığımız 2/2 ve 3/2 kartuş valflerin ortak genel özellikleri ve valfleri tetikleyen bobinin genel özellikleri verilmiştir. Solenoid valflerle ilgili detaylı katalog bilgileri Ek-2 ve Ek-3 'te verilmiştir.

3.3.1. 2 Yollu 2 Konumlu Kartuş Valf

Aşağıdaki deney düzeneğinde kullanılan 2/2 kartuş valfin teknik resim çizimi ve valfin performans grafiği görülmektedir. Deney düzeneğinde bu valflerden blok üzerine 4 adet takılıdır. Sürgünün resmi Şekil 3.3.1'de görülmektedir.

Tablo.3.3.1. Deney Düzeneginde Kullanılan 3/2 ve 2/2 Kartuş Valflerin Teknik Özellikleri

ÜRÜN	2 konumlu 2 yollu kartuş valf ve 2 konumlu 3 yollu kartuş valf
Adet	2/2 'den 4 adet, 3/2 'den 2 adet
Firma	Sun Hydraulic
2-2 kartuş valfin ürün kodu	DLDA-MCN
3-2 kartuş valfin ürün kodu	DMDA-MNN
Tür	Aç-kapa
Yol/Konum	2/2 - 3/2
Tahrik	Bobin soloneid
Sürgü sistemi	Spool (Sürgü)
Anahtarlama zamanı	50ms
Debi	40 lt/dk
Basınç	Maksimum 350 bar
Tahrik Bobini	24 Vdc
Sürgü Konumu	Normalde kapalı
ÜRÜN	Bobin
Voltaj	24
Adet	Her valf için birer adet toplamda 6 adet

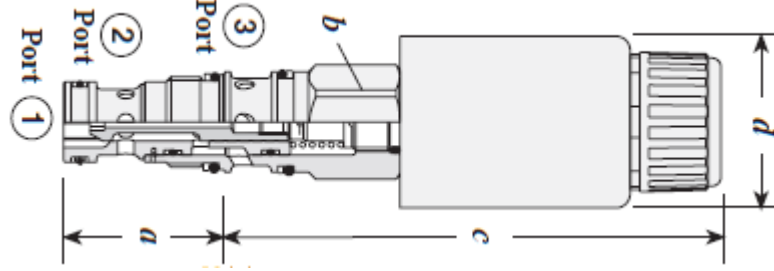


Şekil 3.3.1. 2/2 Kartuş Valfin Sürgüsü [13]

3.3.2. 3 Yollu 2 Konumlu Kartuş Valf

Aşağıdaki deney düzeneginde kullanın 3/2 kartuş valfin teknik resim çizimi ve valfin performans grafiği görülmektedir. Deney düzeneginde bu valflerden ikisi blok

üzerine montaj ve biri de yedek olmak üzere toplam 3 adet bulunmaktadır. Sürgünün resmi Şekil 3.3.2’de görülmektedir.



Şekil 3.3.2. 3/2 Kartuş Valf Sürgüsü [13]

3.4. Bilgisayar ve Veri Toplama Kartı

Bilgisayar: PC, Intel Celeron1.2 GHz, 768 MB RAM. Veri Toplama Kartı (dataacquisitioncard): Advantech PLC-818HG, ± 5 Volt, 0-5V, 0-10V 16 analog giriş kanalı, 1 analog çıkış kanalı, 100000 ölçüm/saniye hızında, 12bitlik, ± 1 bit ($\pm 1/4096$ volt hassasiyet) hassasiyettedir (Ek-4)

3.5. Elektronik arayüz

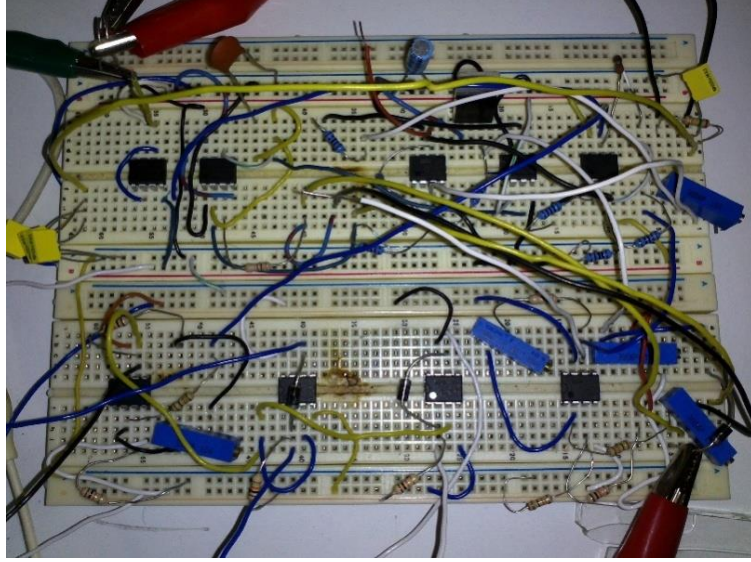
Bilgisayar ve servo güç yükseltici arasındaki modüleri sinyalin üretilmesini sağlayan devredir. Devre 1 adet 555 üçgen dalga üretici entegre, 1 adet 7805 regülatör entegresi, 7 adet 741 işlemsel yükselteçten, kondansatör, diyot, ve dirençlerden oluşur.

Devre şu şekilde çalışır: 555 entegresi üçgen dalga üretir. Ardından üçgen dalga 741 entegresi ile fark alınır merkeze çekilir. (± 2.5 v) daha sonra “voltaj follower” devresi ile birebir aktarılır. Böylece 555 entegresi devrenin diğer kısmından etkilenmez sinyal bozulmaz.

Diğer taraftan bilgisayardan gelen 0-5 v dc gerilim fark alma entegresi ile ± 2.5 v’a dönüştürülür. Bilgisayardan gelen referans voltajı ile üçgen dalganın 741

entegresinde karşılaştırılması sonucu PWM sinyali oluşmuş olur. Oluşturulan $\pm 2.5v$ PWM sinyali yüksek voltaj çıkış verebilen opamp (OPA445 AP) entegresi ile ± 24 Volta yükseltilir. Yükseltile voltaj, diyot ve 741 ile yapılan kırpıcılarla artı ve eksi olarak ikiye ayrılır. İkiye ayrılan sinyal servo güç yükselticiye gönderilerek bobinleri tetikleyecek güce sahip hale gelir.

Bu işlemlerin sonunda bilgisayardan gönderilen 0-5v'luk kontrol sinyali elektronik arayüz ile (Şekil 3.5.1) modüle edilmiş ve ± 24 v'a yükselmiş bir şekilde valf bobinlerine iletilmiş olur.



Şekil 3.5.1. Valflere Modüleli Kontrol Sinyalini Üreten PWM Devresi

3.5.1. Servo Güç Yükseltici

Güç yükselticisinde PNP ve NPN transistorlar bulunmaktadır (Şekil 3.5.1.1). Elektronik arayüzün kırpıcılarından gelen +24 v NPN transistoru tetikler. Tetiklenen transistor silindirin A portuna bağlı valfi açar. Elektronik arayüzün kırpıcılarından gelen -24v PNP transistoru tetikler Tetiklenen transistor silindirin B portuna bağlı valfi açar.



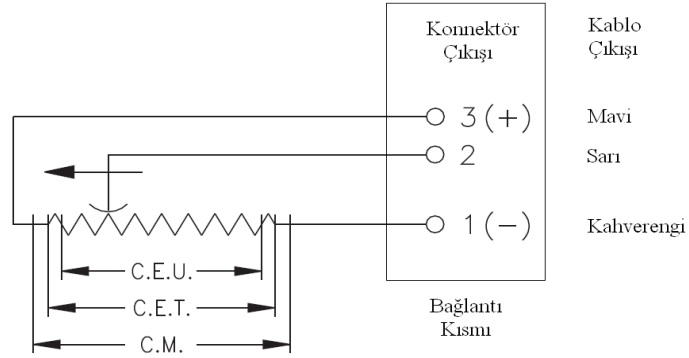
Şekil 3.5.1.1. ServoGüç Yükseltici (Akım Yüksetme Devresi)

3.5.2. Konum Ölçer

Kullanılan konum ölçer, Gefran marka direnç tipi 400 mm stroklu olup %0,05 mm hassasiyetindedir. Bu çalışmada kullanılan konum ölçer firma kodu olarak LT-M-100-P olarak verilmektedir. Konum ölçer 5V'luk regüleli güç kaynağı ile beslenirse 400 mm' lik konum 5 voltluk sinyal olarak alınabilir. Konum ölçer 60 V' a kadar beslenebilir ancak bu sinyali algılamak için gereken veri toplama kartı 0-5V aralığını analog olarak ölçmektedir. Elektrik bağlantı şeması ve Şekil 3.5.2.1'de verilmiştir. Konum ölçer ile ilgili ayrıntılı bilgi Ek-5 'te verilmiştir.

3.5.3.Güç kaynakları

Deney düzeneğinde, elektronik arayüz devresinin ve valf bobinlerinin beslemesini sağlayan güç kaynakları Şekil 3.5.3.1. 'de görülmektedir. Güç kaynakları 0-30 Volt ayarlı regüleli, kısa devre korumalı ve akım sınırlamalıdır.



Şekil 3.5.2.1. Konum Ölçerin Elektrik Bağlantı Şeması(Ek-5)

Güç kaynaklarınının 2'si 10 V'a ayarlanmış, birinin artı ucu ikincinin eksi ucu birleştirilip ortak uç oluşturulup, ± 10 V ' luk kaynak elde edilmiş olur. Aynı şekilde diğer 2 güç kaynağının bağlamasıyla da ± 24 Vdc gerilim kaynağı elde edilmiş olur. ± 10 V kaynaklar devrenin PWM üretici kısmını, ± 24 V'ler ise devrenin PWM den sonraki yükseltme kısmını ve valf bobinlerini beslemektedir.



Şekil 3.5.3.1. Elektronik Arayüz ve Valf Bobinlerini Besleyen Güç Kaynakları

Bu çalışmada kullanılan güç kaynağı, 5 volt (Switch Mode Power Supply) regüledi, kısa devre korumalı güç kaynağıdır (Şekil 3.5.3.2) ve konum ölçeri beslenmektedir.

Bu kaynağın konum ölçerde kullanılması kaynağın regüleli voltaj üretmesi ve bu sayede ölçülen konum sinyalinin daha temiz olmasını sağlamaktır.

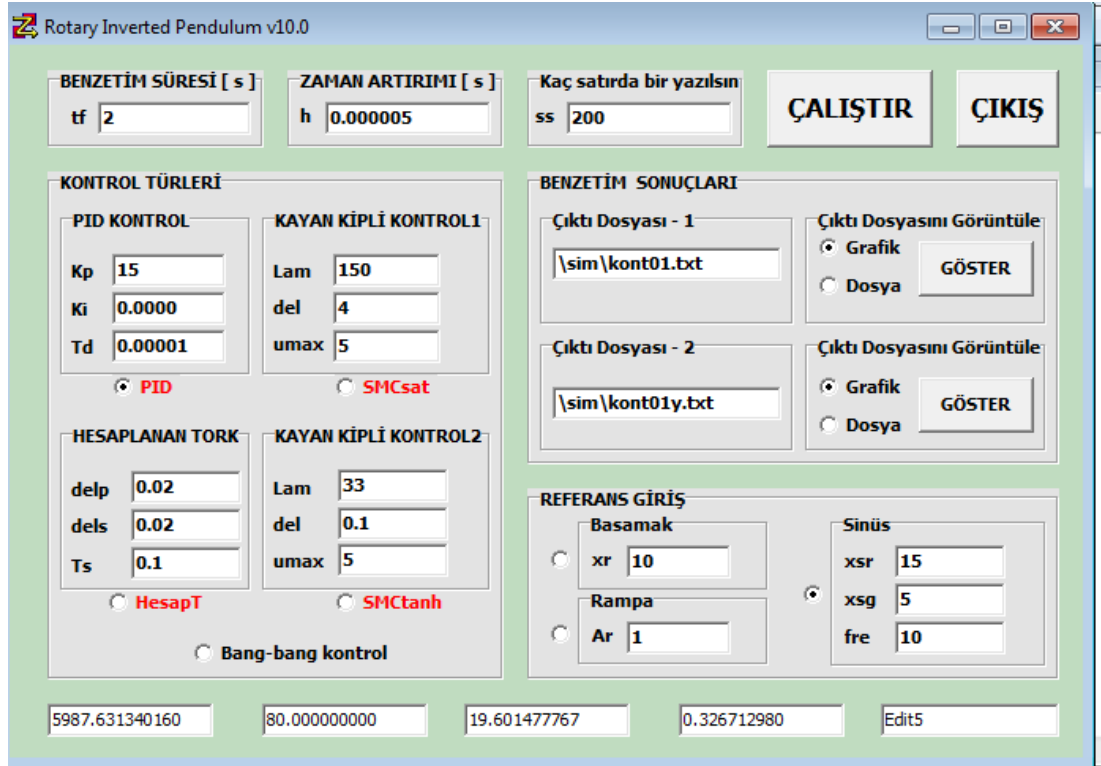


Şekil 3.5.3.2. Beş Voltluk Regüleli Güç Kaynağı

3.5.4. Kontrol Yazılımı

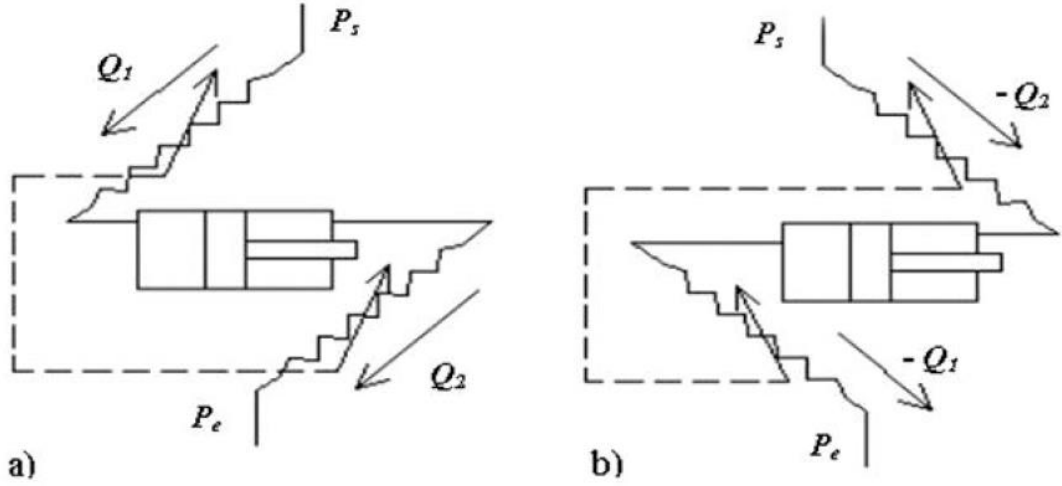
Kontrol yazılımı Delphi Programlama dili ile yazılmıştır. Kontrol yazılımı çok kullanışlı olup bang-bang, PID, SMC kontrol türlerine göre çalışabilmektedir. Deney sonuçlarını ise hem dosya hem de grafik olarak görülebilmektedir. Ayrıca sistemdeki transdüserlerin değişmesi durumunda yeni parçalara adapta edilebilmesi kolay bir şekilde yapılabilmektedir. Yazılımın arayüzü görünümü Şekil 3.5.4.1’te verilmiştir.

Oluşturulan ara yüz kontrol teknikleri için katsayı girişlerine olanak sağlar. Böylelikle istenen cevap şekli elde edilmiş olur Ara yüzden yollanan kontrol sinyali voltaj değerine dönüştürülerek kontrol kartı üzerinden PWM devresine gider. Kontrolün sağlanması için konum ölçerden gelen konum bilgisi veri toplama kartı üzerinden yazılıma aktarılır ve istenen cevap için kontrol tekniği uygulanacak en uygun akıllı sinyali PWM devresine üretip gönderir. Bu şekilde kapalı bir çevrimle silindir istenilen noktaya getirilir.



Şekil 3.5.4.1. Kontrol Yazılımı Arayüzü

Bu çalışmada kullanılan servovalf kapalı merkezli olduğundan herhangi bir anda valfin yalnızca iki kapısı açık olup, iki ayrı seri devre durumu Şekil 4.1.2'da verilmiştir.



Şekil 4.1.2. Kapalı Merkezli 4-Yollu Servovalfin Devresi

Bu durumda valf sürgüsünün dinamik davranışı,

$$\dot{x}_v = v_v \quad (10)$$

$$\dot{v}_v = -(2\xi_v\omega_v)\dot{x} - (\omega_v^2)x_v + (\omega_v^2 K_v)E_v(t) \quad (11)$$

olup, burada,

x_v : valf sürgüsünün konumu, m

v_v : servovalf sürgüsünün hızı

K_v : servovalfin kazancı, m/mA

ω_v : servovalfin doğal frekansı rad.s-1

ξ_v : servovalfin sönüm oranıdır.

$E_v(t)$: servovalfe uygulanan voltaj (=u_{PWM})

Eğer $x_v \geq 0$ ise, Şekil 4.1.2.(a) 'da verilen akış devresi geçerlidir. Bu durumda valf orifislerinden geçen Q_1 ve Q_2 debileri aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$Q_1 = C_d w x_v \sqrt{2(P_s - P_1)/\rho} \quad (Q_1 > 0) \quad (12)$$

$$Q_2 = C_d w x_v \sqrt{2(P_2)/\rho} \quad (Q_2 > 0) \quad (13)$$

Burada,

K_Q : orifis geometrisi ve debi katsayısını içeren katsayı ($(K_Q = C_d w \sqrt{2})$), m

C_d : servovalf orifislerinin debi katsayıları

w : servovalf kapılarının çevresel uzunluğu (m)

ρ : hidrolik yağın yoğunluğu, kg m s⁻¹

P_s : hidrolik besleme basıncı, Pa

Eğer $x_v < 0$ ise, Şekil 4.1.2.(b) 'de verilen akış devresi geçerlidir. Bu durumda valf orifislerinden geçen Q_1 ve Q_2 debileri aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$Q_1 = C_d w x_v \sqrt{2(P_1)/\rho} \quad Q_1 < 0 \quad (14)$$

$$Q_2 = C_d w x_v \sqrt{2(P_s - P_2)/\rho} \quad Q_2 < 0 \quad (15)$$

olarak ifade edilebilir.

Hidrolik piston etrafındaki sızıntı pistonun iki tarafındaki basınçların farkı ile orantılı olduğu kabul edilir ve hidrolik yağın sıkıştırılabilirliği de dikkate alınır, hidrolik silindire giren ve çıkan yağ debileri ve basınçların değişimi aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$Q_1 = A_1 \dot{x} + \frac{V_1}{\beta} \frac{dP_1}{dt} + C_s (P_1 - P_2) \quad (16)$$

veya

$$\frac{dP_1}{dt} = \frac{\beta}{V_1} [Q_1 - C_s (P_1 - P_2) - A_1 \dot{x}] \quad (17)$$

ve

$$Q_2 = A_2 \dot{x} + \frac{V_2}{\beta} \frac{dP_2}{dt} + C_s (P_1 - P_2) \quad (18)$$

veya

$$\frac{dP_2}{dt} = \frac{\beta}{V_2} [-Q_2 + C_s (P_1 - P_2) + A_2 \dot{x}] \quad (19)$$

P_1, P_2 : hidrolik basınçlar (Pa)

A_1, A_2 : pistonun her iki tarafındaki alanlar (m²)

V_1, V_2 : hidrolik silindir içindeki yağ hacimleri (m³)

x : pistonun konumu (m)

b : sönüm sabiti (N.s/m)

C_s : piston silindir arası sızıntı katsayısı (m³/s / Pa)

β : hidrolik yağın Bulkmodülü (Pa)

V_1 ve V_2 hacimleri hidrolik pistonun konumu ile aşağıdaki gibi değişmekte ve doğrusal olmayan bir etkiye neden olmaktadır.

$$V_1 = V_{10} + A_1 x \quad (20)$$

$$V_2 = V_{20} - A_2 x \quad (21)$$

Burada, V_{10} ve V_{20} hacimlerin ilk değerleridir. Diğer taraftan Newton'un ikinci kanunu M toplam kütlesine aşağıdaki gibi uygulanabilir.

$$\ddot{x} = \left(\frac{-b}{M} \right) \dot{x} + \left(\frac{A_1}{M} \right) P_1 + \left(\frac{-A_2}{M} \right) P_2 - F_b(t) \quad (22)$$

Sürgüsünün hızı v_v , pistonun hızı ise v ile gösterilerek yukarıdaki denklemler yeniden düzenlenirse sisteme ait durum denklemleri aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\dot{x}_v = v_v \quad (23)$$

$$\dot{v}_v = -(2\xi_v \omega_v) \dot{x}_v - (\omega_v^2) x_v + (\omega_v^2 K_v) E_v(t) \quad (24)$$

$$\dot{P}_1 = \begin{cases} \frac{\beta}{V_1} [K_Q x_v \sqrt{(P_s - P_2)/\rho} - C_s (P_1 - P_2) - A_1 v] & x_v \geq 0 \\ \frac{\beta}{V_1} [K_Q x_v \sqrt{P_1/\rho} - C_s (P_1 - P_2) - A_1 v] & x_v < 0 \end{cases} \quad (25)$$

$$\dot{P}_2 = \begin{cases} \frac{\beta}{V_2} [-K_Q x_v \sqrt{P_2/\rho} + C_s (P_1 - P_2) + A_2 v] & x_v \geq 0 \\ \frac{\beta}{V_2} [-K_Q x_v \sqrt{(P_s - P_2)/\rho} + C_s (P_1 - P_2) + A_2 v] & x_v < 0 \end{cases} \quad (26)$$

$$\dot{x} = v \quad (27)$$

$$\dot{v} = \frac{1}{M} [-F_s \operatorname{sgn}(v) - b v + A_1 P_1 - A_2 P_2 - F_b(t)] \quad (28)$$

v : pistonun ve hızı

v_v : servovalf sürgüsünün hızı

F_s : kuru sürtünme kuvveti

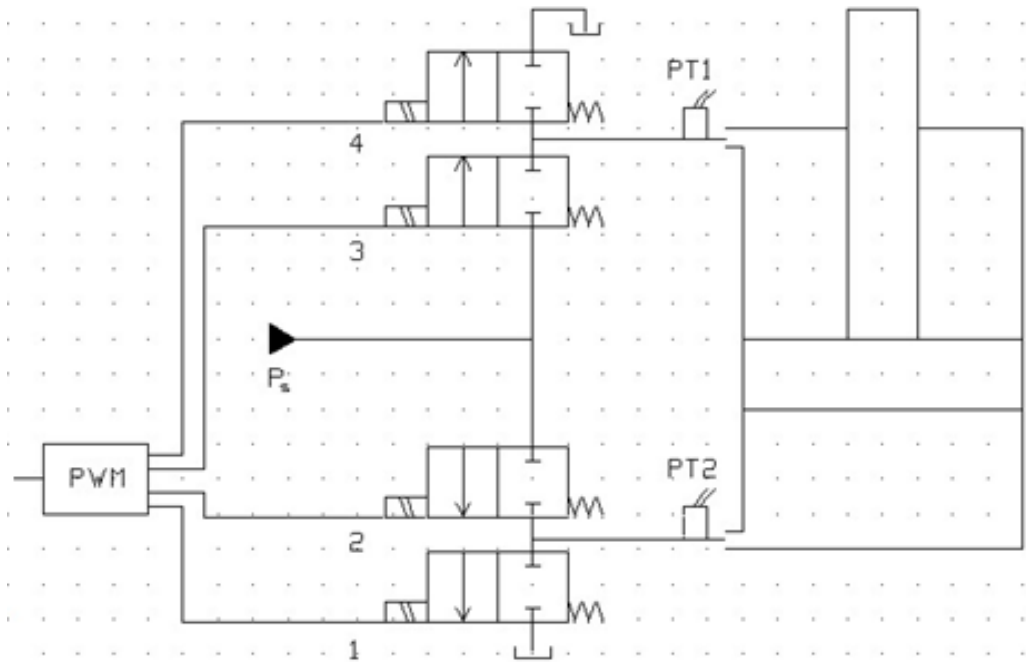
$F_b(t)$: bozucu kuvvet girişi (aktif yük)

4.2. 2/2 Kartuş Valflerle Sistem Modeli

Bu çalışmada ise deney düzeneği, iki yönlü, iki konumlu (2/2) ,solenoid uyarılı, yay geri dönüşlü, normalde kapalı aç kapa kartuş valflerden 4 adet kullanılarak tasarlanmıştır.. Konum hatası kullanılarak oluşturulan kontrol sinyali PWM sinyaline

dönüştürülür. Bu sinyal 2/2 aç kapa kartuş valflere verilerek pistonun kontrolü gerçekleştirilir. (Şekil 4.2.1)

Böylece, aç kapa kartuş valfler kullanılarak darbe eni modüleli kayan kipli kontrol ile elektrohidrolik sistemin kontrolü gerçekleştirilmiştir. Hatayı en aza indirilip, gürbüz kontrol elde edilmeye ve sistemin performansı maksimum yapılmaya çalışılmıştır. Klasik kontrol teknikleri ile elde edilmiş olan çıktı kalitesi “darbe eni modüleli kayan kipli kontrol“ ile daha da artırılmaya çalışılmıştır.



Şekil 4.2.1. Sistemin 2/2 Yön Kontrol Valfli Sistem Modeli

2/2 kartuş valfli elektrohidrolik sistemin fiziksel modelinden yararlanarak elde edilen matematiksel model ise aşağıdaki gibidir [14].

Valf orifislerinden geçen Q_1 ve Q_2 debi denklemleri ise;

Eğer $u = u_{PWM} > 0$ ise,

$$Q_1 = K_{v12} v_{x3} \sqrt{(P_S - P_1)/\rho} \quad (29)$$

$$Q_2 = K_{v21} v_{x2} \sqrt{P_2/\rho} \quad (30)$$

Eğer $u = u_{PWM} < 0$ ise,

$$Q_1 = K_{v21} v_{x4} \sqrt{P_1/\rho} \quad (31)$$

$$Q_2 = K_{v12} v_{x1} \sqrt{(P_S - P_2)/\rho} \quad (32)$$

Kartuş valf sürgüsünün matematiksel modeli oluşturulurken orifis alanlarının belirlenmesi sıkıntılıdır. Bu nedenle orifis alanı yerine dolaylı olarak kullanılabilen voltaj gecikmeleri dikkate alınabilir. Bu durumda, valf sürgüsünün dinamiği birinci mertebeden aşağıdaki şekilde yazılabilir. Sistemde takılı olan 4 adet aç kapa kartuş valfine uygulanan $v_{x1}, v_{x2}, v_{x3}, v_{x4}$ gerilimlerinin gecikmeli etkidiği varsayılarak valflere etkiyen gerilimler

$$\dot{v}_{xi} = -\frac{1}{\tau} v_{xi} + \frac{1}{\tau} u(t) \quad (33)$$

şeklinde ifade edilebilir.

Pistonun ileri hareket etmesi için, 2 ve 3 numaralı valflere u_{PWM} sinyalinin pozitif kısmı gönderilir. Bu durumda elde edilen sürgü denklemleri aşağıdaki gibidir.

Eğer $u = u_{PWM} > 0$ ise

$$\dot{v}_{x3} = -\frac{1}{\tau} v_{x3} + \frac{1}{\tau} u(t) \quad (34)$$

$$\dot{v}_{x2} = -\frac{1}{\tau} v_{x2} + \frac{1}{\tau} u(t) \quad (35)$$

Pistonun ileri hareket etmesi için, 4 ve 1 numaralı valflere u_{PWM} sinyalinin negatif kısmı gönderilir. Bu durumda elde edilen sürgü denklemleri aşağıdaki gibidir.

Eğer $u = u_{PWM} < 0$ ise,

$$\dot{v}_{x4} = -\frac{1}{\tau} v_{x4} + \frac{1}{\tau} u(t) \quad (36)$$

$$\dot{v}_{x1} = -\frac{1}{\tau} v_{x1} + \frac{1}{\tau} u(t) \quad (37)$$

Burada,

$v_{x1}, v_{x2}, v_{x3}, v_{x4}$: her bir valfin sürgüsünün orifis alanı yerine kullanılan voltaj katsayıları

τ	: valf sürgüsünün tam açılma/kapanma süresi
$u(t)$: kontrol sinyali (volt)
u_{PWM}	: darbe eni modülasyonu sinyali
v_{xi}	: i'nci valf kapısına etkiyen voltaj
K_{v12}, K_{v12}	: $1 \rightarrow 2$ ve $2 \rightarrow 1$ için valf kazançları

$$\dot{P}_1 = \begin{cases} \frac{\beta}{V_1} [K_{v12} v_{x3} \sqrt{(P_s - P_2) / \rho} - C_s (P_1 - P_2) - A_1 v] & u_{PWM} \geq 0 \\ \frac{\beta}{V_1} [K_{v21} v_{x4} \sqrt{P_1 / \rho} - C_s (P_1 - P_2) - A_1 v] & u_{PWM} < 0 \end{cases} \quad (38)$$

$$\dot{P}_2 = \begin{cases} \frac{\beta}{V_2} [-K_{v21} v_{x2} \sqrt{P_2 / \rho} + C_s (P_1 - P_2) + A_2 v] & u_{PWM} \geq 0 \\ \frac{\beta}{V_2} [-K_{v12} v_{x1} \sqrt{(P_s - P_2) / \rho} + C_s (P_1 - P_2) + A_2 v] & u_{PWM} < 0 \end{cases} \quad (39)$$

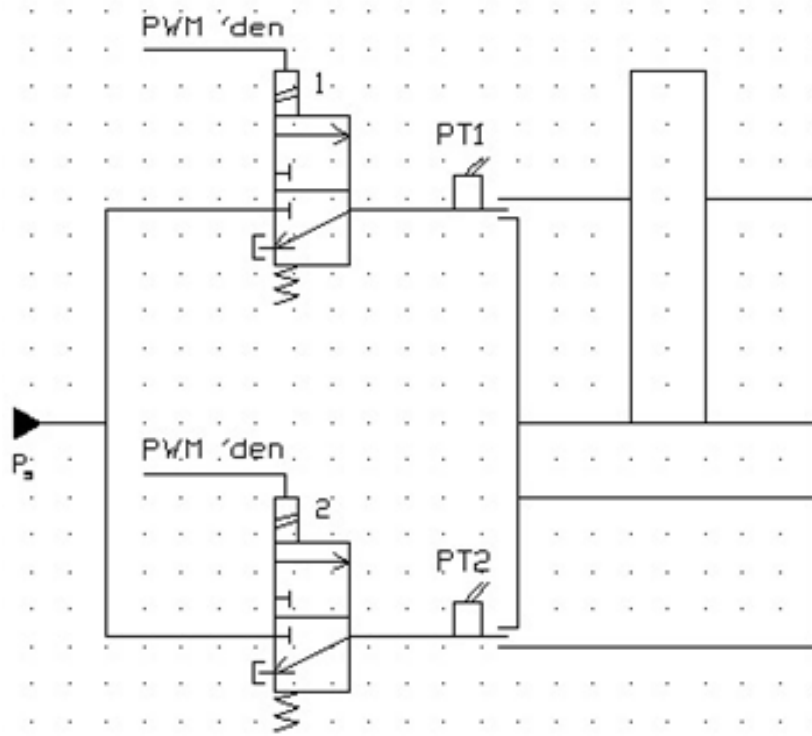
$$\dot{x} = v \quad (40)$$

$$\dot{v} = \frac{1}{M} [-F_s \operatorname{sgn}(v) - bv + A_1 P_1 - A_2 P_2 - F_b(t)] \quad (41)$$

Şeklinde ifade edilir.

4.3. 3/2 Kartuş Valflerle Sistem Modeli

Çalışmanın bu kısmında ise pistonun ileri geri hareketini sağlayan 2/2 kartuş valfler yerine, aynı özelliklere sahip 3/2 aç kapa kartuş valfler, blok olarak monte edilir. 2/2 kartuş valflerde olduğu gibi bu düzenekte de PWM sinyali ile valfler kontrol edilir. Normalde kapalı olan bu valfler, piston-silindir mekanizmasının ileri geri hareketi için ,sırayla çalışacak şekilde bağlantısı yapılır. (Şekil 4.3.1)



Şekil 4.3.1. Sistemin 3/2 Yön Kontrol Valfli Sistem Modeli

Valf orifislerinden geçen Q_1 ve Q_2 debi denklemleri ise;

Eğer $u = u_{PWM} > 0$ ise,

$$Q_1 = K_{v12} v_{x2} \sqrt{(P_S - P_1)/\rho} \quad (42)$$

$$Q_2 = K_{v23} v_{x2} \sqrt{P_2/\rho} \quad (43)$$

Eğer $u = u_{PWM} < 0$ ise,

$$Q_1 = K_{v23} v_{x1} \sqrt{P_1/\rho} \quad (44)$$

$$Q_2 = K_{v12} v_{x1} \sqrt{(P_S - P_2)/\rho} \quad (45)$$

2/2 kartuş valf sürgüsü için yukarıda anlatılan orifis denklemleri durumu 3/2 kartuş valf sürgüsü içinde geçerlidir. 3/2 kartuş, valf sürgüsünün dinamiği birinci

mertebeden aşağıdaki şekilde yazılabilir. Sistemde takılı olan 2 adet 3/2 aç kapa kartuş valflerine uygulanan v_{x1} , v_{x2} , gerilimlerinin gecikmeli etkidiği varsayılarak valflere etkiyen gerilimler

$$\dot{v}_{xi} = -\frac{1}{\tau}v_{xi} + \frac{1}{\tau}u(t) \quad (46)$$

şeklinde ifade edilebilir.

Pistonun ileri hareket etmesi için, 2 numaralı valfle u_{PWM} sinyalinin pozitif kısmı gönderilir. Bu durumda elde edilen sürgü denklemleri aşağıdaki gibidir.

Eğer $u = u_{PWM} > 0$ ise

$$\dot{v}_{x2} = -\frac{1}{\tau}v_{x2} + \frac{1}{\tau}u(t) \quad (47)$$

Pistonun ileri hareket etmesi için, 1 numaralı valfle u_{PWM} sinyalinin negatif kısmı gönderilir. Bu durumda elde edilen sürgü denklemleri aşağıdaki gibidir.

Eğer $u = u_{PWM} < 0$ ise,

$$\dot{v}_{x1} = -\frac{1}{\tau}v_{x1} + \frac{1}{\tau}u(t) \quad (48)$$

Burada, önceden belirtilen sembollere ek olarak,

v_{xi} : i'nci valf kapısına etkiyen voltaj

v_{x1} , v_{x2} , : her bir valfin sürgüsünün orifis alanı yerine kullanılan voltaj katsayıları

u_{PWM} : darbe eni modülasyonu sinyali

K_{v12} , K_{v23} : 1→2 ve 2→3 için valf kazançları

$$\dot{P}_1 = \begin{cases} \frac{\beta}{V_1} [K_{v12} v_{x2} \sqrt{(P_s - P_2)/\rho} - C_s(P_1 - P_2) - A_1 v] & u_{PWM} \geq 0 \\ \frac{\beta}{V_1} [K_{v23} v_{x1} \sqrt{P_1/\rho} - C_s(P_1 - P_2) - A_1 v] & u_{PWM} < 0 \end{cases} \quad (49)$$

$$\dot{P}_2 = \begin{cases} \frac{\beta}{V_2} [-K_{v23} v_{x2} \sqrt{P_2/\rho} + C_s(P_1 - P_2) + A_2 v] & u_{PWM} \geq 0 \\ \frac{\beta}{V_2} [-K_{v12} v_{x1} \sqrt{(P_s - P_2)/\rho} + C_s(P_1 - P_2) + A_2 v] & u_{PWM} < 0 \end{cases} \quad (50)$$

$$\dot{x} = v \quad (51)$$

$$\dot{v} = \frac{1}{M} [-F_s \operatorname{sgn}(v) - bv + A_1 P_1 - A_2 P_2 - F_b(t)] \quad (52)$$

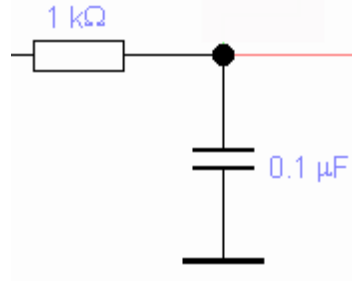
Şeklinde ifade edilir.

5.BENZETİM VE DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Deney düzeneği ve benzetim programında yöntem olarak , konum hatası kullanılarak oluşturulan kayma yüzeyi kullanılarak oluşturulan kontrol sinyali ,PWM sinyaline dönüştürülür. Oluşan bu sinyal, 3/2 veya 2/2 aç kapa kartuş valflere verilerek konum kontrolü sağlanır. Böylece, aç kapa kartuş valfler kullanılarak darbe eni modüleli kayan kipli kontrol ile elektrohidrolik sistemlerin kontrolü gerçekleştirilmiş olur. Hata en aza indirilip, gürbüz kontrol elde edilmeye ve sistemin performansı maksimum yapılmaya çalışılmıştır. Daha önce klasik kontrol teknikleri ile elde edilmiş olan çıktı kalitesi “darbe eni modüleli kayan kipli kontrol“ ile daha da artırılmaya, tekniğe yönelik kontrol organı tasarımının kuralları oluşturulmaya ve tekniğin kullanılabilirliğinin derecesi ortaya konulmaya çalışılmıştır

5.1.Filtreleme

Ölçüm sinyali üzerindeki elektronik gürültüyü azaltmak için (süzme) iki farklı filtre uygulanmıştır. Gürültülü sinyal önce alçak geçiren bir analog filtreden (RC devresi) geçirilmiş (Şekil 5.1.1) sonra veri toplama kartı ile kaydedilmiştir.



Şekil 5.1.1. RC filtre devresi

Dijital filtre olarak da birinci mertebeden alçak geçiren filtre aşağıda verilen program kodu ile yazılımla gerçekleştirilmiştir.

```
zd:= -(1/tau)*z1 + (1/tau)*y; // Buradaki y: filtrelenecek sinyal
```

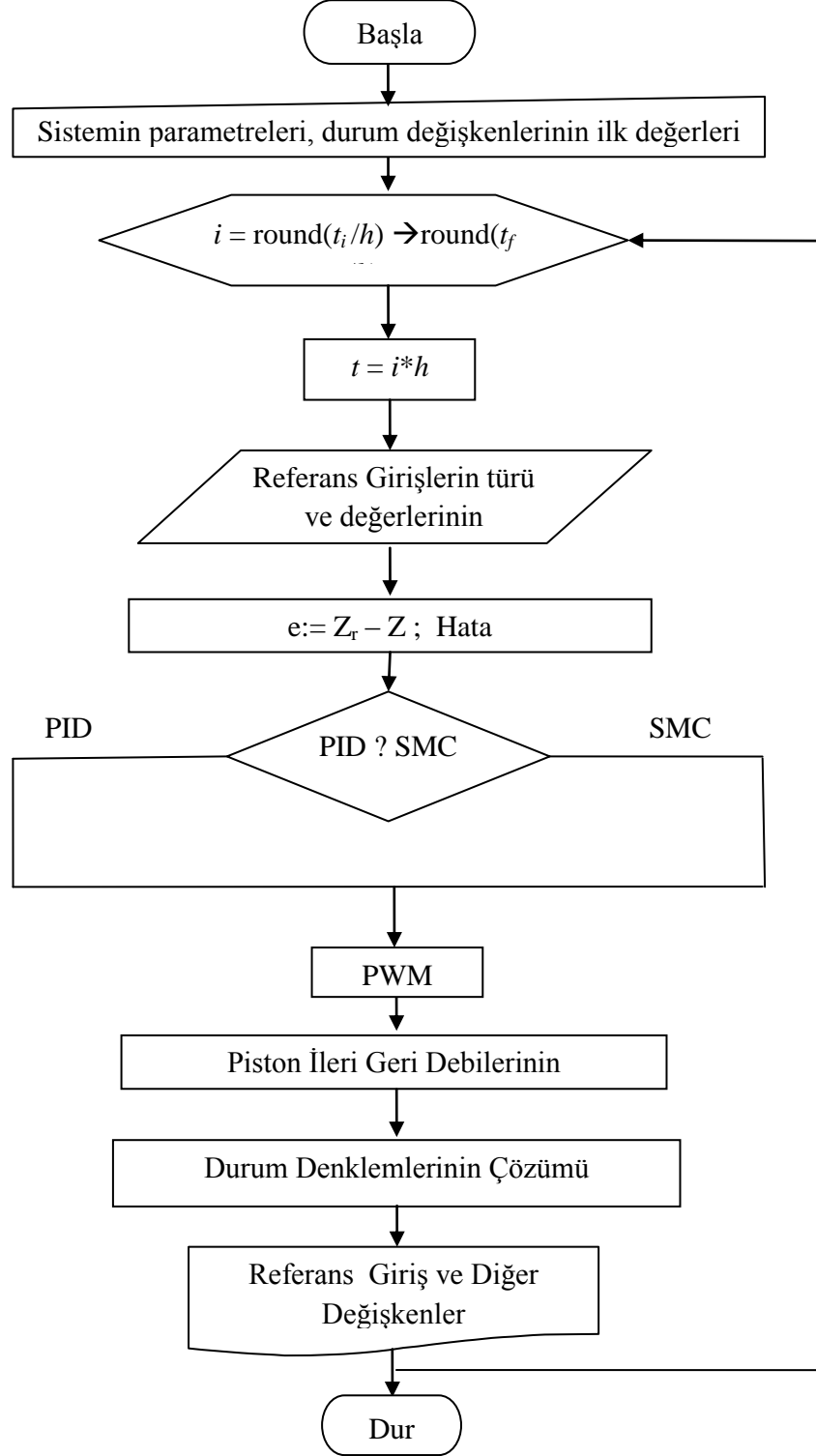
```
z1:= z1 + h*zd;
```

```
y:= z1;
```

```
// Buradaki y: filtrelenmiş sinyal
```

Diferansiyel denklemin Euler integrasyon yöntemi ile çözülmesi ile dijital filtreleme yapılmış olur

5.2. Benzetim Programını Akış Diyagramı



Şekil 5.2.1 Benzetim Programını Akış Diyagramı

5.2.1 Deney Düzenegi

Deney düzenegi kontrol sinyalinini üreten bir bilgisayar ve yazılım, veri iletişimini sağlayan veri toplama kartı (data acquisition card), Voltaj ve güç yükseltici (servo yükseltici) devre ve pistonun konum bilgisini geri besleme olanağı sağlayan potansiyometrik konum ölçerlerden oluşur. Bilgisayar yardımıyla üretilen kontrol sinyali veri toplama kartının analog çıkış kanalı aracılığıyla analog sinyale dönüştürülür. Veri toplama kartının analog çıkış aralığı 0-5 Volt aralığındadır ve analog çıkış fark alıcı devreyle ± 2.5 voltaja dönüştürülür. Voltaj yükseltici devreden geçer ve ± 24 Volt aralığında kontrol sinyali elde edilir. Kontrol sinyali, sistemlere iletilmeden önce güç yükseltme işleminden geçer. Konum ölçer ile elde edilen pistonun konum bilgisi negatif geribeslenir. Konum ölçer 0-5 Volt ile beslenmiştir ve toplamda 400 mm'lik mesafeye tekabül etmektedir. Konum bilgisi RC alçak geçiren filtreden geçirilip veri toplama kartının analog girişine iletilir ve dijital sinyale dönüşür. Kontrol yazılımına girdiğimiz referans değeri ve geribeslemeden gelen konum bilgisi kullanılarak kontrol algoritmaları ile kontrol sinyali üretilerek sistemin kontrolü gerçekleştirilmiş olur.

Kontrol yazılımda ölçüm sayısı, kayıt özellikleri, kontrol türleri ve parametreleri, referans girişler ve parametreleri gibi verileri kolay değiştirerek deneyleri yineleme basit hale gelmiştir. Böylelikle deney düzenegi için uygun parametreler kolay ve hızlı olarak belirlenir.

Analog modülasyon devresi üzerinden her bir sistem için uygun modülasyon frekansı deneme yanılma ile belirlenmiştir. Her bir sistem durumu için karşılaştırma amacıyla öncelikle PID kontrol sonra darbe eni modüleli kayan kipli kontrol uygulanmıştır. Performans deneylerinde her bir durum için basamak, rampa ve sinüs referans girişler verilerek sistem çalıştırılmış, değişik kontrolcü ve kazançları ile çok sayıda deney yapılmıştır.

Her deneyde, referans giriş, elde edilen konum değerinin, üretilen kontrol sinyalinin ve sinyalin doyarak analog çıkış kanalından modülatör devresine giren değerinin zamanla değişimleri sütunlar halinde çıktı dosyalarına yazdırılmıştır. Böylelikle istenilen ile elde edilen konum değerleri ve kontrol sinyalleri zamana göre

çizdirilerek sistemin cevap eğrileri elde edilmiştir. Tüm deneylerde yaklaşık olarak 12100 ölçüm/s olup, örnekleme zamanı $T=1/12100$ s = 'dir

5.3. Yüksüz Sistemin İzleme Özelliği

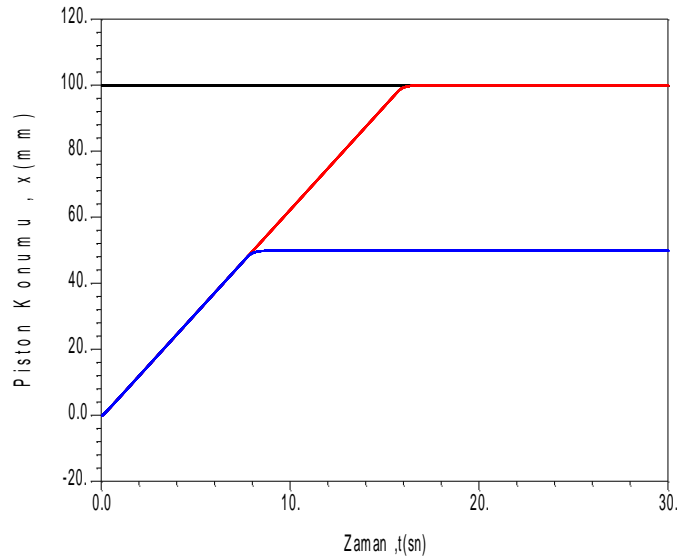
Yüksüz (bozucu giriş olmaksızın) konum kontrol sistemlerinin (2/2, 3/2 ve servovalfli) standart referans girişleri izleme özelliği PID-kontrol ve kayan kipli kontrol ile darbe eni modüleli olarak gerçekleştirilmiştir.

5.3.1 Servovalfle Kontrol

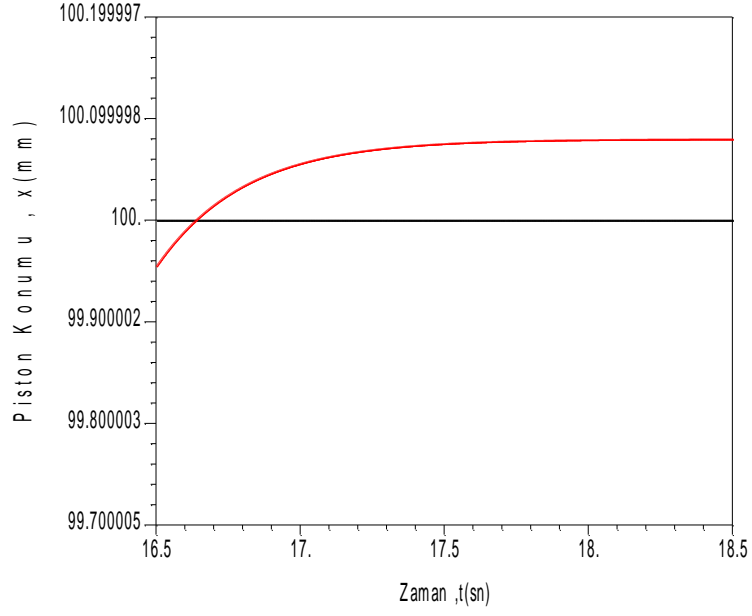
5.3.3.1.1.Pid Kontrol

Yüksüz sistemin, istenilen cevabını en yüksek hassasiyette verebilen PID kontrolcü kazançları $K_p = 2,5$, $K_i = 0,00001$, $T_d = 0,0001$ ve $K_w = 0,0001$ olarak belirlenmiş, deneyler bu kazançlarla yapılmıştır.

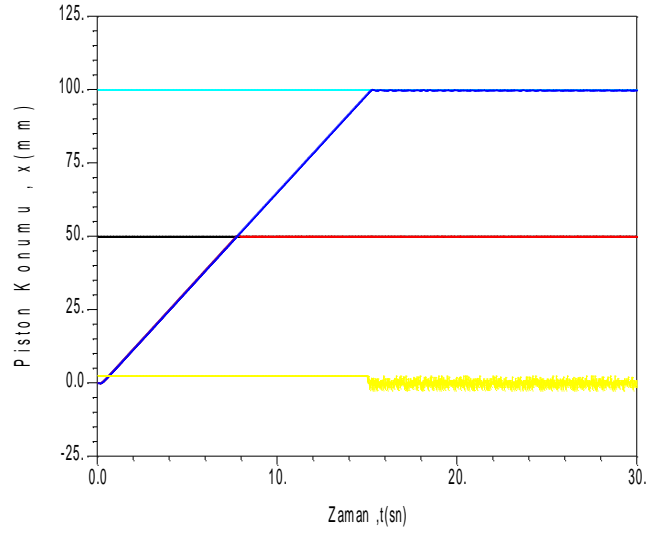
Şekil 5.3.3.1.1.1, yüksüz sistemin basamak referans girişlere cevap eğrilerine örnek olarak verilmiştir.



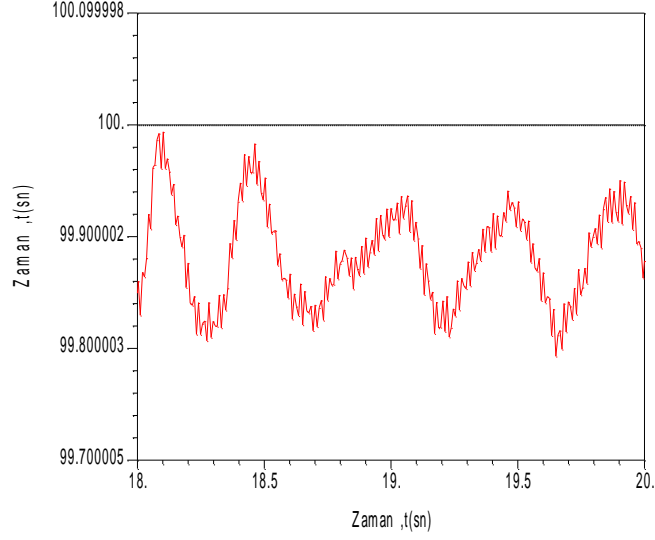
Şekil 5.3.3.1.1.1 Sistemin Basamak Referans Girişlere Cevapları, Benzetim ($K_p=2.5$, $K_i=0.0001$, $T_d=0.0001$;)



Şekil 5.3.3.1.1.2. Sistemin Basamak Referans Girişlere Cevapları, Benzetim detaylı görünüm



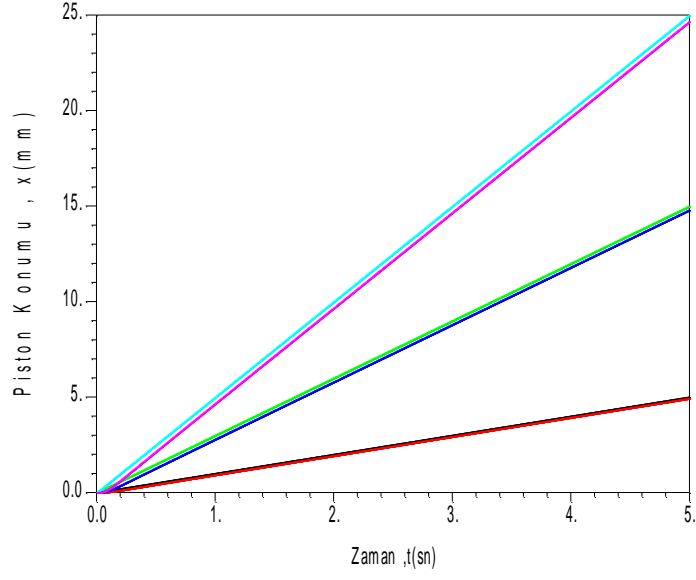
Şekil 5.3.3.1.1.3. Sistemin Basamak Referans Girişlere Cevapları Yüksüz Deney Normal Görünüm ($K_p=2.5$, $K_i=0.0001$, $T_d=0.0001$; $K_w=0.0001$)



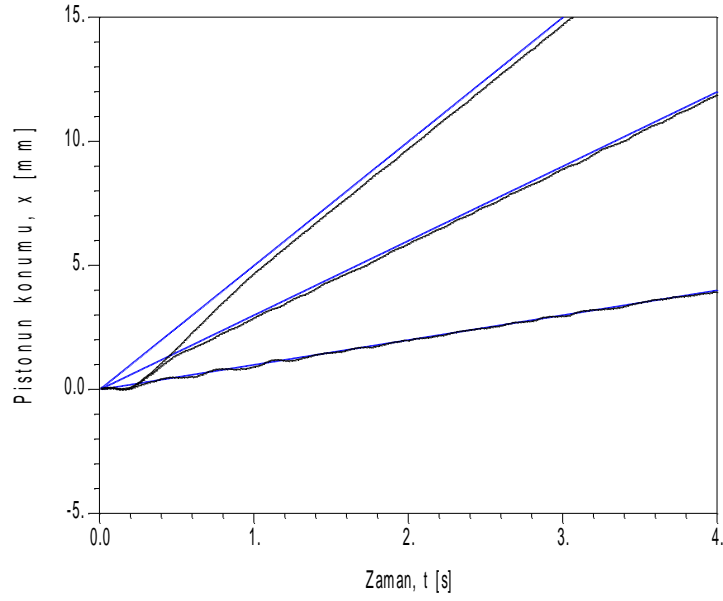
Şekil 5.3.3.1.1.4.Sistemin Basamak Referans Girişlere Cevapları Yüksüz Deneysel Detaylı Görünüm ($K_p=2.5$, $K_i=0.0001$, $T_d=0.0001$; $K_w=0.0001$)

Şekil 5.3.3.1.1.4 deki grafiklerde sistemin basamak referans girişlere cevapları verilmiştir.50mm ve 100 mm olmak üzere iki basamak cevabın gösterildiği grafiklerde benzetim ve deneysel sonuçlar tutarlılık göstermektedir. Detaylı grafiklerde de görüldüğü üzere kalıcı hata 0.05 mm'nin altında gerçekleşmiştir. Geçici hata ise çok kısa sürelidir. Servovalfli sistemin kontrolünde beklenildiği gibi kararlı ve düzgün sonuçlar gözlenmiştir

Şekil 5.3.3.1.1.5, yüksüz sistemin rampa referans girişlere cevap eğrilerine örnek olarak verilmiştir.



Şekil 5.3.3.1.1.5 Sistemin Rampa Referans Girişlere Cevapları, Benzetim ($K_p=2.5$, $K_i=0.0001$, $T_d=0.0001$; $A_r=1, 3, 5$ mm/s)

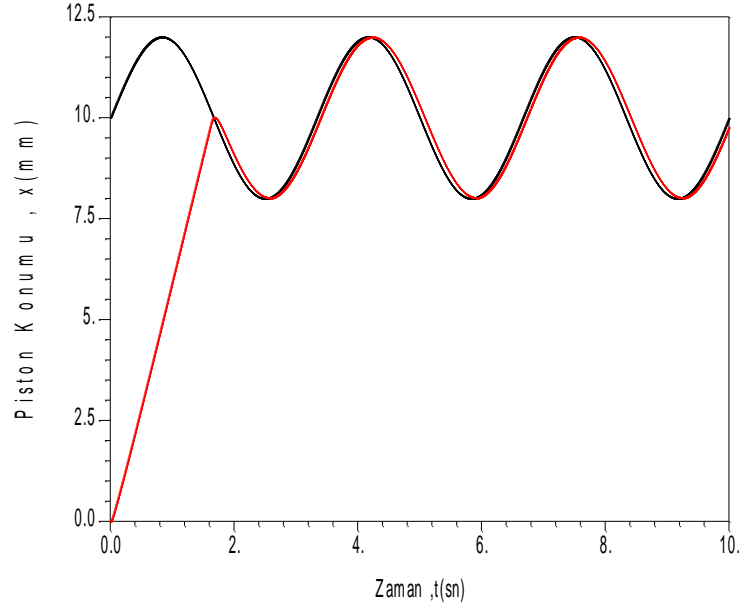


Şekil 5.3.3.1.1.6.Sistemin Rampa Referans Girişlere Cevapları, Yüksüz Deney ($K_p=2.5$, $K_i=0.0001$, $T_d=0.0001$; $K_w=0.0001$; $A_r=1, 3, 5$ mm/s)

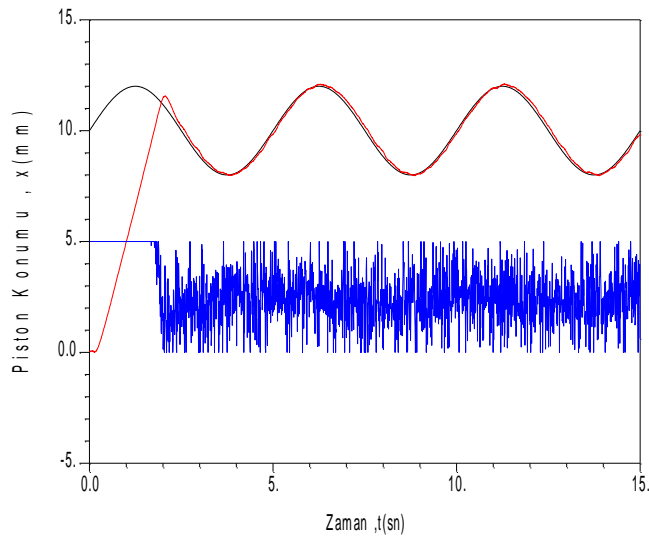
Şekil 5.3.3.1.1.4-6'de sistemin 3 farklı rampa referans girişlere cevapları benzetim ve deneysel olarak gösterilmektedir. Benzetim ve deneysel sonuçların tutarlı olduğu

gözenmiştir. İlk çıkıştaki hataların parazitik etkilerden kaynaklandığı düşünülmekte olup kontrolcü bu etkilerin sonuçlarını azaltmıştır.

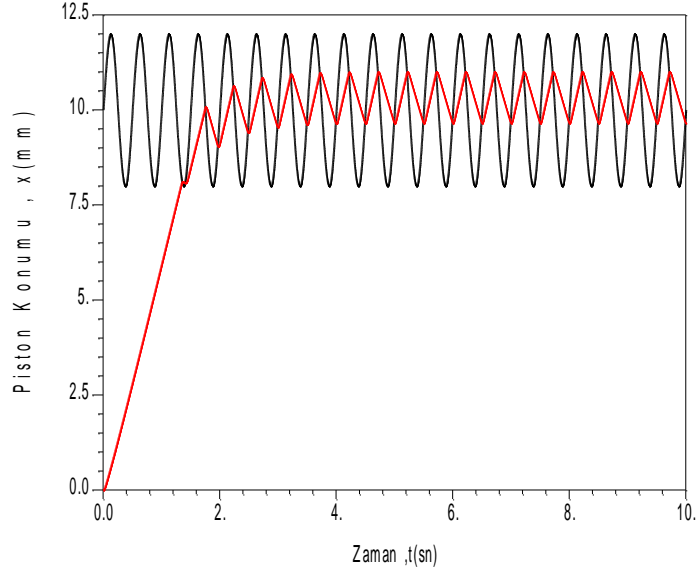
Şekil 5.3.3.1.1.7-12 de yüksüz sistemin sinüs referans girişlere cevap eğrilerine örnek olarak verilmiştir.



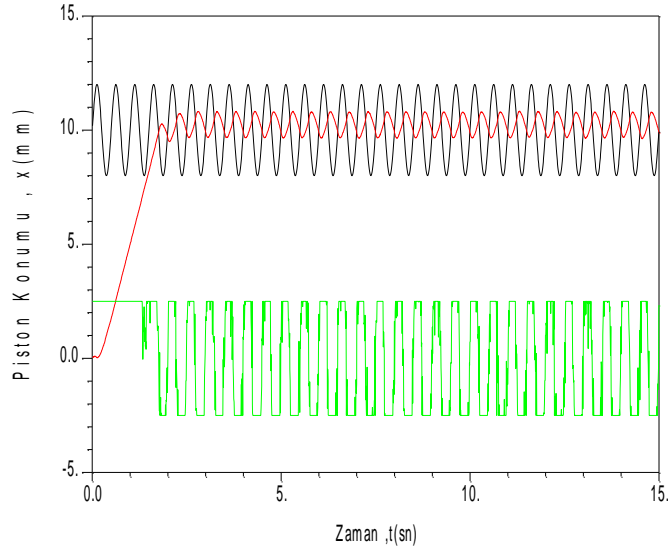
Şekil 5.3.3.1.1.7.Sistemin Sinüs Referans Giriş Cevabı, Benzetim ($K_p=2.5$, $K_i=0.0001$, $T_d=0.0001$, $f=0.3\text{Hz}$)



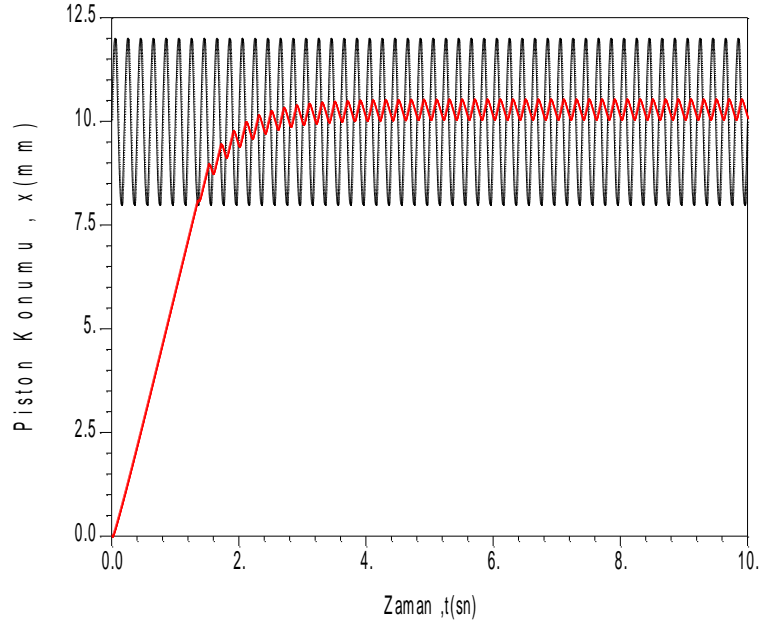
Şekil 5.3.3.1.1.8.Sistemin Sinüs Referans Giriş Cevabı, Yüksüz Deney ($K_p=2.5$; $K_i=0.0001$, $T_d=0.0001$; $K_w=0.0001$; $f=0.3\text{Hz}$)



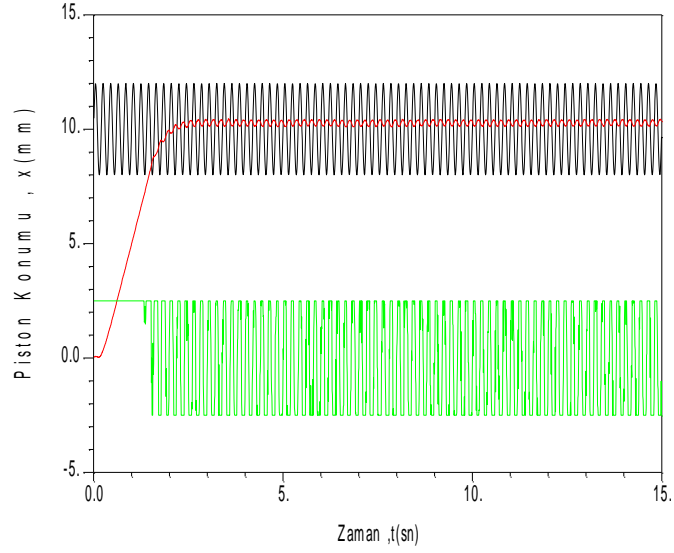
Şekil 5.3.3.1.1.9. Sistemin Sinüs Referans Giriş Cevabı, Benzetim ($K_p=2.5$, $K_i=0.0001$, $T_d=0.0001$; $f=2\text{Hz}$)



Şekil 5.3.3.1.1.10. Sistemin Sinüs Referans Giriş Cevabı Yüksüz Deney ($K_p=2.5$, $K_i=0.0001$, $T_d=0.0001$; $K_w=0.0001$; $f=2\text{Hz}$)



Şekil 5.3.3.1.1.11.Sistemin Sinüs Referans Giriş Cevabı, Benzetim ($K_p=2.5$, $K_i=0.0001$, $T_d=0.0001$; $f = 5\text{Hz}$)



Şekil 5.3.3.1.1.12.Sistemin Sinüs Referans Giriş Cevabı, (Yüksüz Deneysel)
($K_p=2.5$, $K_i=0.0001$, $T_d=0.0001$; $K_w=0.0001$; $f = 5\text{ Hz}$)

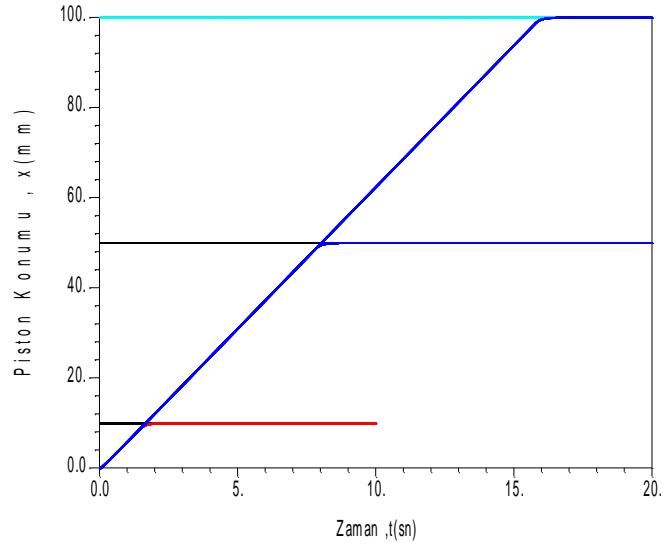
Şekil 5.3.3.1.1.7-12'deki grafiklerde sistemin 3 farklı frekanstaki sinüs referans giriş cevapları gösterilmektedir. Benzetim ve deneysel sonuçlar tutarlıdır. Kalıcı

hata diğer deneylerde olduğu gibi burada da 0.05 mm nin altında gerçekleşmiştir. Sistemin kütlesi ve ağırlığı gereği belli bir frekansın üstündeki girişleri takip edememektedir.

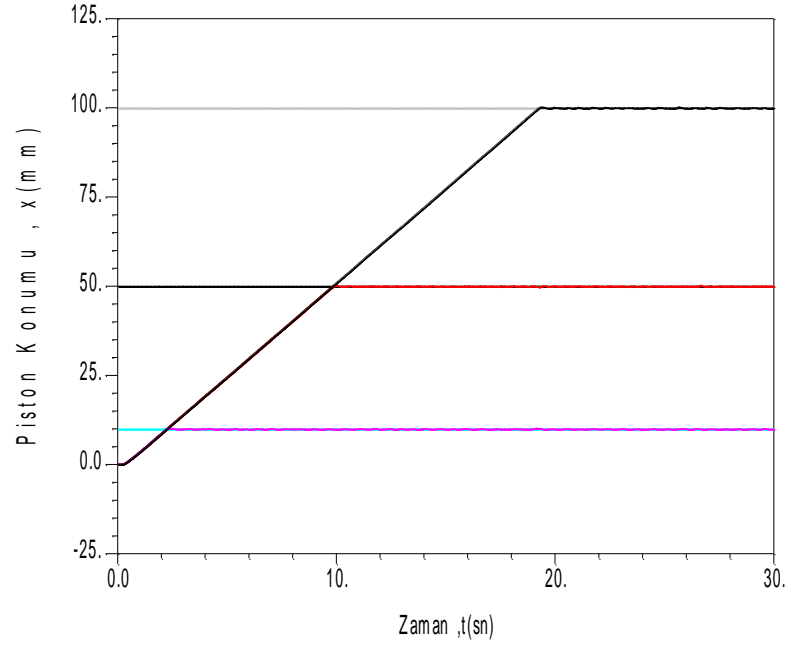
5.3.3.1.2 Kayan Kipli Kontrol

Yüksüz sistemin, istenilen cevabını, en yüksek hassasiyette verebilen birinci mertebeden kayan kipli kontrolcü kazançları $\lambda = 5$, $\delta = 2$ olarak belirlenmiş, deneyler bu kazançlarla yapılmıştır. Eşdeğer kontrol sinyali uygulanmayıp, yerine $\tanh(s/\delta)$ yumuşatma fonksiyonu kullanılmıştır.

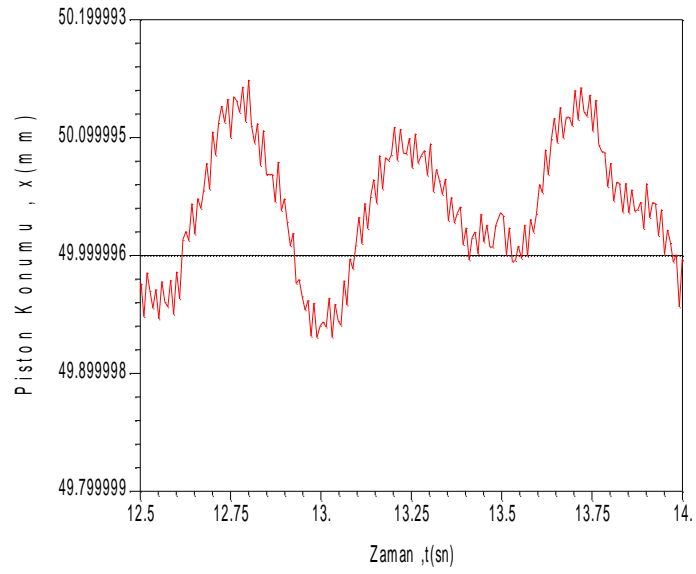
Şekil 5.3.3.1.2.1-4 'de, yüksüz sistemin basamak referans girişlere cevap eğrilerine örnek olarak verilmiştir.



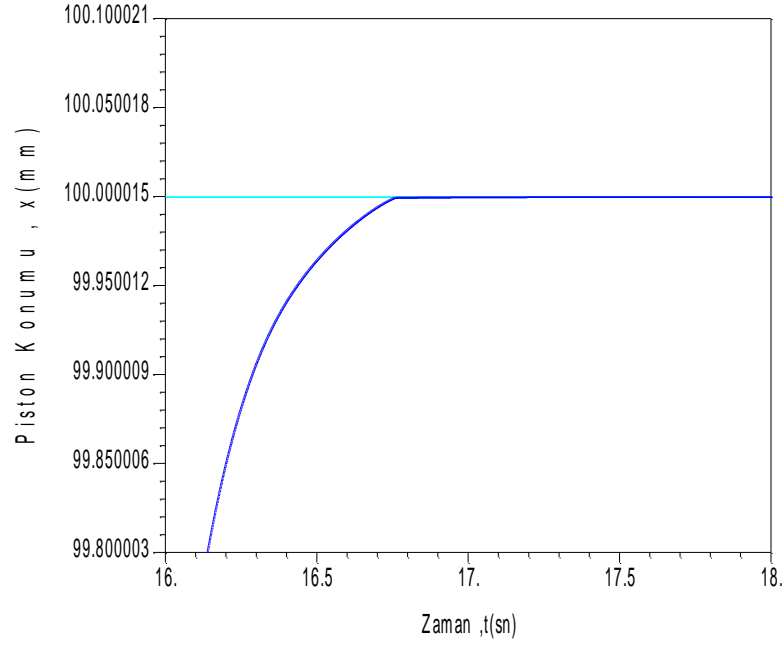
Şekil 5.3.3.1.2.1. Sistemin Basamak Referans Girişlere Cevapları Benzetim ($\lambda=5$, $\delta=2$)



Şekil 5.3.3.1.2.2. Sistemin Basamak Referans Girişlere Cevapları Yüksüz Deneysel ($\lambda=5, \delta=2$)



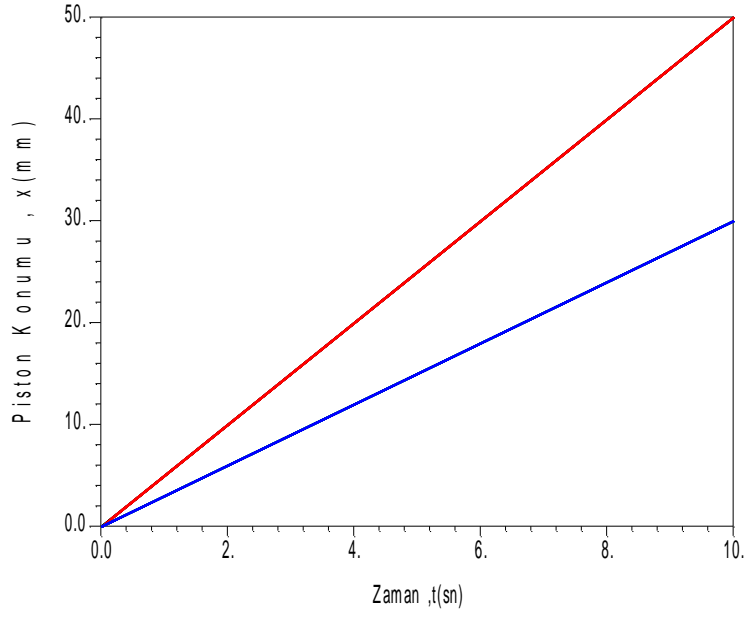
Şekil 5.3.3.1.2.3 Sistemin Basamak Referans Girişlere Cevapları, Yüksüz Deneysel Detaylı Görünüm ($\lambda=5, \delta=2$)



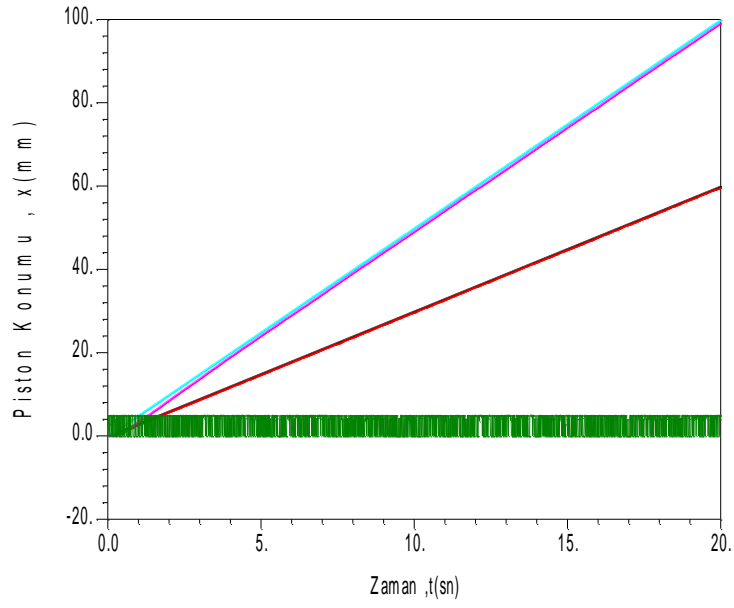
Şekil 5.3.3.1.2.4 Sistemin Basamak Referans Giriş Cevabı Benzetim *Detaylı Görünüm* ($\lambda=5, \delta=2$)

Şekil 5.3.3.1.2.1-4 ‘ deki grafiklerde sistemin üç farklı sistemin basamak referans girişlere cevapları gösterilmektedir. Benzetim ve deneysel sonuçlar birbirleri ile tutarlıdır. Detaylı grafiklerde de görüldüğü üzere kalıcı hata 0.05mm’nin altında kalıcı hata ise düşük sürelidir. Yerleşme zamanına bakıldığında da benzetim ve deneysel sonuçların tutarlı olduğu görülmektedir.

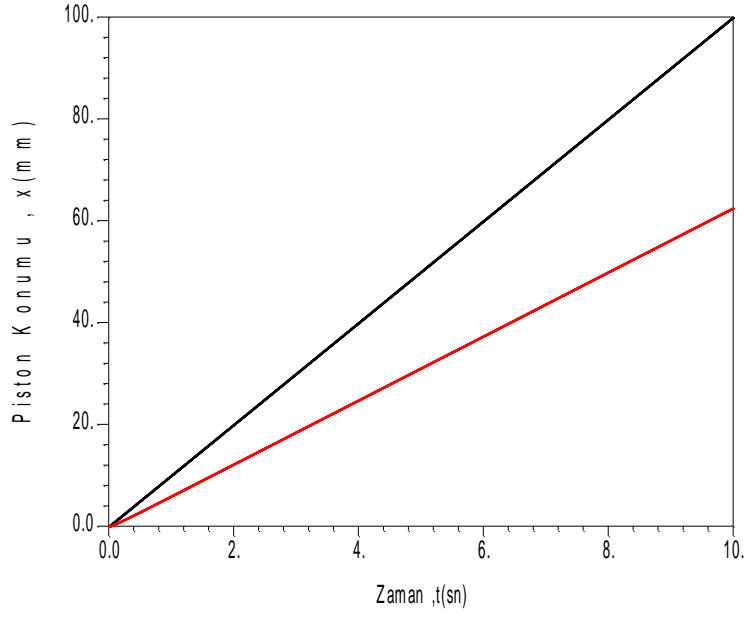
Şekil 5.3.3.1.2.5-8’de, yüksüz sistemin rampa referans girişlere cevap eğrilerine örnek olarak verilmiştir.



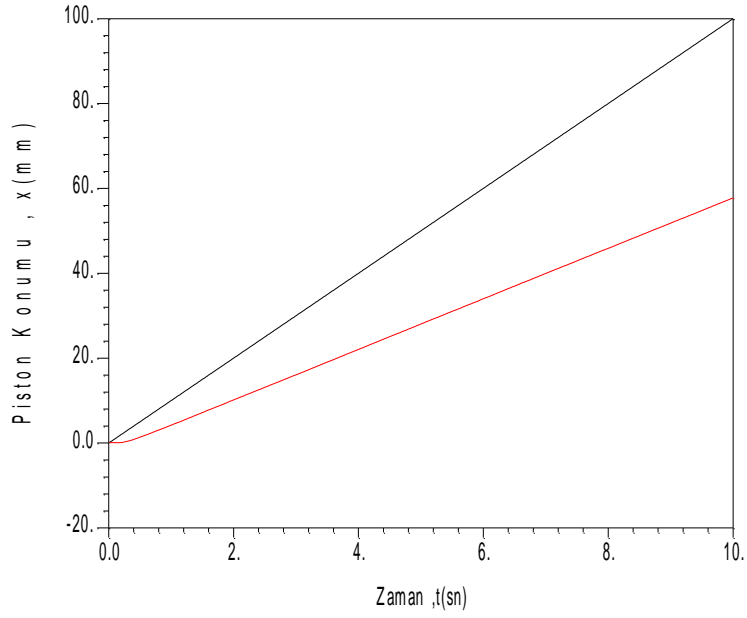
Şekil 5.3.3.1.2.5. Sistemin Rampa Referans Girişlere Cevapları, Benzetim ($\lambda=5, \delta=2 ; A_r = 3, 5$)



Şekil 5.3.3.1.2.6. Sistemin Rampa Referans Girişlere Cevapları, Yüksüz Deney ($\lambda=5, \delta=2 ; A_r = 3, 5$)



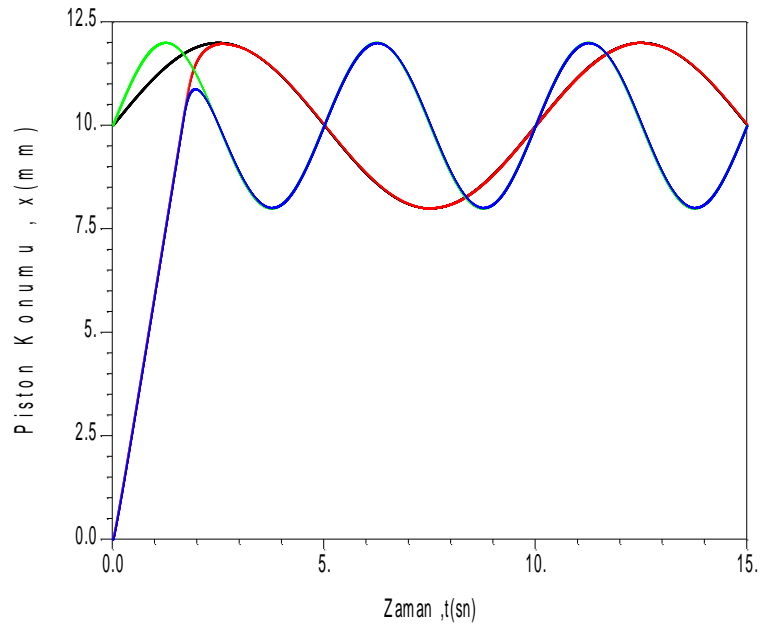
Şekil 5.3.3.1.2.7. Sistemin Rampa Referans Girişlere Cevapları, Benzetim ($\lambda=5, \delta=2 ; A_r = 10$) (eğim=maksimum piston hızı)



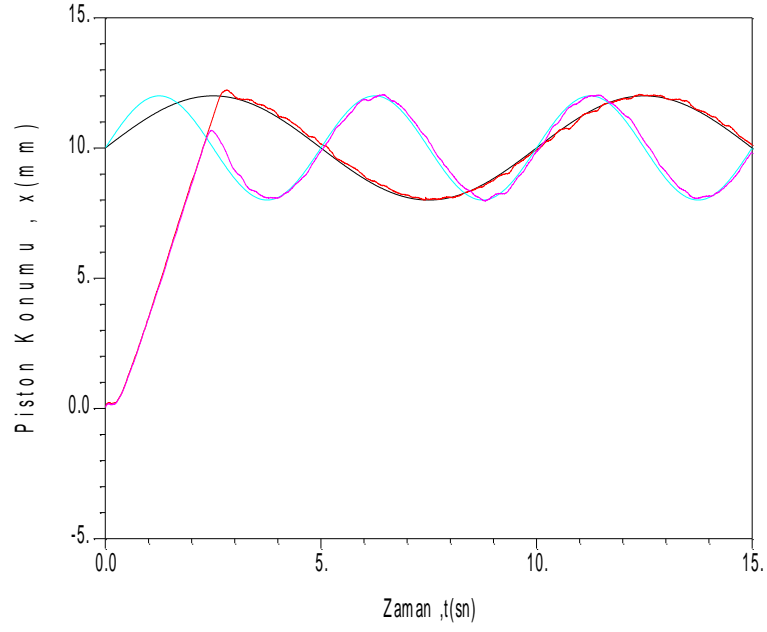
Şekil 5.3.3.1.2.8. Sistemin Rampa Referans Girişlere Cevapları, Yüksüz Deney ($\lambda=5, \delta=2 ; A_r = 10$) (eğim=maksimum piston hızı)

Şekil 5.3.3.1.2.5-8'deki grafiklerde sistemin 3 farklı rampa referans girişlere cevap sonuçları gösterilmektedir. Benzetim ve deneysel sonuçlar birileriyle tutarlı olup kalıcı hata oranı diğer deneylerdeki gibi düşüktür. $Ar=3$ ve $Ar=5$ referans rampa girişlerinde bir miktar gecikme gözlene de istenilen cevabı kontrolcü sağlamaktadır. $Ar=10$ referans girişini ise sistem gerçekleştirilememektedir. Bunun nedeni ise $Ar=10$ değeri pistonun maksimum hızından yüksektir. Bu deney ise pistonun maksimum hız deneyidir. Bu deneye göre pistonun maksimum hızı 5.8 mm/sn'dir

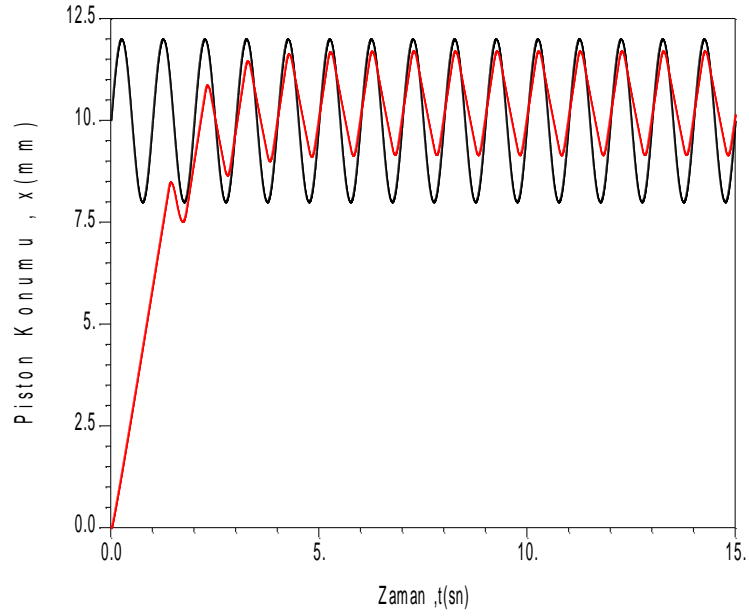
Şekil 5.3.3.1.2.9-12. 'de yüksüz, sistemin sinüs referans girişlere cevap eğrilerine örnek olarak verilmiştir.



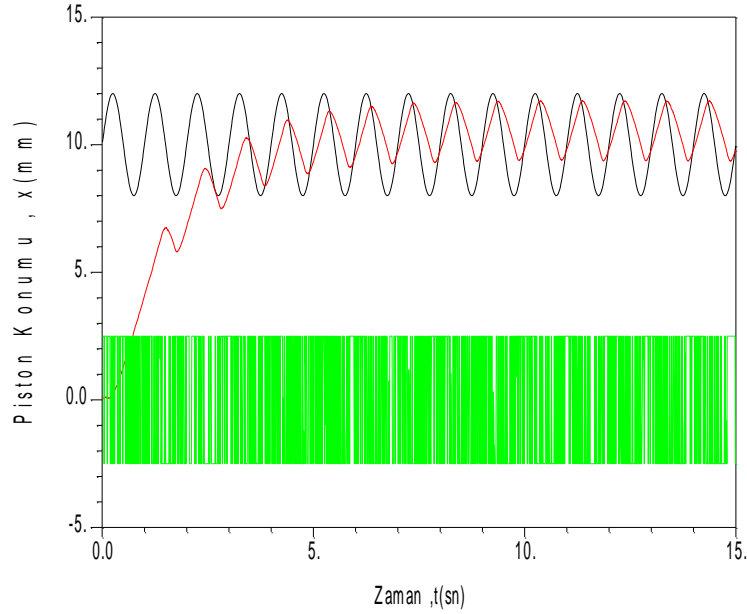
Şekil 5.3.3.1.2.9. Sistemin Sinüs Referans Girişlere Cevapları Benzetim (ISM) ($\lambda=5$, $\delta=2$; $K_i=0.0005$; $f= 0.1, 0.2$ Hz)



Şekil 5.3.3.1.2.10. Sistemin Sinüs Referans Girişlere Cevapları, Yüksüz Deney)(ISMC)($\lambda=5$, $\delta=2$; $K_i=0.0005$; $f=0.1, 0.2\text{Hz}$)



Şekil 5.3.3.1.2.11. Sistemin Sinüs Referans Girişe Cevabı, Benzetim (ISMC) ($\lambda=5$, $\delta=2$ $K_i=0.0005$; $f=1\text{Hz}$)



Şekil 5.3.3.1.2.12. Sistemin Sinüs Referans Girişe Cevabı, Yüksüz Deney (ISMC) ($\lambda=5, \delta=2; K_i=0.0005 ; f= 1Hz$)

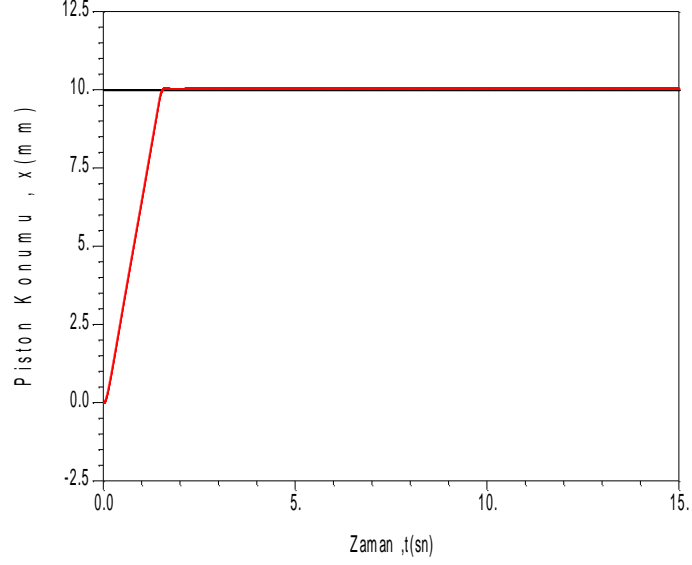
Şekil 5.3.3.1.2.9-11'deki grafiklerde sistemin 3 farklı sinüs referans girişlere cevap sonuçları gösterilmektedir. . Benzetim ve deneysel sonuçlar birbirleriyle tutarlı olup kalıcı hata oranı diğer deneylerdeki gibi düşüktür. $f = 0.2 Hz$ ve $f = 0.2 Hz$ referans sinüs girişlerinde bir miktar gecikme gözlemlense de istenilen cevabı kontrolcü sağlamaktadır. $f = 1Hz$ referans girişini ise sistem gerçekleştirilememektedir. Pistonun maksimum hareket hızının $f = 10 Hz$ değerine göre cevap üretmesi mümkün değildir.

5.3.2.İki Konum İki Yollu (2/2) Kartuş Valflerle Darbe Eni Modüleli Kontrol

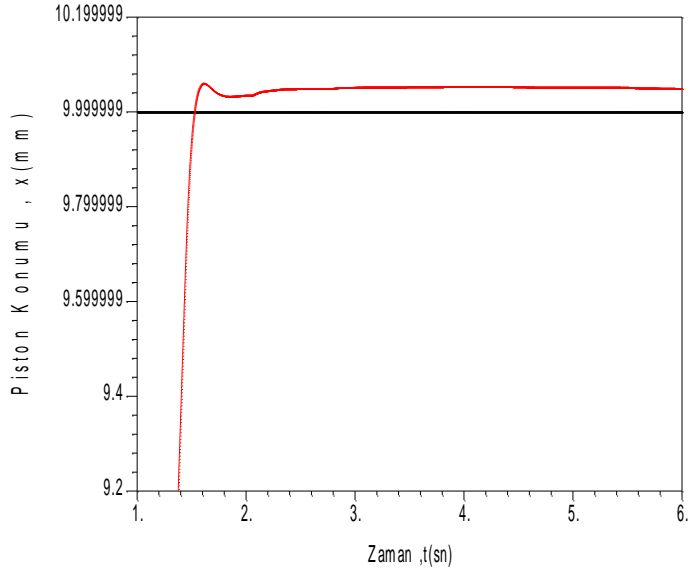
Deneylerde 5000 HZ'lik modülasyon frekansının iyi sonuç verdiği deneme yanılma yöntemi ile anlaşılmıştır. Sistem son derece doğrusal olmayan yapıya sahip olduğundan kontrolcülerin kazançları da yine deneme yanılma yöntemi ile belirlenmiştir. PID kontrol işleminde integral birikim hatasını gidermek için “geriye doğru hesaplama” (back calculation) tekniği, SMC kontrol için integrasyonu durdurma tekniği kullanılmıştır.

5.3.2.1. PID Kontrol

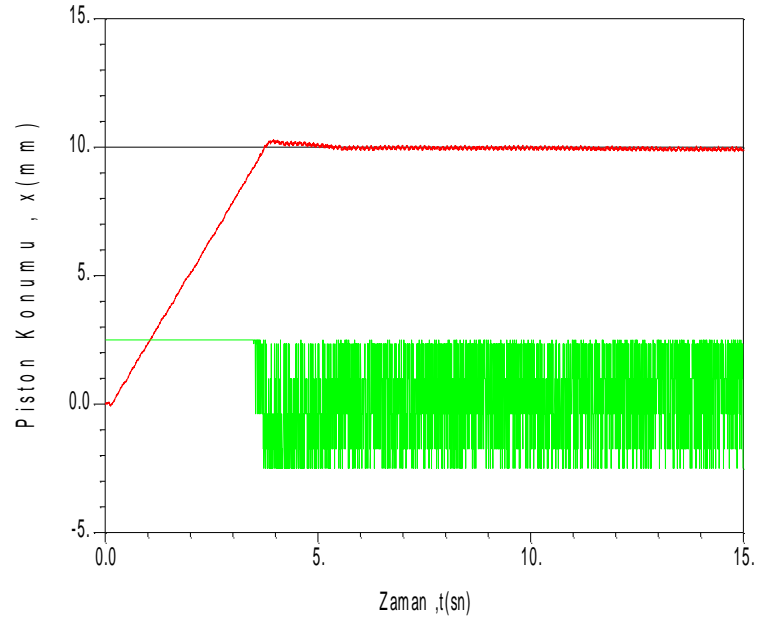
Pistonun yüksüz konum kontrolünde istenilen sistem cevabını en yüksek hassasiyette verebilen PID kontrolcü kazançları $K_p=7$, $K_i=1$ ve $T_D=1$ olarak belirlenmiş, deneyler bu kazançlarla yapılmıştır. Şekil 5.3.2.1.1a-1b-2a-2b 'de sistemin basamak referans girişlere cevap eğrilerine örnek olarak verilmiştir.



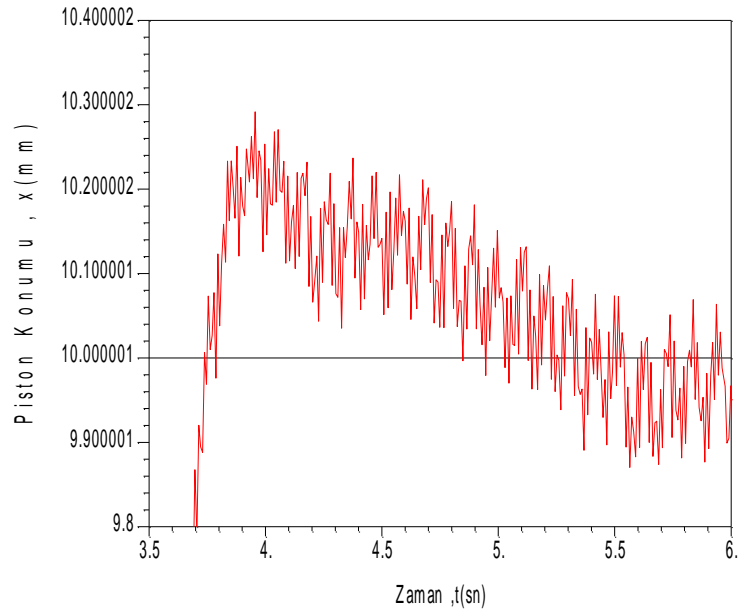
Şekil 5.3.2.1.1a Sistemin Basamak Referans Giriş Cevabı (Benzetim)
($K_p=7$, $K_i=0$, $T_d=0$)



Şekil 5.3.2.1.1b. Sistemin Basamak Referans Giriş Cevabı (Benzetim Detaylı Görünüm)



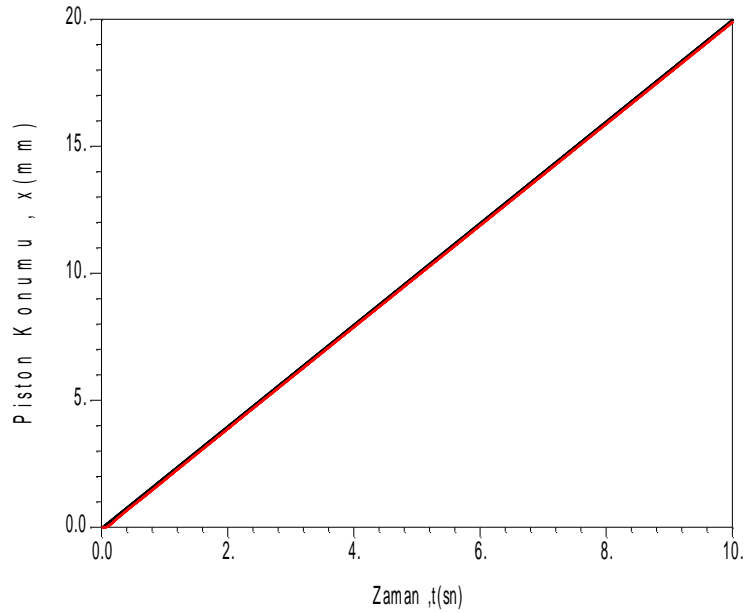
Şekil 5.3.2.1.2a. Sistemin Basamak Referans Giriş Cevabı (Yüksüz Dene)
 $(K_p=7, K_i=0, T_d=0)$



Şekil 5.3.2.1.2b. Sistemin Basamak Referans Giriş Cevabı (Detaylı Görünüm)

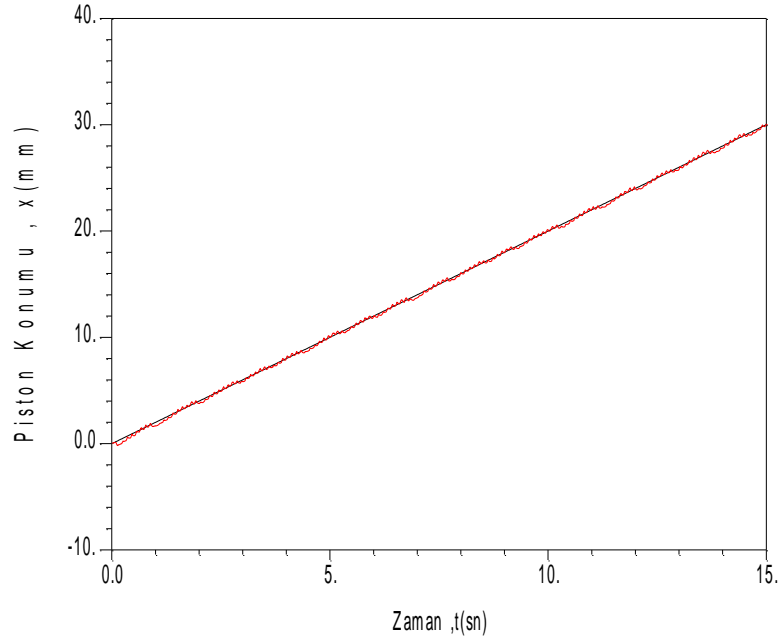
Sistemin basamak referans girişlere cevaplarının tatmin edici olduğu ve hem benzetim hem de deneysel sonuçların birbiri ile yeterince tutarlılık gösterdiği Şekil 5.3.2.1.1.a ve Şekil 5.3.2.1.2b 'den anlaşılmaktadır. Şekil 5.3.2.1.2.b cevabın detaylı görüntüsü olup, geçici cevapta 0.3mm'lik aşma, kalıcı cevapta 0.1mm'lik bir hata gözlenmiştir. Teorik cevaba göre deneysel cevabın daha titreşimli olmasının modellenemeyen parazitik etkiler ve belirsizliklerden kaynaklandığı düşünülmektedir. Cevapların yerleşme zamanlarındaki farklılığın genel olarak iki nedene dayandığı varsayılmaktadır: *i*) Elektronik arayüzdeki güç yükseltici devresinin akım çekildiğinde istenilenden biraz daha düşük gerilim uygulayabilmesi ve *ii*) valf kapılarının aynı anda tam açıklığa gelememesinin neticesi (yüksek frekansta senkronizasyon problemi) olarak akışın bir miktar boğulmasından kaynaklanan debi düşüştür. Özellikle ikinci durumun matematiksel modele katılamamasından dolayı gerekli uyum gerçekleştirilememiştir.

Şekil 5.3.2.1.3-4 yüksüz sistemin rampa referans girişlere cevap eğrilerine örnek olarak verilmiştir.



Şekil 5.3.2.1.3. Sistemin Rampa Referans Girişe Cevabı (Benzetim)

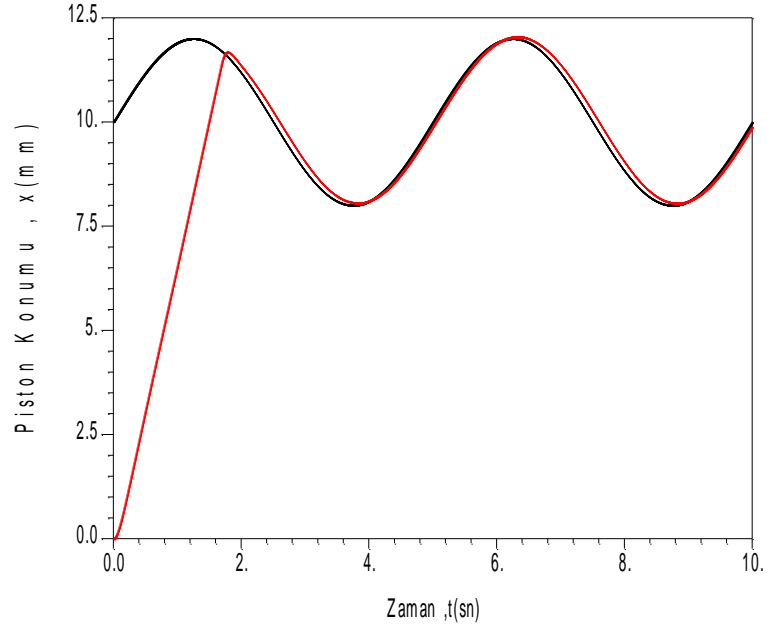
($K_p=7$, $K_f=0$, $T_d=0$; $A_r=2$)



Şekil 5.3.2.1.4. Sistemin Rampa Referans Giriş Cevabı, Yüksüz Deney
($K_p=7$, $K_i=0$, $T_d=0$; $A_r=2$)

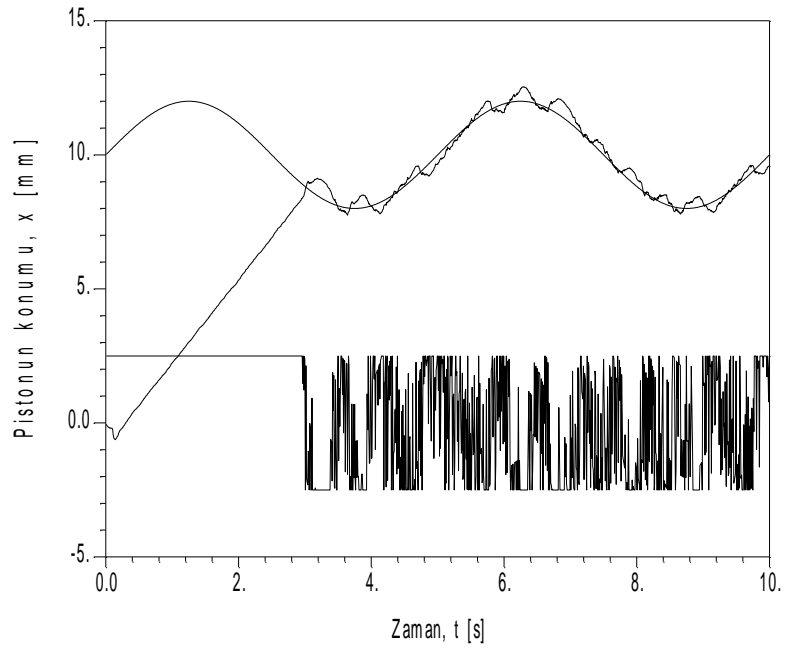
Şekil 5.3.2.1.3.-4. Sistemin rampa giriş cevapları görülmektedir. PID kontrolün kullanıldığı deneyde rampa cevabının istenildiği gibi yörüngeyi takip edemediği gözlenmiştir. Benzetim grafiğinde ise aynı sorun görünmemektedir. Deney düzeneğindeki modellenemeyen etkilerin bu farka neden olduğu düşünülmektedir.

Şekil 5.3.2.1.5.- Sistemin yüksüz sinüs referans girişlere cevap eğrilerine örnek olarak verilmiştir.



Şekil 5.3.1.1.5. Sinüs Referans Girişlere Cevap Eğrisi Benzetim

($K_p=7$, $K_i=0$, $T_d=0$; $f=0.2\text{Hz}$)



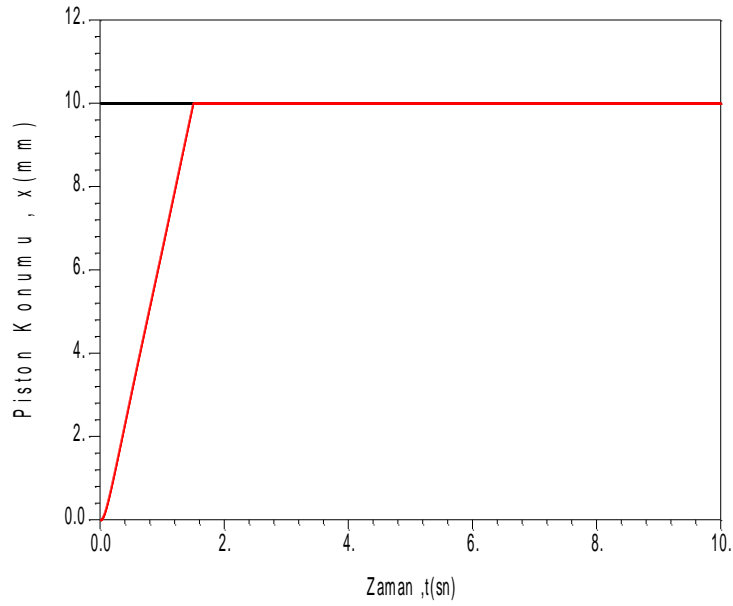
Şekil 5.3.1.1.6 .Sinüs Referans Girişlere Cevap Eğrisi Yüksüz Deney

($K_p=7$, $K_i=0$, $T_d=0$; $f=0.2\text{Hz}$)

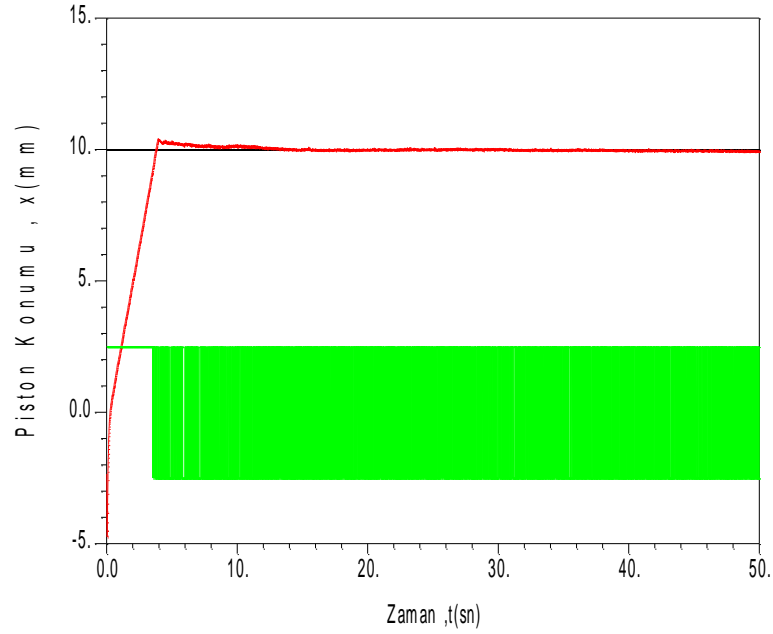
Şekil 5.3.2.1.5-6 da PID kontrolün kullanıldığı bu bu deneylerde de rampa girişte olduğu gibi yörünge izleme sorunu görünmektedir. Deney grafiğinde PWM kontrol sinyali de görülmektedir.

5.3.2.2. Kayan Kipli Kontrol

Yüksüz sistemin istenilen cevabını, en yüksek hassasiyette verebilen birinci mertebeden kayan kipli kontrolcü kazançları belirlenmiş, deneyler bu kazançlarla yapılmıştır. Eşdeğer kontrol sinyali uygulanmayıp, yerine $\tanh(s/\delta)$ yumuşatma fonksiyonu kullanılmıştır. Modülasyon frekansı 2500 Hz ile deneyler yapılmakla birlikte yaklaşık 5000 Hz frekansın daha iyi sonuç verdiği diğer deneylerde anlaşılmıştır.

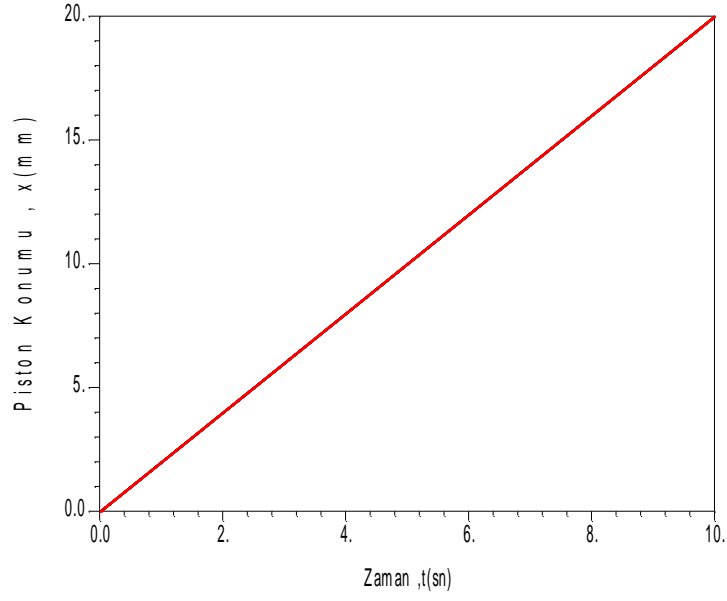


Şekil 5.3.2.2.1 Sistemin Basamak Referans Girişe Cevabı Benzetim ($\lambda=500$, $\delta=1$)

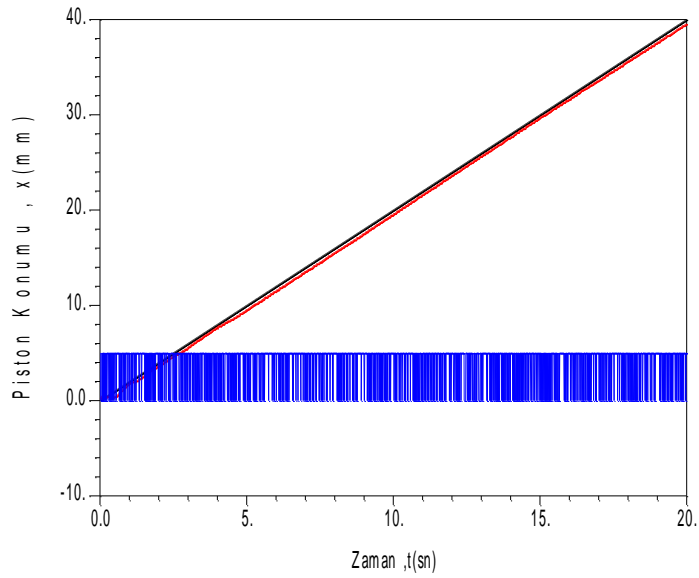


Şekil 5.3.2.2.2. Sistemin Basamak Referans Giriş Cevabı Yüksüz Deney
($\lambda=500, \delta=1$)

Şekil 5.3.2.2.1 ve Şekil 5.3.1.2.2’de 2/2 kartuş valfli sistemin SMC kontrol basamak cevap grafikleri görülmektedir. Basamak cevap için, PID kontrolle yakın cevaplar elde edilmiştir. Bu deneylerde de kalıcı hata 0.2 mm civarında oluşmuştur. SMC kontrolde benzetim ve deney grafiğindeki yerleşme zamanlarının birbirine yakın olduğu görülmüştür. Şekil 5.3.2.2.3-4’de yüksüz sistemin rampa referans girişlere cevap eğrilerine örnek olarak verilmiştir.



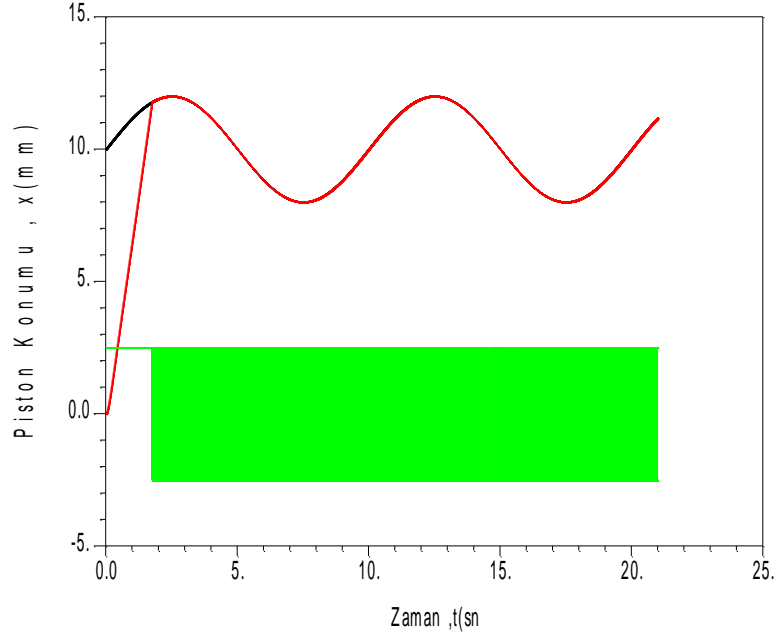
Şekil 5.3.2.2.3. Sistemin Rampa Referans Girişlere Cevabı, Benzetim ($\lambda=7770$, $\delta=3$, $A_r=2$)



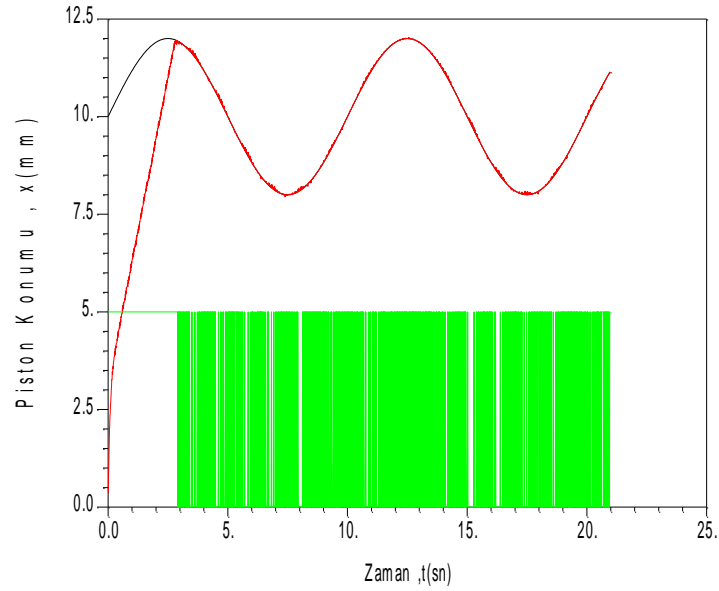
Şekil 5.3.2.2.4. Sistemin Rampa Referans Girişlere Cevabı, Yüksüz Deney ($\lambda=7770$, $\delta=3$, $A_r=2$)

Şekil 5.3.2.2.3-4.'te sistemin rampa cevapları görülmektedir. Verilen grafiklerde benzetim ve deney sonuçlarının tutarlı olduğu ve istenilen cevap şeklinin elde edildiği görülmektedir. Sistemin referans girişi çok düşük bir hata ile izlediği

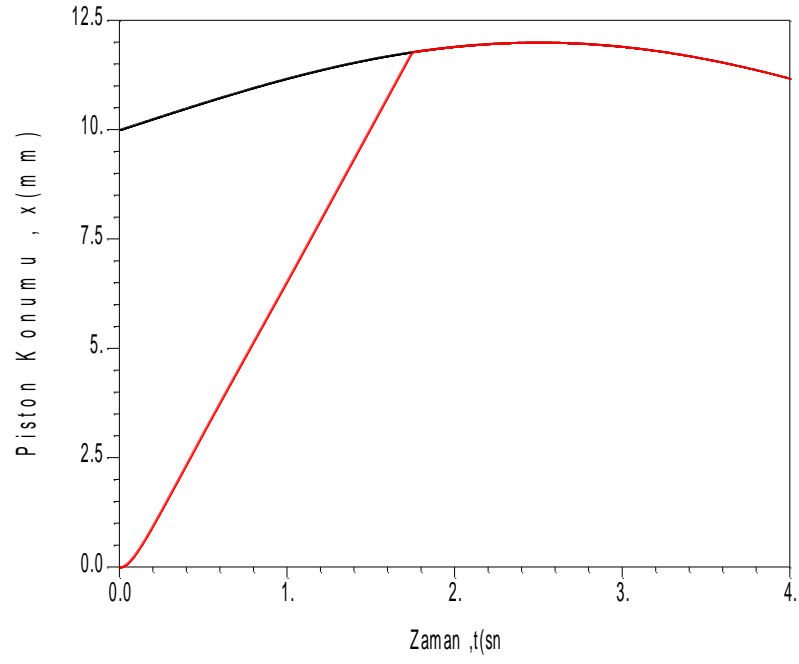
görülmüştür. Şekil 5.3.2.2.5-8 yüksüz sistemin sinüs referans girişlere cevap eğrilerine örnek olarak verilmiştir



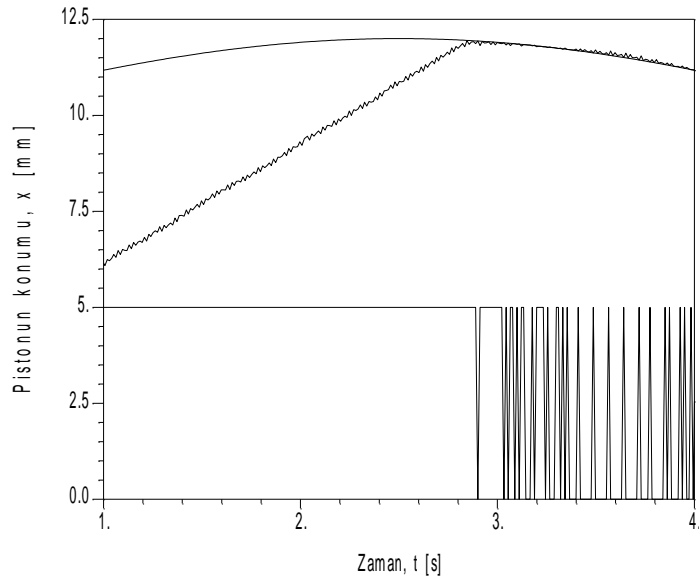
Şekil 5.3.2.2.5 Sistemin Sinüs Referans Girişe Cevabı, Benzetim ($\lambda=500$, $\delta=3$; $f=0.1$ Hz)



Şekil 5.3.2.2.6. Sistemin Sinüs Referans Girişe Cevabı, Yüksüz Deneysel ($\lambda=500$, $\delta=3$; $f=0.1$ Hz)



Şekil 5.3.2.2.7. Sistemin Sinüs Referans Giriş Cevabı, Benzetim
 $(\lambda=500, \delta=3; f=0.1 \text{ Hz})$



Şekil 5.3.2.2.8. Sistemin Sinüs Referans Giriş Cevabı, Yüksüz Deney
 $(\lambda=500, \delta=3; f=0.1 \text{ Hz})$

Şekil 5.3.2.2.5-6 daki, Benzetim ve deney grafikleri incelendiğinde SMC kontrollü sistemin sinüs referans girişi daha iyi takip ettiği anlaşılmıştır. Benzetim grafiği ile de tutarlı bir sonuç göstermiştir.

Deney grafiğindeki kontrol sinyalinin de görüleceği üzere bu giriş için sistemin yörünge izlemesinin başarılı olduğu görülmüştür. Ayrıca kalıcı hata ve titreşimlerde düşük seviyededir.

Şekil 5.3.2.2.7 ve Şekil 5.3.2.2.8 deki grafikler incelendiğinde yüksüz sistemin Sinüs Referans Girişe Cevabı yörünge izlemesinin yeteri kadar başarılı olduğu görülmüştür. Şekil 5.3.1.2.7 deki yerleşme zamanı ise Şekil 5.3.1.2.8 e göre biraz küçüktür.

5.3.3. İki Konum Üç Yollu (3/2) Kartuş Valflerle Darbe Eni Modüleli Kontrol

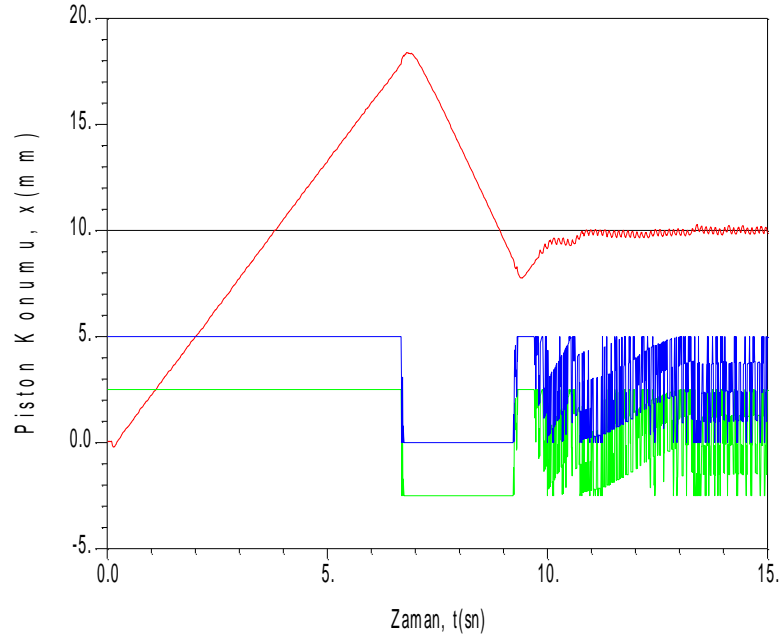
5.3.3.1. PID Kontrol

Yüksüz sistemin istenilen cevabını, en yüksek hassasiyette verebilen PID kontrolcü kazançları $K_p = 12$, $K_i = 0.8$ ve $T_d = 0$, $K_w = 1$ olarak belirlenmiş, deneyler bu kazançlarla yapılmıştır. Şekil 5.3.3.1.1 ve Şekil 5.3.3.1.2 sistemin basamak referans girişlere cevap eğrilerine örnek olarak verilmiştir.

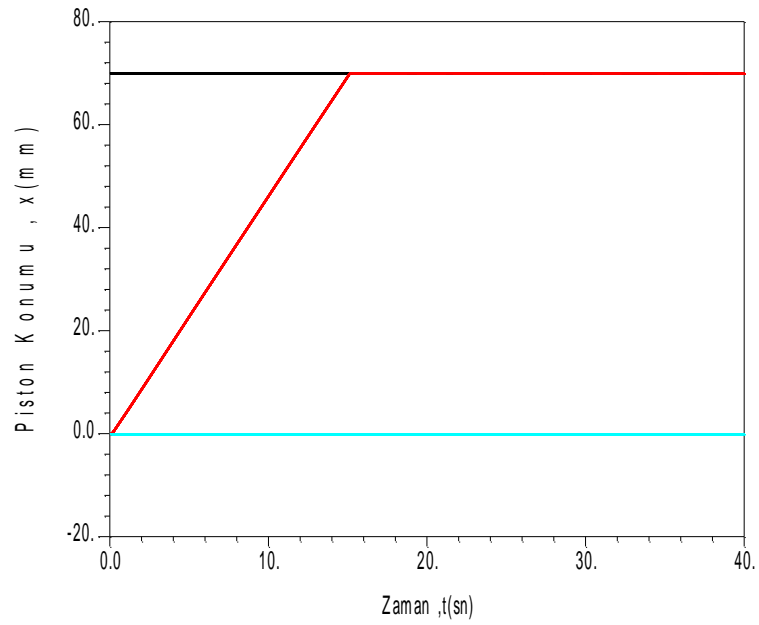
Deneylerde doymadan kaynaklı integral birikim hatası meydana gelmiş piston referans basamak cevabında Şekil 5.3.3.1.1’de görüldüğü gibi aşma hareketleri yapmıştır.

Bunu hatayı düzeltmek için “anti windup” yöntemi kullanılmıştır. Doymadan önceki hatadan ile doymadan sonraki hata arasındaki fark alınarak K_w kontrol kazancı elde edilmiş ve PID kontrole eklenmiştir.

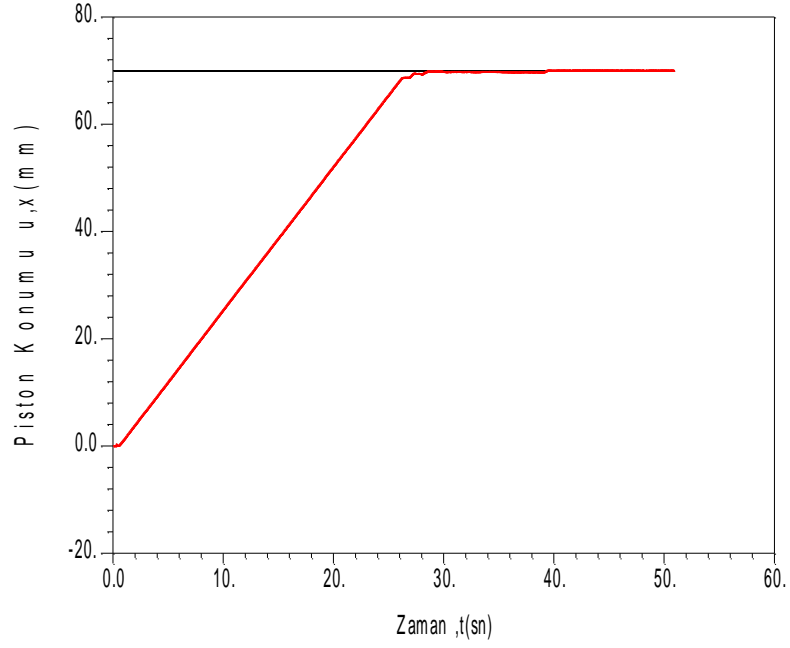
Birikim hatasını SMC kontrollü sistemde de gidermek için ise integral terimini açma kapama (kesme yöntemi) yöntemi kullanılmış fakat sonuç alınamamıştır. Bu nedenle ISMC den vazgeçilmiştir.



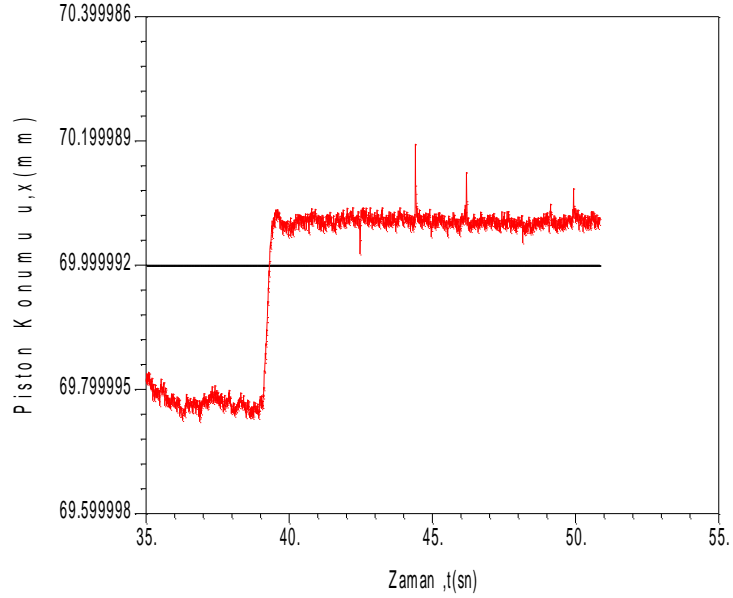
Şekil 5.3.3.1.1 Sistemin Basamak Referans Girişe Cevabı, K_w uygulanmadan Yüksüz Deney ($X_{ref}=70$, $K_p=12$, $K_i=0.8$, $T_d=0$ $K_w=0$;))



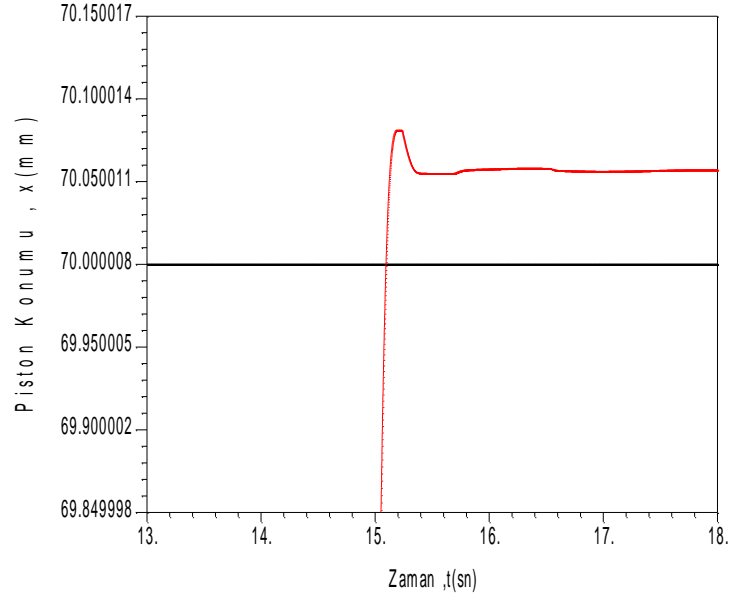
Şekil 5.3.3.1.2a. Sistemin Basamak Referans Girişe Cevabı, (Benzetim) ($X_{ref}=70$, $K_p=12$, $K_i=0.8$, $T_d=0$;))



Şekil 5.3.3.1.3a Sistemin Basamak Referans Giriş Cevabı Yüksüz Deney
($X_{ref}=70$, $K_p=12$, $K_i=0.8$, $T_d=0$; $K_w=1$)



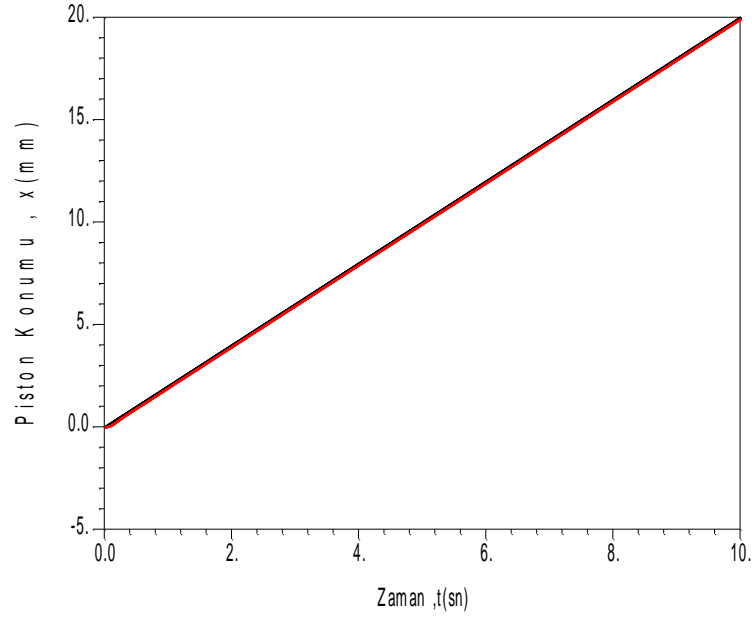
Şekil 5.3.2.1.2b Sistemin Basamak Referans Giriş Cevabı, (Yüksüz Deney)
Detaylı Görünüm ($X_{ref}=70$, $K_p=12$, $K_i=0.8$, $T_d=0$;))



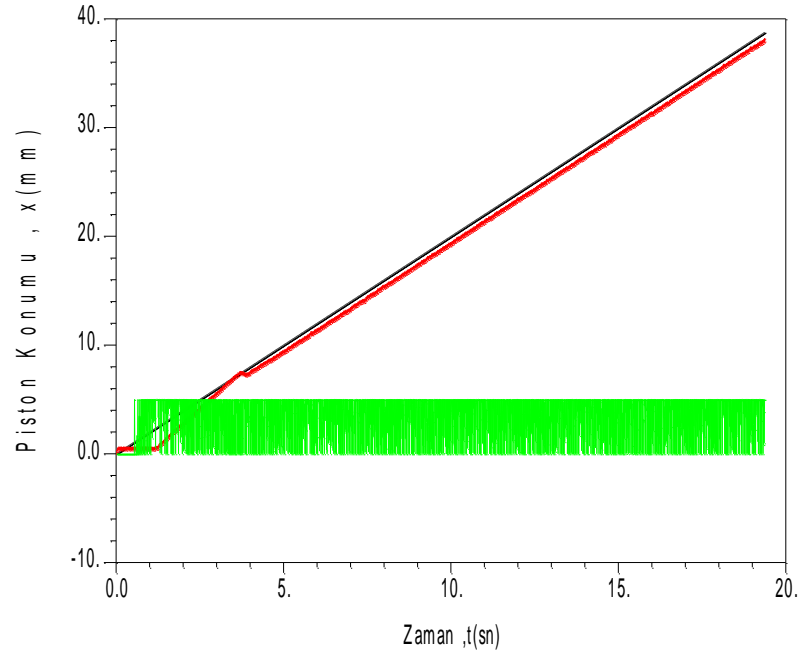
Şekil 5.3.3.1.3b Sistemin Basamak Referans Giriş Cevabı (*Benzetim Detaylı Görünüm*) ($X_{ref}=70$, $K_p=12$, $K_i=0.8$, $T_d=0$;))

Şekil 5.3.3.1.1b ve Şekil 5.3.3.1.2b de sistemin basamak referans giriş cevaplarının detaylı grafiği gösterilmektedir. Grafiklere göre benzetim ve deney sonuçları tutarlılık göstermektedir. İstenilen cevap şekline yakın bir cevap elde edilmiştir. Kalıcı hata 0.2 mm ila 0.3 mm arasında oluşmuştur. Yerleşme zamanında oluşan farklılığın nedeni diğer sistemlerle aynıdır.

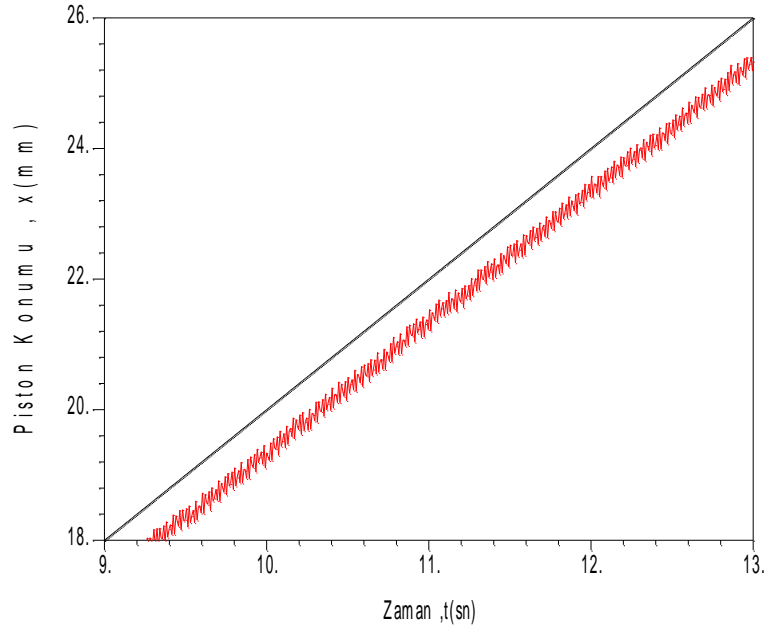
Şekil 5.3.3.1.4a Şekil 5.3.3.1.4b Şekil 5.3.3.1.5a ve Şekil 5.3.3.1.5b yüksüz sistemin rampa referans girişlere cevap eğrilerine örnek olarak verilmiştir.



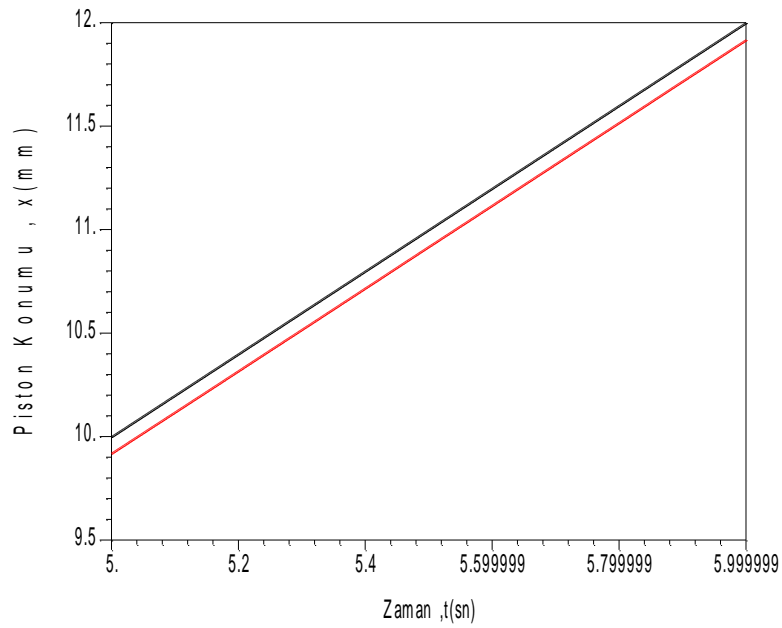
Şekil 5.3.3.1.4a. Sistemin Rampa Referans Giriş Cevabı Benzetim $K_p=5$, $K_i=2$, $T_d=0$; $K_w=1$)



Şekil 5.3.3.1.5a. Sistemin Rampa Referans Giriş Cevabı (Yüksüz Deney) ($K_p=5$, $K_i=2$, $T_d=0$; $K_w=1$)



Şekil 5.3.3.1.4b. Sistemin Rampa Referans Giriş Cevabı Yüksüz Deneysel *Detaylı Görünümü* ($K_p=5$, $K_i=2$, $T_d=0$; $K_w=1$)

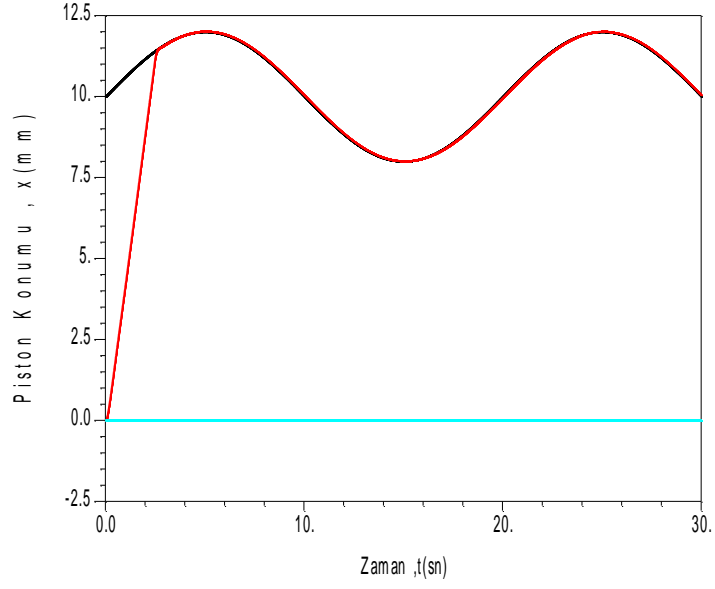


Şekil 5.3.3.1.5b Sistemin Rampa Referans Giriş Cevabı Benzetim *Detaylı Görünümü* ($K_p=5$, $K_i=2$, $T_d=0$; $K_w=1$)

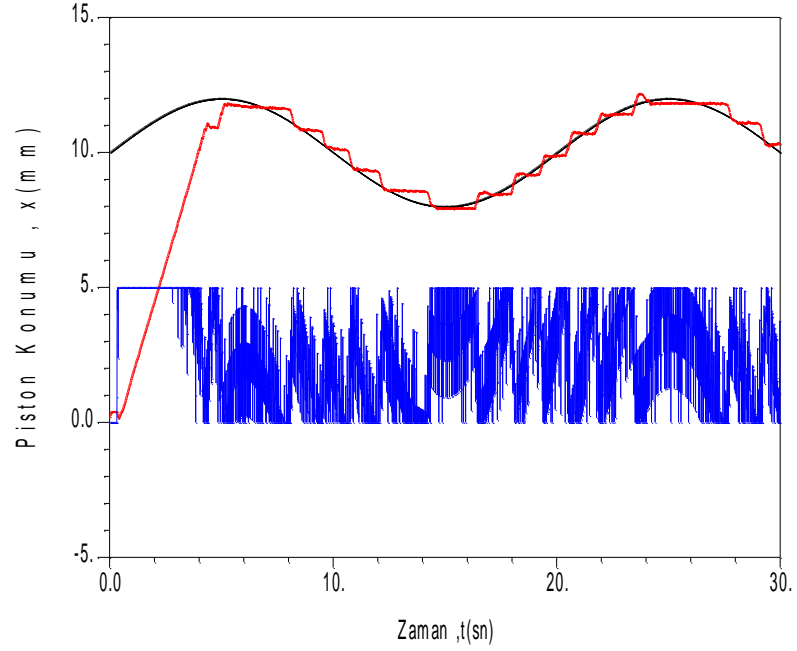
Şekil 5.3.3.1.3a ve Şekil 5.3.3.1.4a da sistemin rampa referans giriş cevabı verilmiştir. Benzetim ve deneysel sonuçların tutarlı olduğu görülmektedir. Şekil

5.3.2.4a. 'da sistem, rampanın ilk 5 saniyesinde hatalı çıkış yapsa da kontrolcü sayesinde doğru yörüngeye oturmuştur

Şekil 5.3.3.1.6 ve Şekil 5.3.3.1.7, da yüksüz sistemin sinüs referans girişlere cevap eğrilerine örnek olarak verilmiştir.



Şekil 5.3.3.1.6. Sistemin Sinüs Referans Girişi Cevabı (Benzetim) ($K_p=7$, $K_i=1$, $T_d=0$; $K_w=1$, $f=0.05\text{Hz}$)



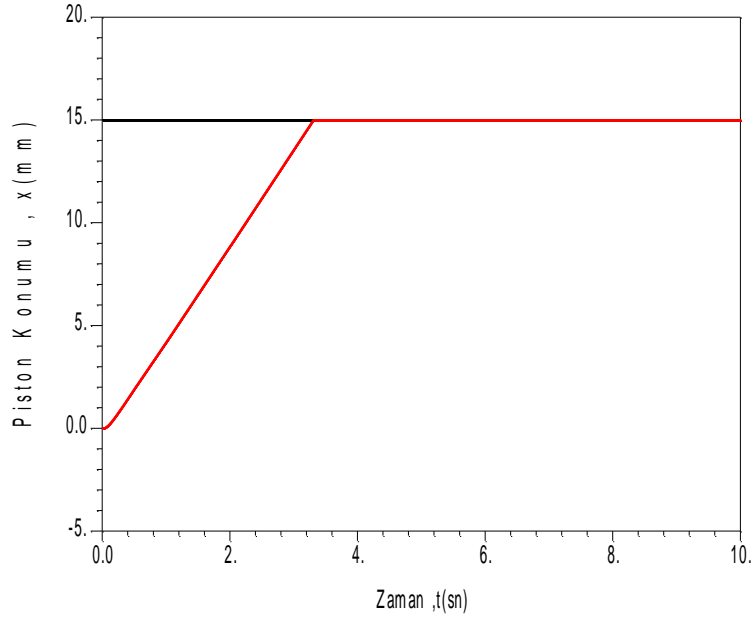
Şekil 5.3.3.1.7. Sistemin Sinüs Referans Girişi Cevabı (Yüksüz Deneş) ($K_p=7$, $K_i=1$, $T_d=0$; $K_w=1$, $f=0.05\text{Hz}$)

Şekil 5.3.3.1.6.ve Şekil 5.3.3.1.7. grafiklerinde 3/2 valfin Sinüs Referans Girişe cevaplarının benzetim ve deney sonuçları gösterilmektedir. PID kontrolün kullanıldığı sistemde, deneysel sonuçta pistonun yörüngeyi hatalı izlediği görülmüştür. Benzetimde yörünge iyi izlenmiş fakat gerçek deneyde PID kontrolcü dış bozululardan etkilenmiştir.

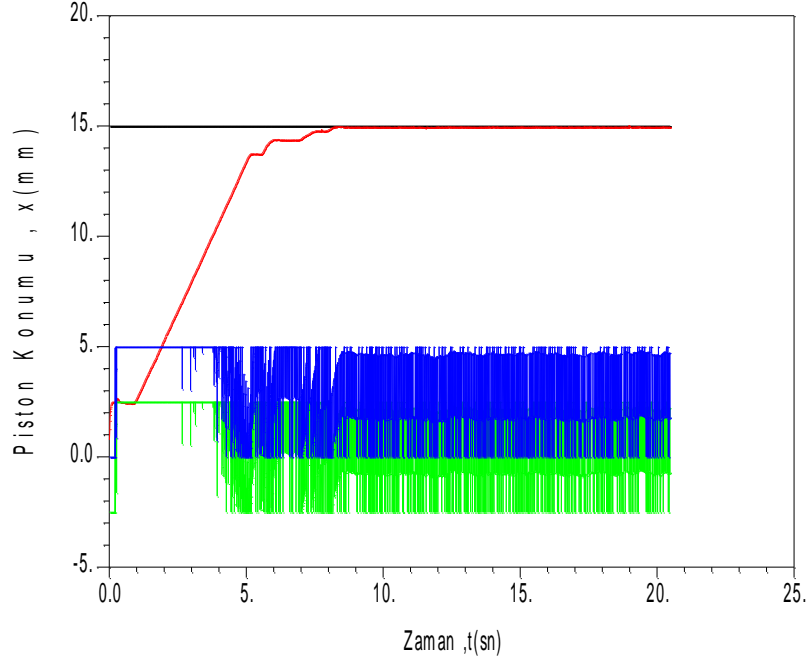
5.3.3.2. Kayan Kipli Kontrol

Yüksüz sistemin istenilen cevabını, en yüksek hassasiyette verebilen birinci mertebeden kayan kipli kontrolcü kazançları $\lambda = 500000$, $\delta = 20$ olarak belirlenmiş, deneyler bu kazançlarla yapılmıştır. Eşdeğer kontrol sinyali uygulanmayıp, yerine $\tanh(s/\delta)$ yumuşatma fonksiyonu kullanılmıştır.

Şekil 5.3.3.2.1',de yüksüz sistemin basamak referans girişlere cevap eğrilerine örnek olarak verilmiştir.



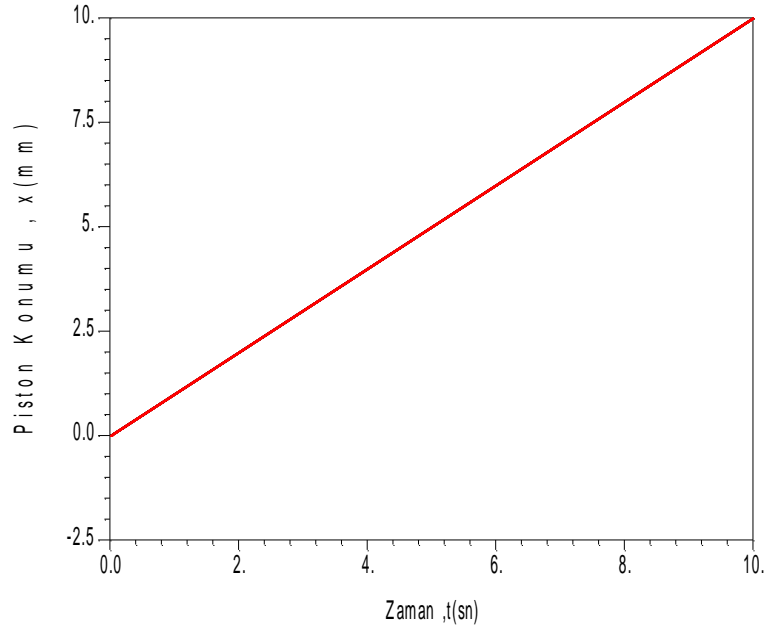
Şekil 5.3.3.2.1 Sistemin Basamak Referans Girişlere Cevabı (Benzetim) ($\lambda=150$, $\delta=9.8$ $X_{ref}:15$)



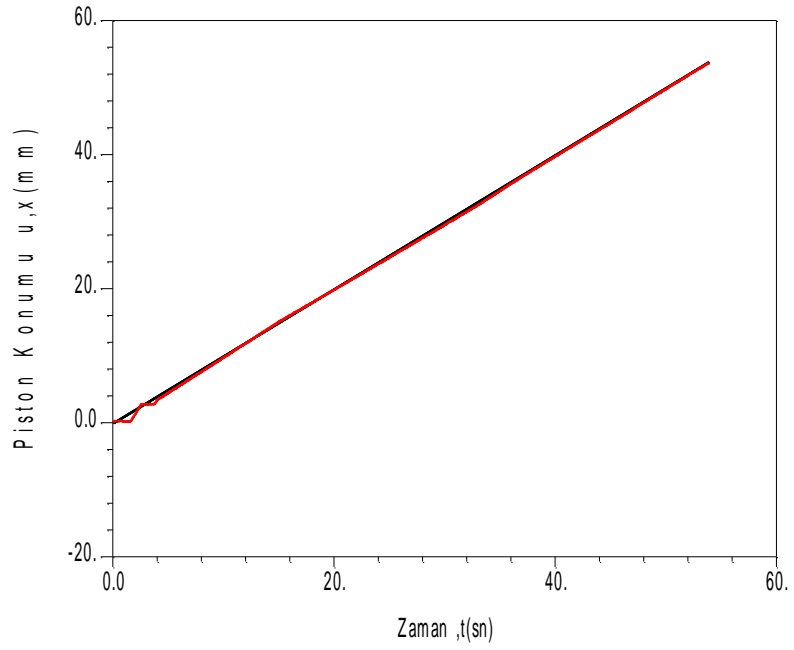
Şekil 5.3.3.2.2 Sistemin Basamak Referans Girişlere Cevabı , Yüksüz Deney ($\lambda=150$, $\delta=9.8$ $X_{ref}:15$)

Şekil 5.3.3.2.1. ve Şekil 5.3.3.2.2'deki sonuçlara göre deneysel çalışmada sistem ilk etapta referans girişe giderken kısa bir süre kararsızlık yaşasa da nihayetinde istenilen referans girişe gitmişti. Kalıcı hata oranı 0.2'mm civarında oluşmuştur. Benzetim sonucu ve deneysel sonuçlar tutarlılık göstermektedir.

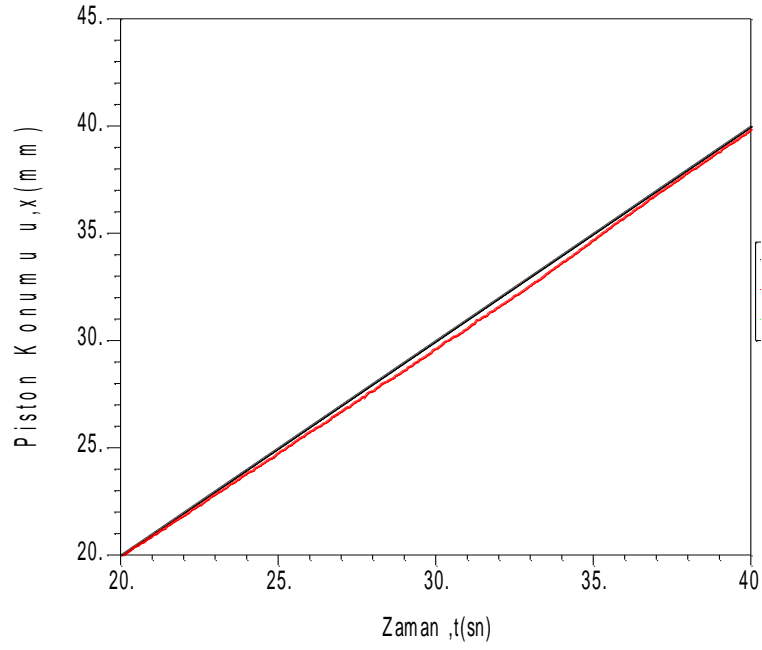
Şekil 5.3.3.2.3. ve **Şekil 5.3.3.2.6.** da yüksüz sistemin rampa referans girişlere cevap eğrilerine örnek olarak verilmiştir.



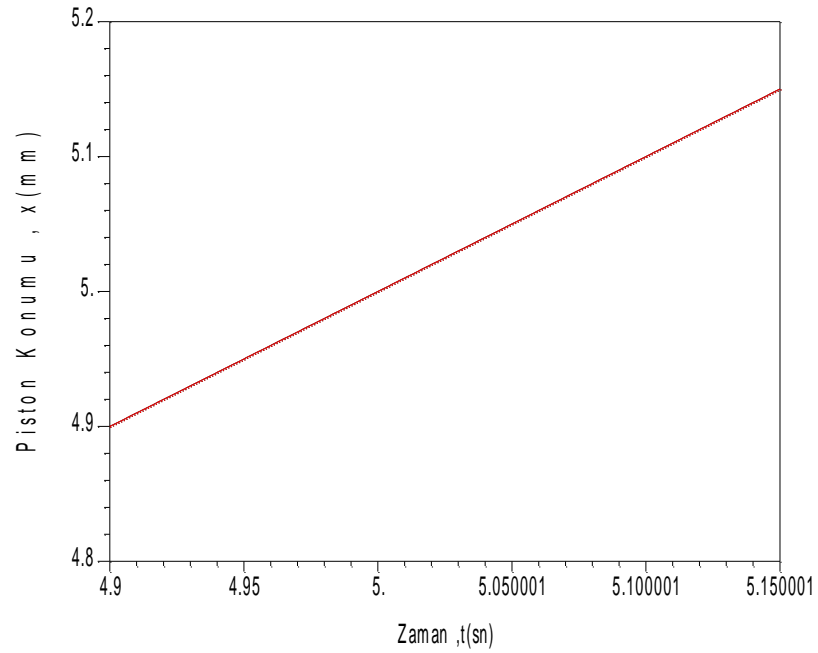
Şekil 5.3.3.2.3. Sistemin Rampa Referans Girişlere Cevabı, Benzetim
($\lambda=150$, $\delta=9.8$, Ar: 1)



Şekil 5.3.3.2.4 Sistemin Rampa Referans Girişlere Cevabı,(Yüksüz Deney)
($\lambda=150$, $\delta=9.8$ Ar: 1)



Şekil 5.3.3.2.5. Sistemin Rampa Referans Girişlere Cevabı (*Deney Detaylı Görünüm*) ($\lambda=150$, $\delta=9.8$, *Ar 1:75*)

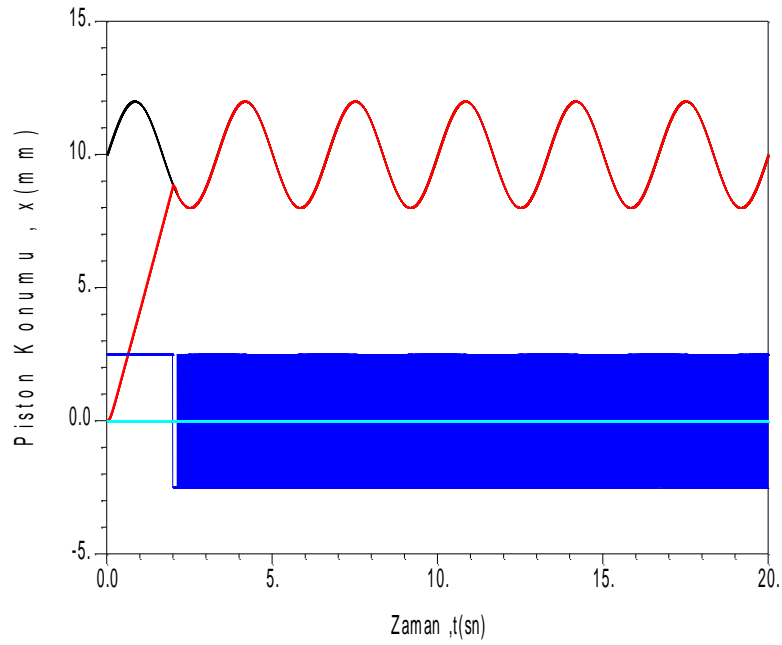


Şekil 5.3.3.2.6. Sistemin Rampa Referans Girişlere Cevabı,-Benzetim *Detaylı Görünüm* ($\lambda=150$, $\delta=9.8$, *Ar 1:75*)

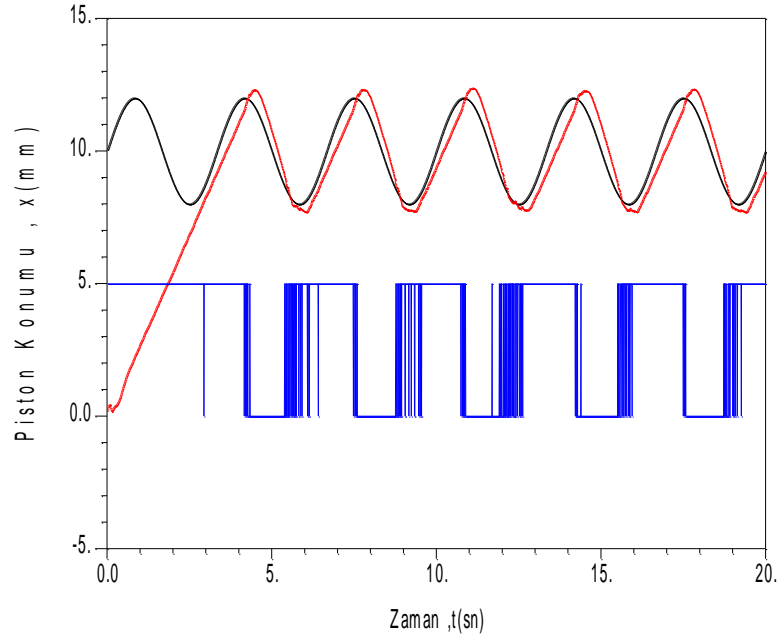
Şekil 5.3.3.2.3. ve **Şekil 5.3.3.2.6.** sistemin rampa referans girişlere cevapları gösterilmektedir. Benzetim ve deney sonuçları birbirleriyle tutarlı sonuçlar vermiştir

Kalıcı hata oldukça düşük ve istenilen cevap şekline oldukça yakındır. Belli sürelerde oluşan yörünge izleme hataları gözlenirse de kontrolcü sistemi istenilen referansa çekmeyi başarmıştır

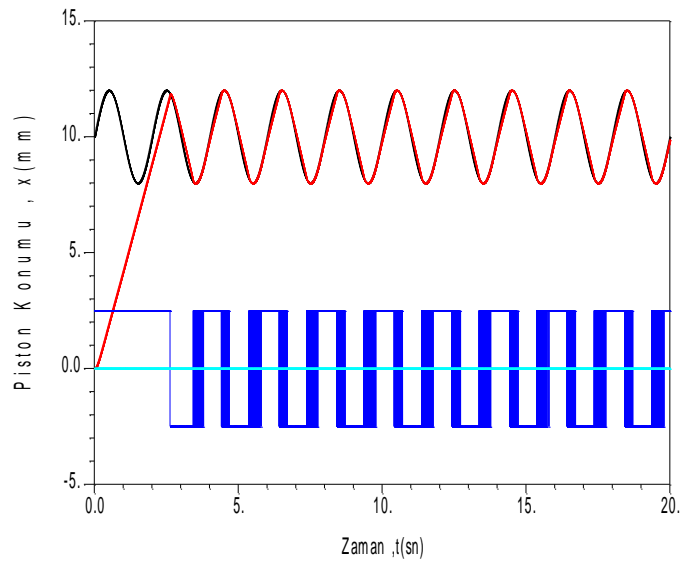
Şekil 5.3.3.2.7. ve **Şekil 5.3.3.2.10.**, sistemin sinüs referans girişlere cevap eğrilerine örnek olarak verilmiştir.



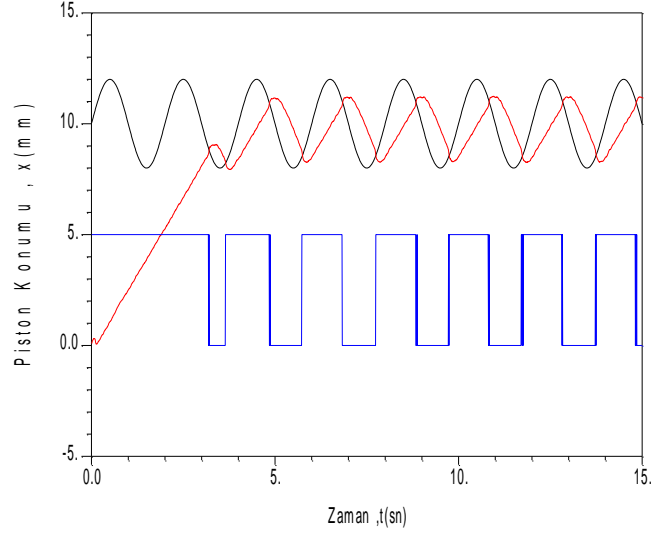
Şekil 5.3.3.2.7.Sistemin Sinüs Referans Girişe Cevabı, (Benzetim) ($\lambda=500000$, $\delta=0.5$; $f=0.3\text{Hz}$)



Şekil 5.3.3.2.8. Sistemin Sinüs Referans Girişe Cevabı, Yüksüz Deney ($\lambda=500000$, $\delta=0.5$; $f=0.3\text{Hz}$)



Şekil 5.3.3.2.9. Sistemin Sinüs Referans Girişe Cevabı, Benzetim ($\lambda=500000$, $\delta=0.5$; $f=0.5\text{Hz}$)



Şekil 5.3.3.2.10.Sistemin Sinüs Referans Girişe Cevabı, (Yüksüz Deney)
($\lambda=500000$, $\delta=0.5$; $f=0.5Hz$)

Şekil 5.3.3.2.7-10.da sistemin 0.5 Hz ve 0.3 Hz deki sinüs referans giriş cevapları gösterilmektedir. Benzetim ve deneysel sonuçlara bakıldığında deneysel sonuçlarda gecikme olduğu görülmektedir. Bu gecikmenin pistonun kütlesi ve pistonun sürtünmelerinden dolayı oluştuğu düşünülmektedir. Frekans arttıkça gecikmede artmış ve piston referansa girişe yetişememiştir.

5.4. Yüklü Sistemin İzleme Özelliği

Deney düzeneği üzerine yapılan eklemelerle pistonun bozucu giriş (yüklü) altında deneyleri yapılmıştır. Bunun için yük olarak kullanılan malzemenin pistonu etki ettiği kuvvet hesabı yapılmıştır. Malzeme 50mm x 50mm kalınlığında dolu çelik malzeme olarak seçilmiş, eğilmesi de 1 mm olarak alınmıştır. Buna göre malzemenin 1 mm esnediğinde pistonu uyguladığı kuvvet aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$I = \frac{b.h^3}{12} = \frac{50^3.50}{12} = 52,0833.10^4 \text{ mm}^4 \text{ yerine konulursa,}$$

$$y_{max} = 1 \text{ mm alınırsa;}$$

$$y_{max} = \frac{P.L^3}{48.E.I} \text{ formülünden F elde edilebilir}$$

$$P = \frac{48.E.I.y_{max}}{L^3} = \frac{48.200.10^3.52,0833.10^4.1}{245^3} = 33.9 \text{ Ton olarak bulunur. Bu formülde}$$

P : Kuvvet

I : Alan atalet momenti

b : Genişlik

h : Yükseklik

L : Mesnetler arası mesafe (bu düzenek için 245mm olarak alınmıştır.)

E : Elastisite modülü

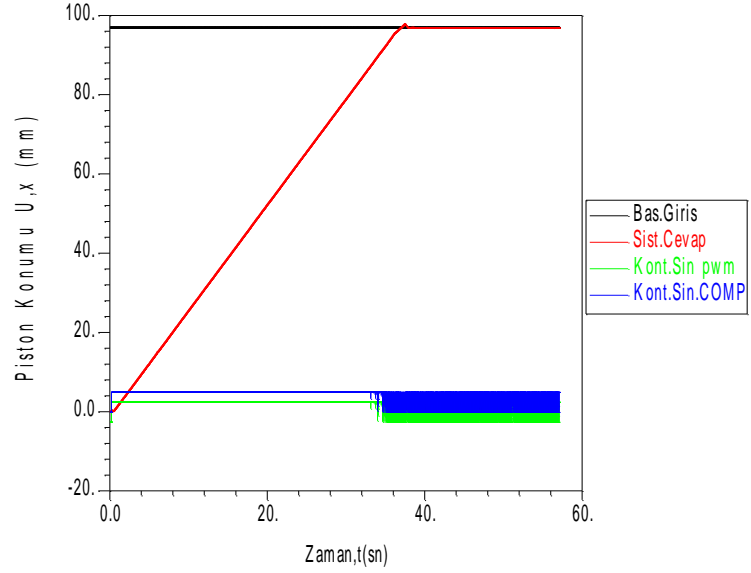
y_{max} : Esneme miktarını temsil eder.

Birim analizi, $\frac{N.mm^4mm^1}{mm^2mm^3} = Newton$

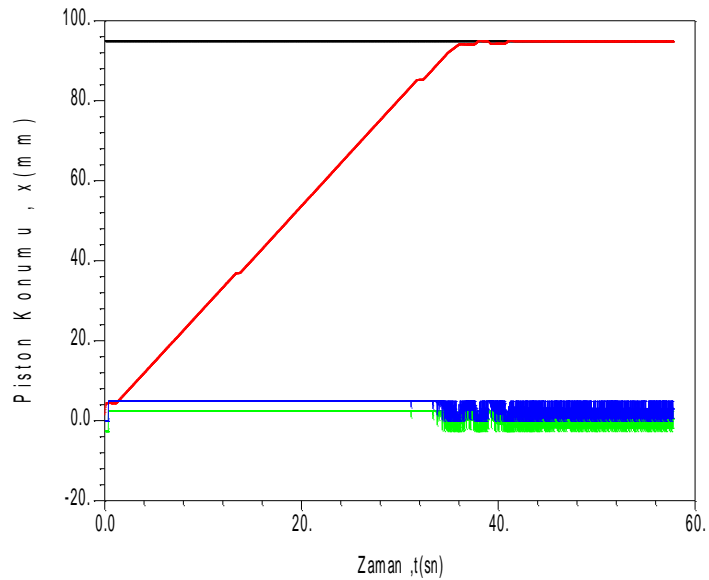


Şekil: 5.4.1. Sisteme Yüknün Bağlanması

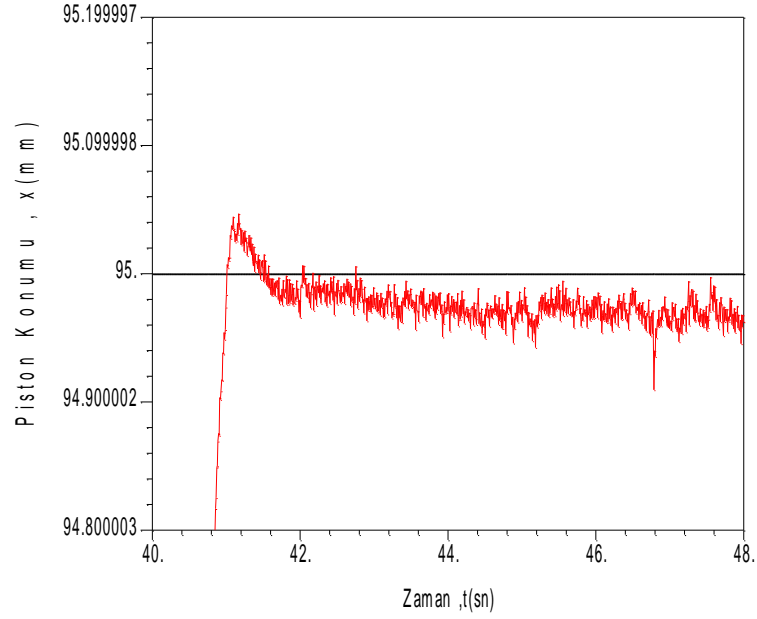
Şekil 5.4.2-4'de , 3/2 kartuş valfli yüklü sistemin SMC kontrüllü basamak referans girişlere girişlere cevap eğrilerine örnek verilmiştir



Şekil 5.4.2. 3/2 Kartuş Valfli Sistemin Yük Altındaki Basamak Referans Girişlere Cevabı Yüklü Deneysel ($\lambda=150, \delta=9.8$)



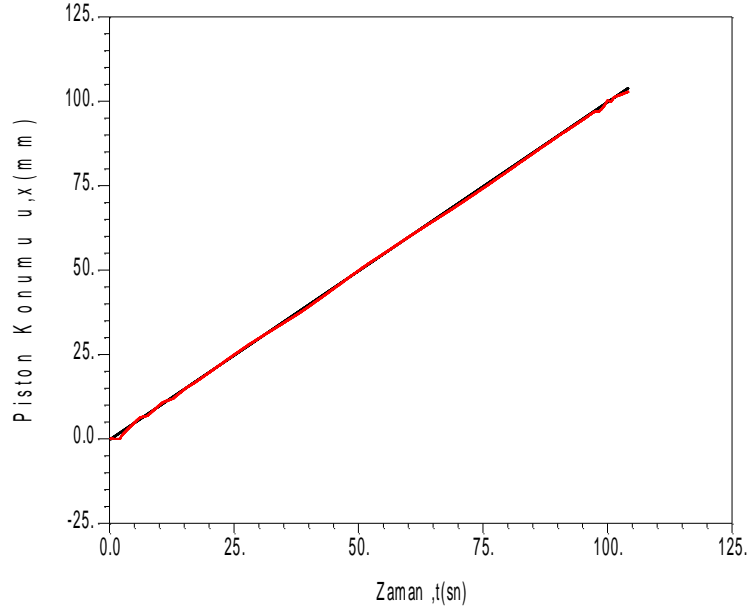
Şekil 5.4.3. 3/2 kartuş valfli sistemin Basamak Referans Girişlere Cevapları Yüklü Deneysel ($\lambda=150, \delta=9.8$)



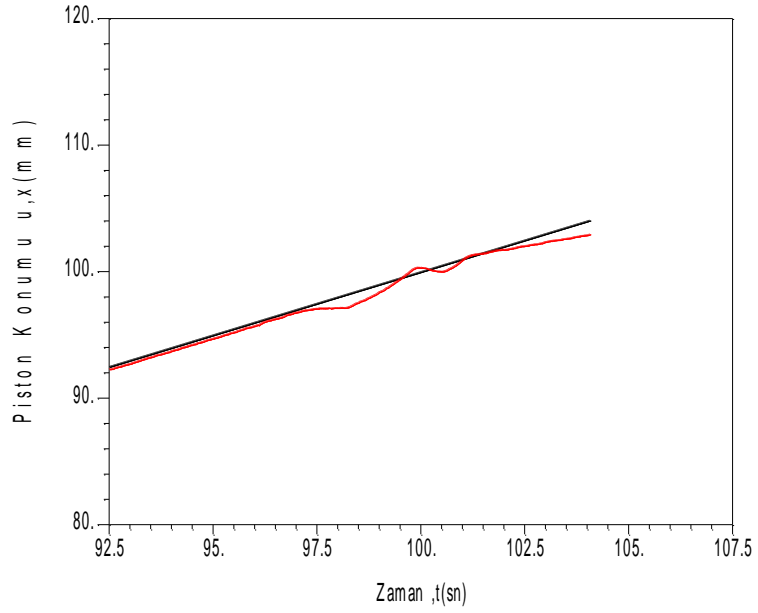
Şekil 5.4.4. 3/2 Kartuş Valfli Sistemin Basamak Referans Girişlere Cevapları Yüklü Deney *Detaylı Görünüm* ($\lambda=150$, $\delta=9.8$)

Şekil 5.4.2-4’de 3/2 kartuş valfli sistemin SMC kontrüllü yük altında basamak referans girişlere cevapları görülmektedir Yüklü deneylerde ,sisteme bağlanan yükün bulunduğu konum, referans basamak girişi olarak kullanılmıştır. Yükle temas eden pistonda ilk etapta geçici hata oluşmuş birkaç saniye sonra kararlı duruma geçmiştir. Kalıcı hata 0.2mm’nin altındadır Ayrıca yük sistemde titreşime neden olmaktadır.

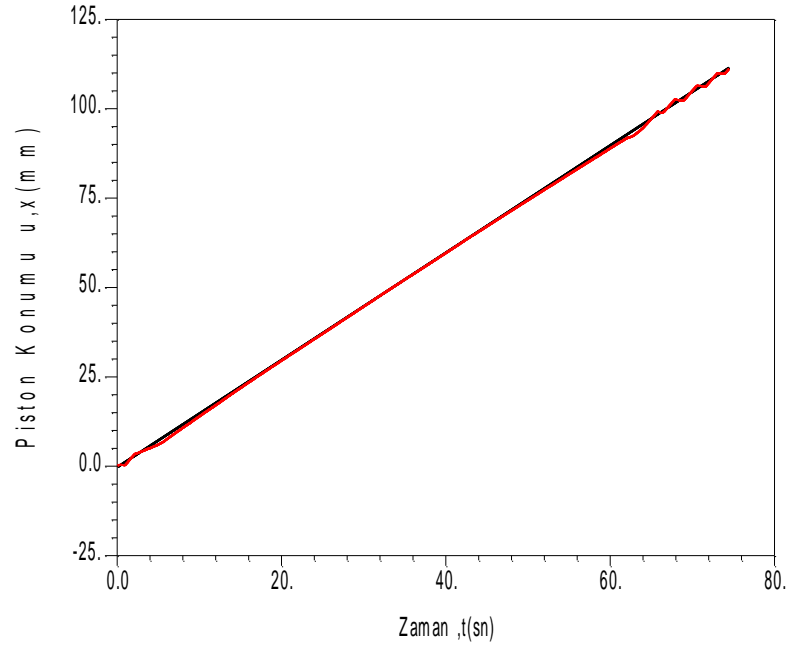
Şekil 5.4. 5-8 3/2 kartuş valfli yüklü sistemin rampa referans girişlere cevap eğrilerine örnek olarak verilmiştir. Sistem SMC ile kontrol edilmiştir



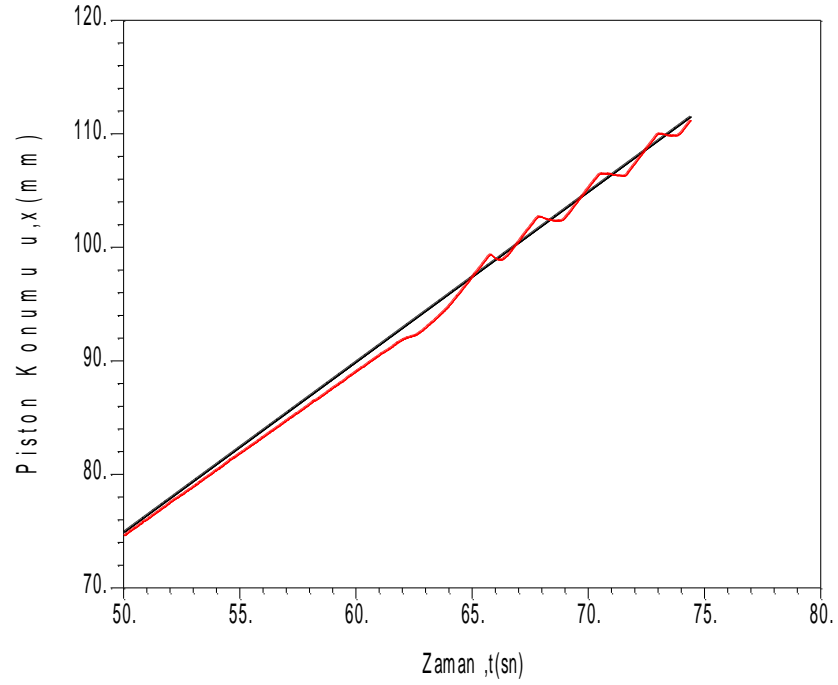
Şekil 5.4.5. 3/2 Kartuş Valfli Sistemin Rampa Referans Girişlere Cevabı Yüklü Deney ($\lambda=150$, $\delta=9.8$, Ar 1)



Şekil 5.4.6. 3/2 Kartuş Valfli Sistemin Rampa Referans Girişlere Cevabı Yüklü Deney Detaylı Görürünüm



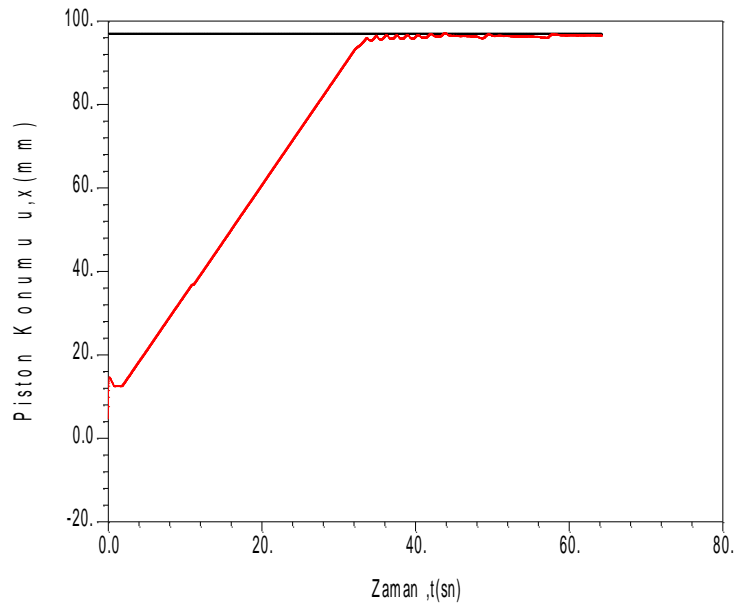
Şekil 5.4.7. 3/2 Kartuş Valfli Sistemin Rampa Referans Girişlere Cevabı Yüklü Deney ($\lambda=150$, $\delta=9.8$, Ar 1,5)



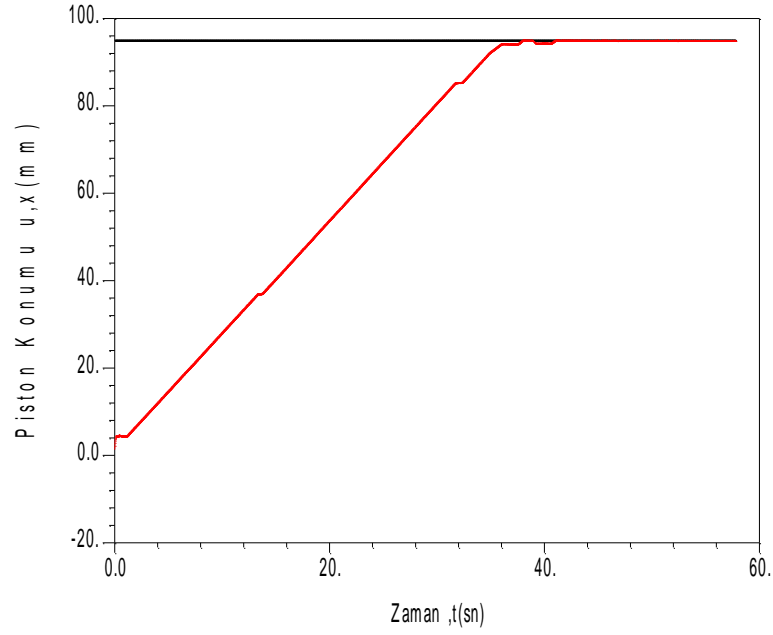
Şekil 5.4.8. 3/2 Kartuş Valfli Sistemin Rampa Referans Girişlere Cevabı Yüklü Deney *Detaylı Görürünü*)Ar 1,5

Rampa Deneylerinde sistem giderek artan bir yük altına girmiştir. Zira 1 mm esnekliğe göre hesaplanan yük değeri 40 ton olurken rampa deneyinde pistonun sürekli ileri hareketi sonucu sistem aşırı yük değerlerine ulaşmıştır. Pistonun yükle buluştuktan sonra yükü eğerek yoluna gitmesi sistemi zorlamış ve kararsızlığa neden olmuştur. Çünkü yükü 5 mm'ye kadar eğmek pistonun üst sınırlarını zorlamıştır. Bu nedenle sistemdeki kalıcı hata oranı artmış. Sistemin yörünge izleme yeteneği azalmıştır.

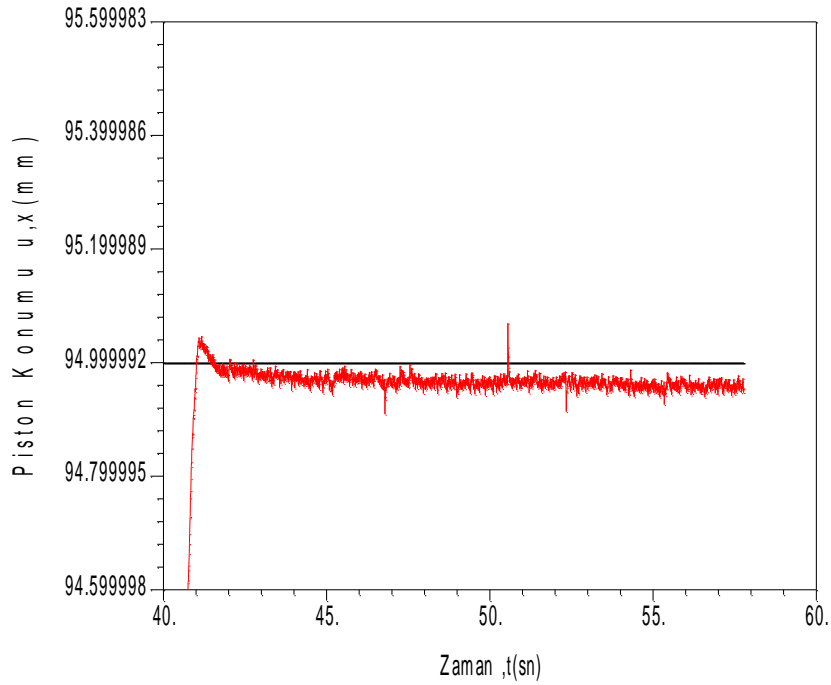
Şekil 5.4.9.-11'de , 3 /2 kartuş valfli yüklü sistemin basamak referans girişlere cevap eğrilerine örnek olarak verilmiştir. Kontrol tekniği olarak PID kullanılmıştır.



Şekil 5.4.9. 3/2 Kartuş Valfli Sistemin Basamak Referans Girişe Cevabı Yüklü Deney (*Yükle buluşma xref:97 mm, ($K_p=12$, $K_i=0,8$, $T_d=0$; $K_w=1$)*)



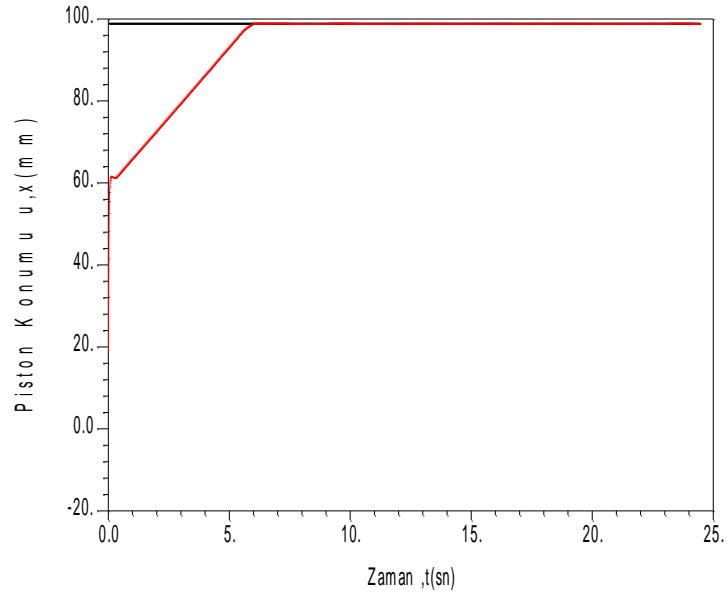
Şekil 5.4.10. 3/2 kartuş valfli Sistemin Basamak Referans Girişe Cevabı Yüklü Deney (Yükle buluşma xref:95 mm), ($K_p=12$, $K_i=0,8$, $T_d=0$; $K_w=1$)



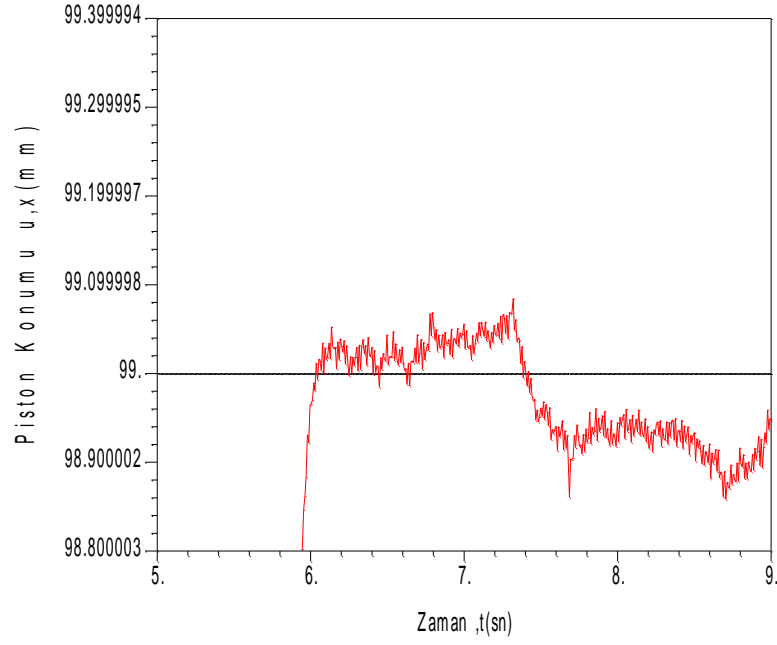
Şekil 5.4.11. 3 3/2 kartuş valfli Sistemin Basamak Referans Girişe Cevabı Detaylı Görünüm (Yükle buluşma xref:95 mm, $K_p=12$, $K_i=0,8$, $T_d=0$; $K_w=1$)

Şekil 5.4.9.-11 grafiklerde PID kontrollü 3/2 kartuş valfli sistemin yüklü durumdaki basamak referans girişe cevapları gösterilmektedir. Bu grafiklerde SMC ye yakın sonuçlar gözlenmiştir. Kalıcı hata 0.1mm'dir. PID kontrolde, piston, referans girişin hata oranı kadar altında kalmıştır. Piston SMC kontrollü sistemde ise referans girişin hata oranı kadar üzerine çıkmıştır. Yükle karşılaştığı anda geçici hata oluşsa da bir iki saniye içinden hata oranı sabitlenip, sistem kararlı duruma gelmiştir. Şekil 5.4.1.10.-12'deki deneylerde yüksüz durumlara yakın sonuçlar gözlenmiştir. Yerleşme zamanı süresince sistemdeki titreşimlerden dolayı bazı bölümlerde kaymalar meydana gelse de yüksüz deneylerle karşılaştırıldığında.(Şekil 6.2.1.2.2) başarılı sonuçlar elde edilmiştir.

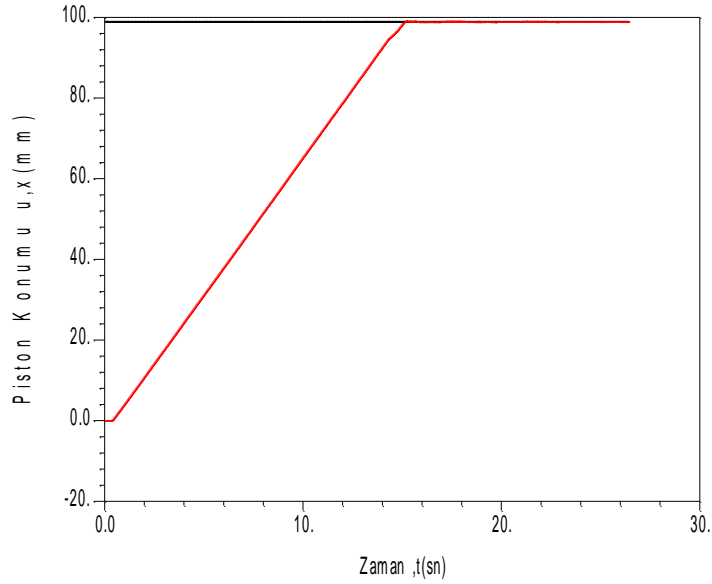
Şekil 5.4.12. deki sonuçlar SMC kontrollü, servovalfli yük altındaki sistemin basamak referans girişlerine verdiği cevapları gösterir.



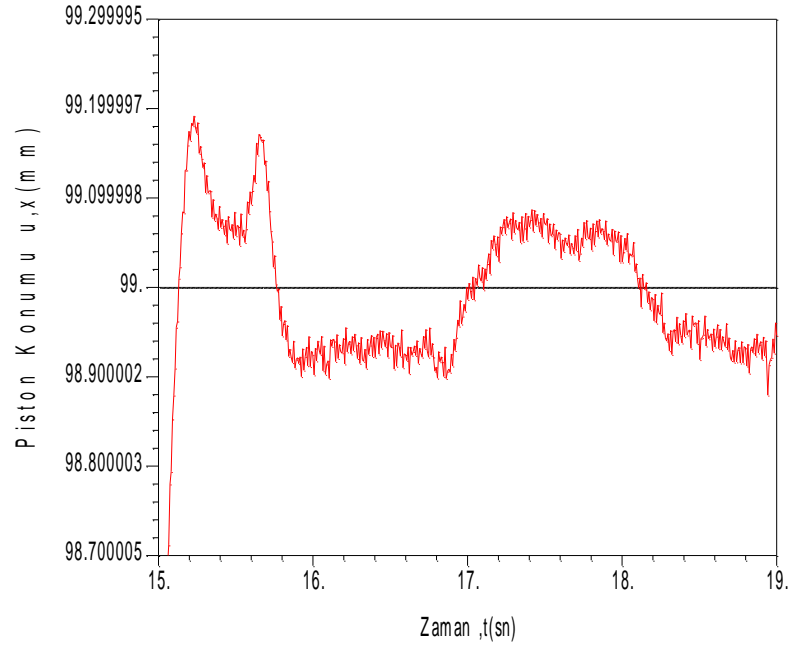
Şekil 5.4.12. Servovalfli Sistemin Basamak Referans Girişlere Cevapları Yüklü Deney ($X_{ref}=99$, $\lambda=5$, $\delta=2$)



Şekil 5.4.13. Servovalfli Sistemin Basamak Referans Girişlere Cevabı Yüklü Deney Detaylı Görünüm ($X_{ref}=99$, $\lambda=5$, $\delta=2$)



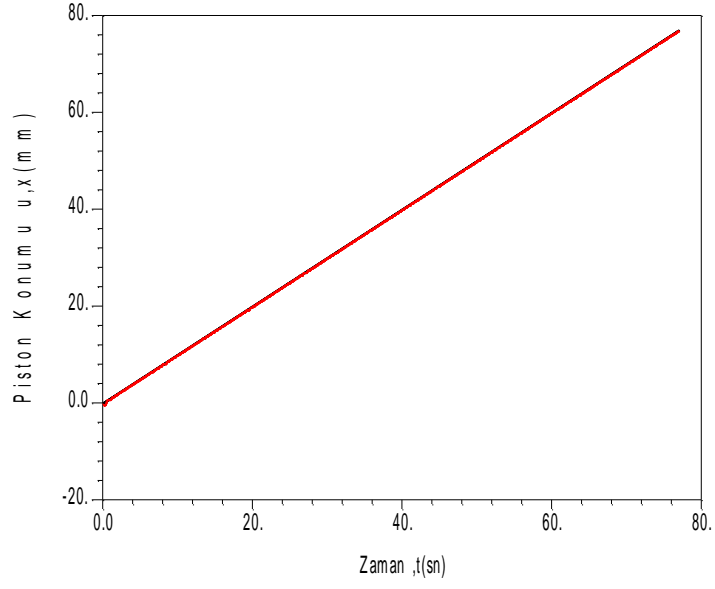
Şekil 5.4.14. Servovalfli Sistemin Basamak Referans Girişlere Cevabı Yüklü Deney ($X_{ref}=98$, $\lambda=5$, $\delta=2$)



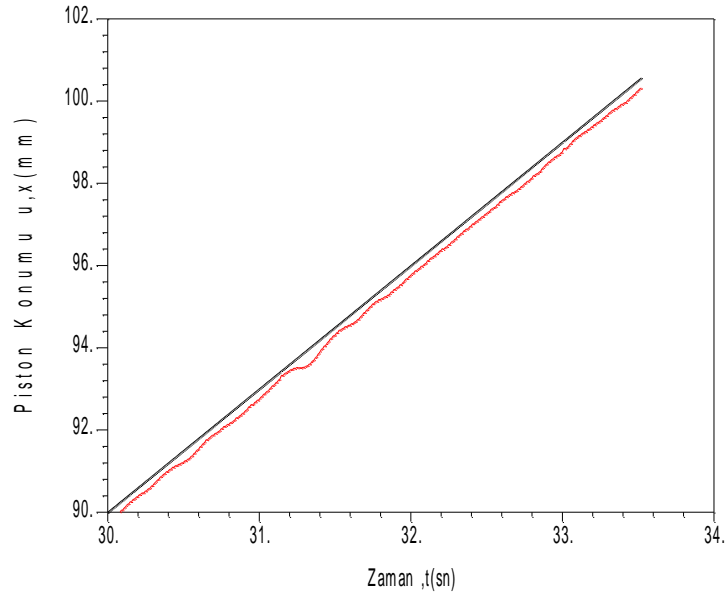
Şekil 5.4.15. Servo valfli Sistemin Basamak Referans Girişlere Cevabı Yüklü Deney Detaylı Görünüm ($X_{ref}=98$, $\lambda=5$, $\delta=2$)

Şekil 5.4.11-14 deki grafikler servovalfli sistemin basamak referans girişlere cevabının yüklü durumda SMC ile kontrolünü göstermektedir. Kalıcı hata yüksüz deneylerdeki gibi 0.1 mm'nin altındadır. Servovalfin yük altında çalışırken kararlılığı bozulmamış ve kalıcı hata oranı artmamıştır. Yük altında 15 saniye boyunca çalışmasına rağmen oluşan hataları kontrolcü düzeltip sistemi istenilen cevaba yaklaştırmıştır. Servovalfli sistemin yüklü ve yüksüz deney sonuçları karşılaştırıldığında, servovalfin yük karşısında çok fazla etkilenmediği kararlılığının bozulmadığı görülmüştür.

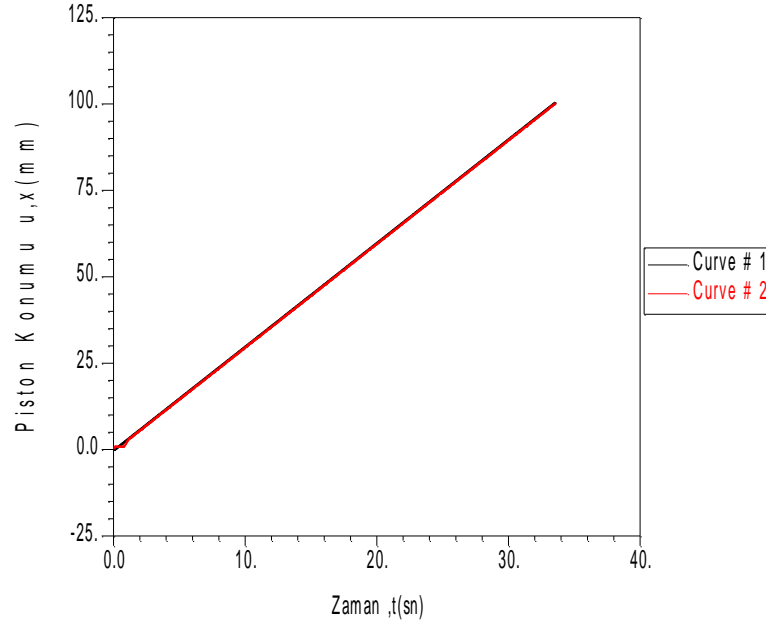
Şekil 5.4.16-18. deki grafiklerde servovalfli SMC kontrollü yüklü sistemin rampa referans girişlere cevapları gösterilmektedir.



Şekil 5.4.16. Sistemin rampa referans girişlere cevabı Yüklü Deney
($A_{ref}=1, \lambda=5, \delta=2$)



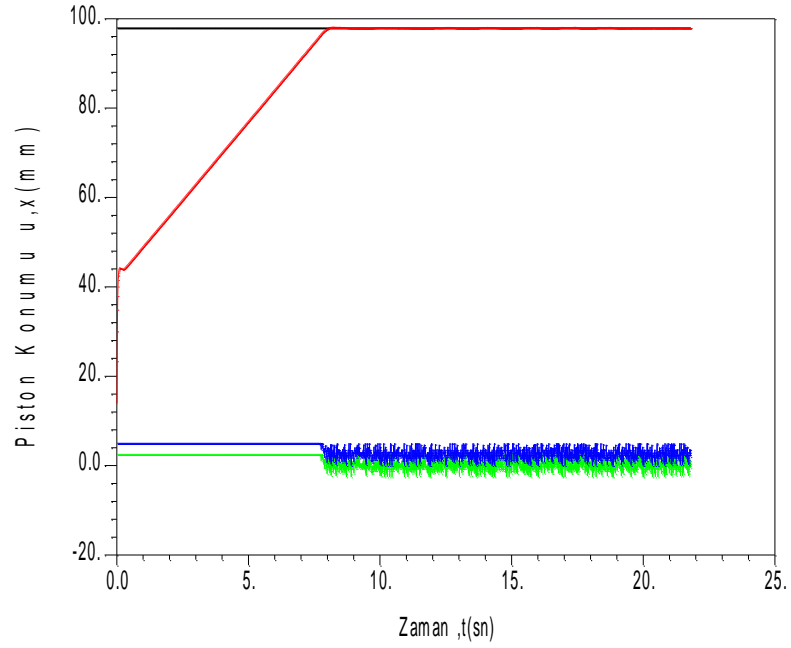
Şekil 5.4.17. Servovalfli Sistemin Rampa Referans Girişlere Cevabı Yüklü Deney
Detaylı Görünüm ($A_{ref}=1, \lambda=5, \delta=2$)



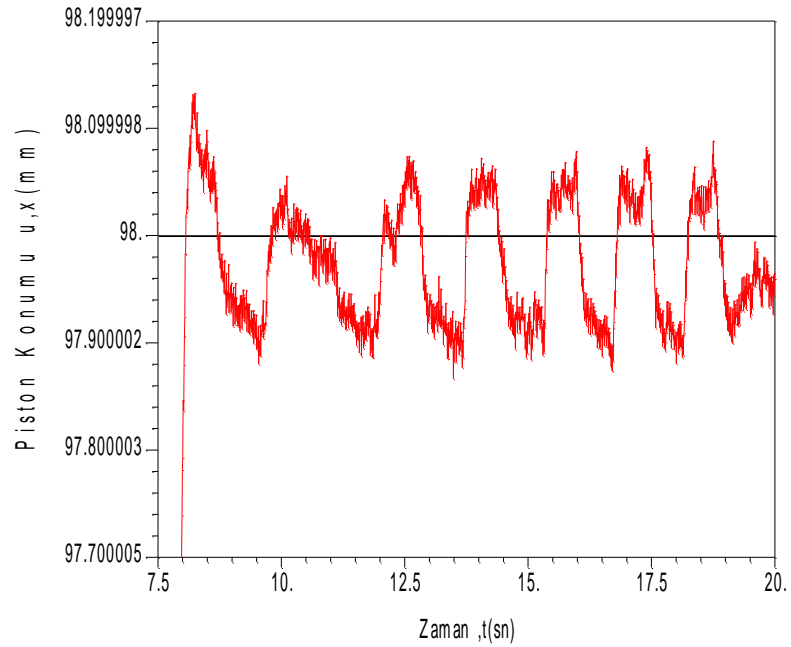
Şekil 5.4.18. Servovalfli Sistemin Rampa Referans Girişlere Cevabı Yüklü Deney ($A_{ref}=2, \lambda=5, \delta=2$)

Şekil 5.4.16-18. de SMC kontrollü servovalfli sistem yük altında gösterilmektedir. Bu deneylerde sistemin rampa referans girişlere cevabının yük altındaki durumu incelenmiştir. Yüksüz deneylerde ulaşılan küçük hatalı kararlı sistem sonuçları yüklü deneylerde de gözlenmiştir. Piston önüne etki eden yüke rağmen kalıcı hatada artma, gecikme veya kararsızlık gibi sonuçlar ortaya çıkmamıştır.

Şekil 5.4.19-20 PID kontrollü servovalfli sistemin yük altındaki basamak referans girişlerine verdiği cevapları gösterir



Şekil 5.4.19. Servovalfli Sistemin Basamak Referans Girişe Cevabı Yüklü Deney
Yükle buluşma $x_{ref}: 98 \text{ mm}$, $(K_p=2,5$, $K_i=0,0004$, $T_d=0,0004$; $K_w=1$)

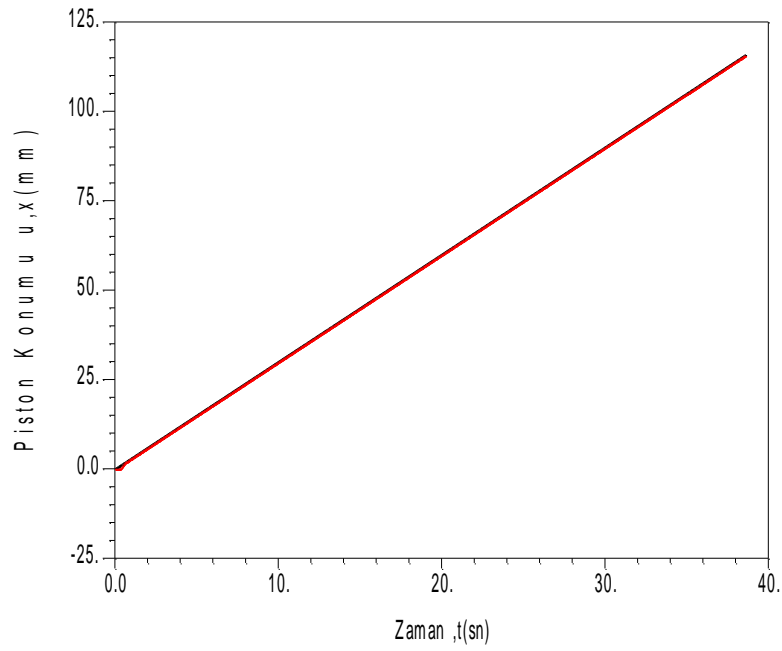


Şekil 5.4.20. Sistemin Basamak Referans Girişe Cevabı (Yüklü Deney) *Detaylı Görünüm*
Yükle buluşma $x_{ref}: 98 \text{ mm}$, $K_p=2,5$, $K_i=0,0004$, $T_d=0,0004$; $K_w=1$

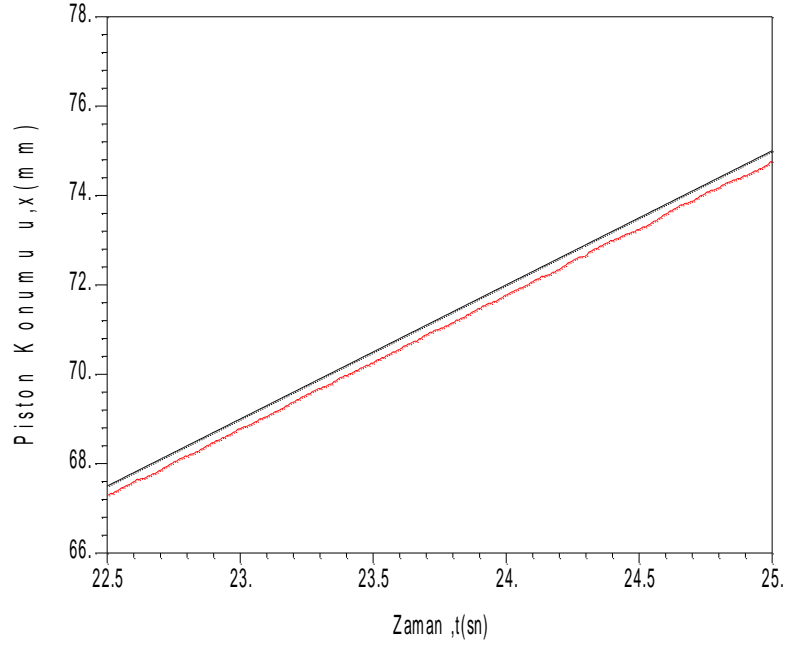
Şekil 5.4.19-20’de PID kontrollü. servovalfli sistemin bozucu yük altında basamak referans girişe cevabı görülmektedir. Yüklü deneylerde olduğu gibi bu deneylerde de

servovalf in kalıcı hatası 0.05 ‘mm altında gerçekleşmiştir. Etki eden bozucu sadece küçük titreşimlere neden olmuştur. Sistem yüksüz durumdaki cevabın hemen hemen aynısını vermiştir.

Şekil 5.4.21-22.deki grafiklerde servovalfli PID kontrollü yüklü sistemin rampa referans girişlere cevapları gösterilmektedir.



Şekil 5.4.21. Servovalfli Sistemin Rampa Referans Girişlere Cevabı Yüklü Deney ($Ar=3$, $K_p=2,5$, $K_i=0,0004$, $T_d=0,0004$; $K_w=1$)



Şekil 5.4.22. Servovalfli Sistemin Rampa Referans Girişlere Cevabı (Yüklü Deney)
Detaylı Görünüm ($A_r=3$, $K_p=2,5$, $K_i=0,0004$, $T_d=0,0004$; $K_w=1$)

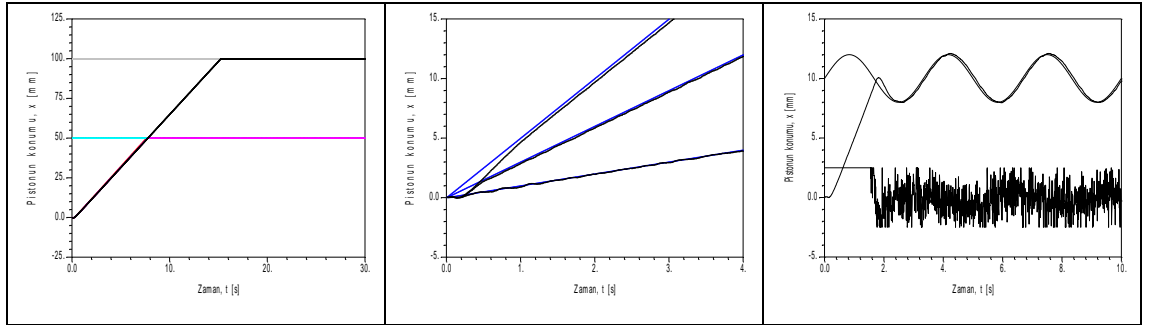
Şekil 5.4.22.'de servovalfli sistemin PID kontrollü yüklü deney grafiği görülmektedir. Sistemin rampa referans girişlere cevabının incelendiği bu deneyde yük pistonun kontrolünde çok fazla bir etkide bulunmamıştır. Diğer yüklü deneylerde olduğu gibi bu deneyde de servovalf kararlı ve düşük hatalı sonuçlar üretmiştir. Kartuş valflerle elde edilen sonuçların da belli bir kalite düzeyine kadar tatmin edici olduğu gözlenmiştir.

6.SONUÇLAR VETARTIŞILMASI

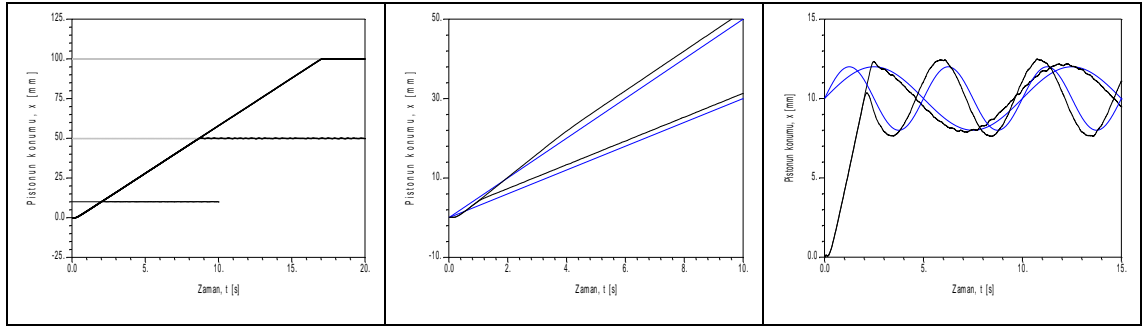
Teorik ve deneysel çalışmalar üç ayrı sistem üzerinde yapılmıştır: i)Servovalfli sistem, ii) iki yollu iki konumlu (2/2) kartuş valfli sistem, ii) üç yollu iki konumlu (3/2) kartuş valfli sistem. Deneysel çalışmalarda en uygun darbe eni modülasyon frekansının 5000 Hz civarında olduğu görülmüş olup, kartuş valfli sistemlerle ilgili tüm sonuçlar bu frekansta elde edilmiştir.

Teorik ve deneysel çalışmalar sırasında, kayan kipli kontrolde birinci mertebeden $s = \dot{e} + \lambda e$ kayma yüzeyi ve $u = -M_0 \tanh(s/\delta)$ kontrol sinyali kullanılmıştır. Tırlamayı azaltmak için, $\text{sgn}(s)$ işaret fonksiyonu yerine kayma yüzeyinin $\pm\delta$ yakınlığında sürekli kontrol sinyali oluşturmak için $\tanh(s/\delta)$ tanjant hiperbolik sigmoid yumuşatma fonksiyonu kullanılmıştır [11].

Servovalfli kontrol sisteminin basamak, rampa ve sinüs referans girişlerine cevap eğrileri, PID kontrol için Şekil 6.1 'de kayan kipli kontrol (SMC) için Şekil 6.2 'de örnek olarak verilmektedir.

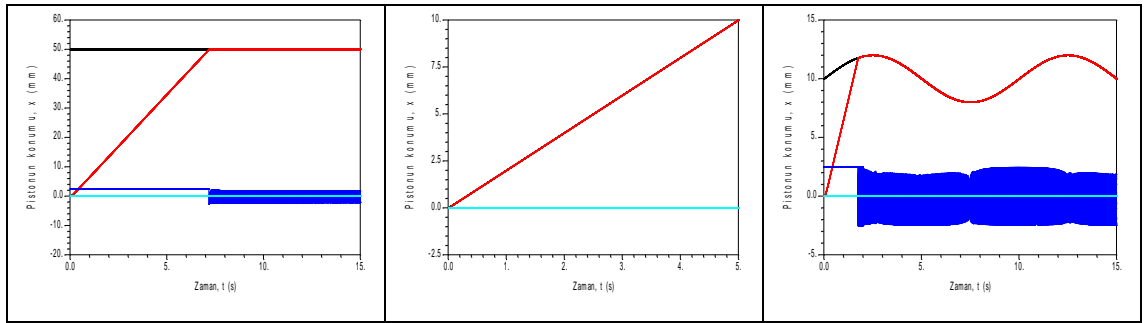


Şekil 6.1. Servovalfli kontrol sisteminin referans girişlere cevap eğrileri (PID, Deneysel) ($K_p=2.5, K_i=0.0001, T_d=0.0001; K_w=0.0001; A_r=1, 3, 5$ mm/s, $f=0.3$ HZ)

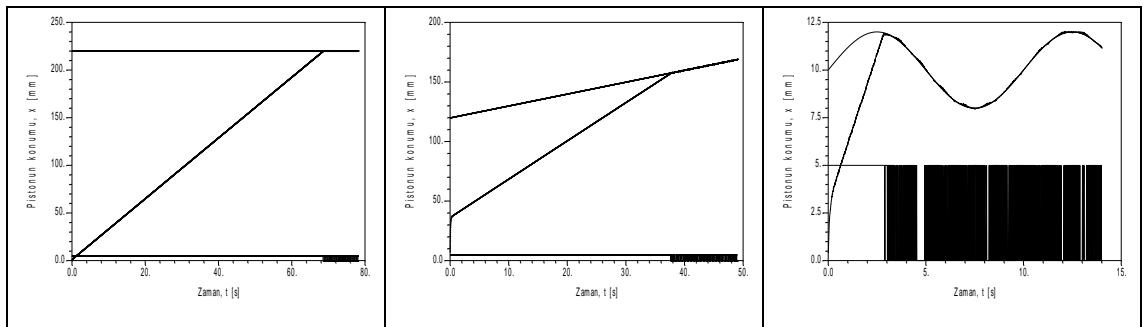


Şekil 6.2. Servovalfli kontrol sisteminin referans girişlere cevap eğrileri (SMC, *Deneysel*) ($\lambda=5$, $\delta=2$; $A_r=3$, 5 mm/s, $f=02$, $0.3Hz$)

2/2 kartuş valfli kontrol sisteminin basamak, rampa ve sinüs referans konum girişlerine cevap eğrileri kayan kipli kontrol (SMC) için (benzetim ve deney sonuçları) Şekil 6.3. ve Şekil 6.4.de örnek olarak verilmektedir.



Şekil 6.3. 2/2 kartuş valfli kontrol sisteminin referans girişlere cevap eğrileri (SMC, *Benzetim*) ($\lambda=7770$, $\delta=3$; $A_r=2$, $f=0.1$ Hz)

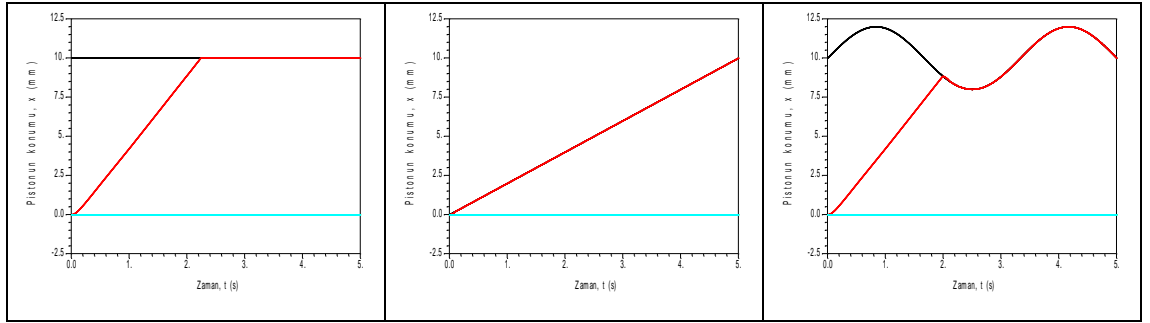


Şekil 6.4. 2/2 kartuş valfli kontrol sisteminin referans girişlere cevap eğrileri (SMC, *Deneysel*) ($\lambda=7770$, $\delta=3$; $A_r=2$, $f=0.1$ Hz)

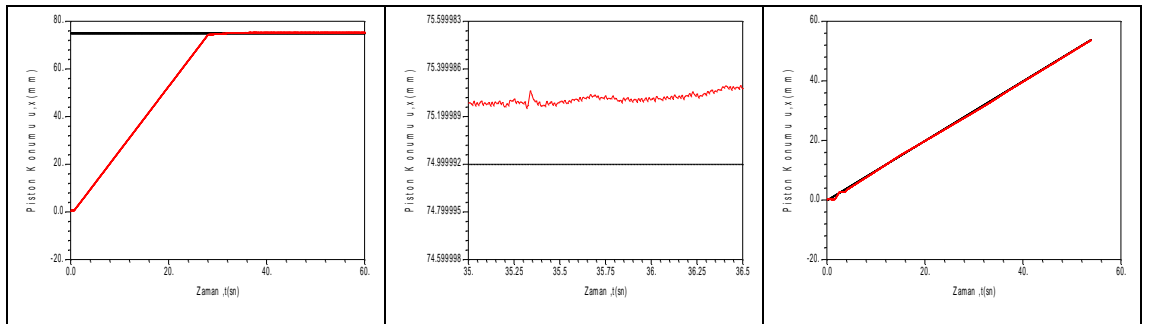
Deneysel çalışmalarda, servovalfli sistemin basamak, rampa ve sinüs girişlere cevap eğrilerinde kalıcı hata değerleri genelde 0.05 mm' nin altında gerçekleşmiş, beklenildiği gibi çok kararlı ve düzgün bir kontrol gözlenmiştir.

2/2 kartuş valfli sistemin deneysel basamak cevaplarının, 0.1-0.2 mm arasında kalıcı hata değerlerine sahip olduğu, bazen 0.3 mm kadar hatanın gözlendiği; rampa ve sinüs cevap eğrilerinin ise servovalfe göre nispeten daha titreşimli olduğu gözlenmiştir.

3/2 kartuş valfli kontrol sisteminin basamak, rampa ve sinüs referans konum girişlerine cevap eğrileri kayan kipli kontrol (SMC) için Şekil 6.5 ve Şekil 6.6'da örnek olarak verilmektedir.



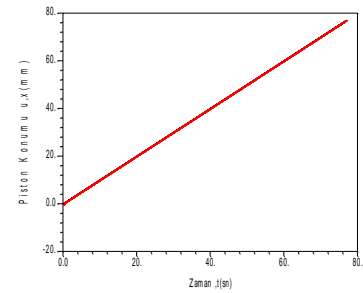
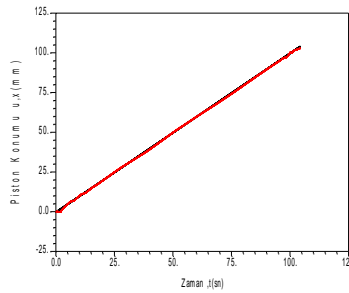
Şekil 6.5. 3/2 kartuş valfli kontrol sisteminin referans girişlere cevap eğrileri (SMC, *Benzetim*) ($\lambda=7770$, $\delta=3$; $A_r=2$, $f=0.1$ Hz)



Şekil.6.6: 3/2 kartuş valfli kontrol sisteminin referans girişlere cevap eğrileri (SMC, *Deneysel*) ($\lambda=150$, $\delta=9.8$; $A_r=2$; ortadaki şekilde kalıcı hata detaylı görülmektedir)

Bozucu kuvvet girişi (dış yük) uygulanmaksızın yapılan deneysel çalışmalarda, basamak referans girişe cevaplarda aşmasız ve 0.1-0.2 mm kalıcı konum hatası, rampa girişe cevaplarda 0.2-0.3 mm dinamik hata, sinüs girişlere cevaplarda 0.3 Hz 'e kadar 0.3 mm izleme hatası titreşimli olarak elde edilebilmiştir.

Kapalı çevrim sistemin yük altında izleme kabiliyetini deneyebilmek için basit mesnetli bir kiriş yay yükü olarak deney düzeneğine eklenmiştir (Şekil 15). Bu amaçla, 50x50 mm kesitli kare profil çelik malzemeden oluşan kirişin mesnet açıklığı, sehim yapması durumunda yaklaşık 40 ton tepki kuvveti (bozucu kuvvet girişi) oluşacak şekilde belirlenmiştir. Kapalı çevrim sistemin bozucu giriş (yük) altında standart referans girişler ile çokça deneyleri yapılmış olup, 3/2 kartuşlu valfli ve servovalfli sistemin kayan kipli kontrolleri durumunda rampa referans girişlere cevap eğrileri örnek olarak Şekil 6.7 'de verilmiştir.



a) Deney düzeneği
(Basit mesnetli kiriş ile yüklü)

b) 3/2 kartuş valfli sistem
($\lambda=150, \delta=9.8; A_r=1$; max. 40 ton)

c) Servovalfli sistem
($\lambda=5, \delta=2; A_r=1$; max. 40 ton)

Şekil 6.7. Yüklü deney düzeneği ve sistemlerin rampa girişlere cevap eğrileri (SMC, *Deneysel*)

Bozucu kuvvet girişi (dış yük) uygulanarak yapılan deneysel çalışmalarda, basamak ve rampa referans girişlere sistemin cevaplarında, yüksüz sisteme yakın hatta bir miktar az titreşim gözlenmiştir. Yüklü sistem durumunda piston milinin serbest uçlu olmamasının davranışlarda olumlu etki yaptığı düşünülmektedir. Gerçek sistem parametreleri deneysel olarak belirlenmiş ve bu parametrelerle benzetim çalışmaları

yapılmıştır. Aynı şartlarda elde edilen benzetim ve deney sonuçlarının birbiri ile yeterince tutarlı olduğu görülmüştür. Böylece, geliştirilen matematiksel modellerin doğrulama işlemi de gerçekleştirilmiştir. Deneyler sırasında özellikle kartuş valflerle çalışmalar sırasında karşılaşılan en büyük problemin yağın ısınması olduğu gözlenmiştir. Hidrolik güç ünitesi soğutucusuz olduğundan belli aralıklarla yağın soğuması için beklenilmiştir, iyi bir soğutucu ile bu problemin aşılacağı görüşüne varılmıştır. Diğer önemli problem ise, kartuş valfli sistemlerin servovalfli sisteme göre nispeten daha titreşimli çalışma durumudur. Ne kadar tedbir alırsa alınsın, aç/kapa türü çalışmanın doğası gereği, titreşim belli bir düzeyin altına indirilememektedir.

6.SONUÇ

Bu çalışma kapsamında, yüksek maliyetli servovalf yerine düşük maliyetli aç/kapa kartuş valfler kullanılarak darbe eni modüleli kayan kipli kontrol ile bir elektrohidrolik sistemin konum kontrolü ele alınmıştır. Yeni teknolojik bileşenler ve gelişmiş bir kontrol tekniği kullanılarak, servovalfle elde edilen çıktı kalitesine yaklaşılmaya çalışılmıştır.

Tekniğin kullanılabilirliğinin derecesini ortaya koymak için çok sayıda benzetim ve deney yapılmış, servovalf ve kartuş valflerle elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Yapılan deneysel çalışmalarda, basamak referans girişe cevaplarda aşmasız ve 0.1-0.2 mm kalıcı konum hatası, rampa girişe cevaplarda 0.2-0.3 mm dinamik hata, sinüs girişlere cevaplarda 0.3 Hz 'e kadar 0.3 mm izleme hatası nispeten titreşimli olarak elde edilebilmiştir.

Kartuş valflerle çalışmada yağın biraz daha çabuk ısınması probleminin soğutuculu hidrolik güç ünitesi ile aşılabileceği düşünülmektedir. Kartuş valfli sistemlerde, titreşimin belli bir düzeyin altına indirilememesi, ne kadar donanımsal ve yazılımsal tedbirler alınırsa alınsın, aç/kapa türü kontrolün doğası gereği normaldir. İleride, gelişen solenoid motor teknolojisi ile birlikte, yüksek debili ve hem de çok daha hızlı aç/kapa valfler geliştirildiğinde servovalfli kontroldeki gibi daha hassas sonuçlar elde edebilmek mümkün olabilecektir.

Sonuç olarak, çalışma ile, yeni teknoloji bileşenler kullanılarak, kartuş valflerle kayan kipli kontrolün endüstrideki birçok sisteme, belli bir kalite düzeyine kadar, servo kontrol amaçlı uygulanabileceği ve avantajınınsa çok düşük maliyet olacağı karşılaştırılmalı teyit edilmiştir.

KAYNAKLAR

1. Younghuh,J; ve Wennmacher, G;Sliding Mode Control Of Electro-Hydraulic Servo system Using High Speed On OffValves 1998
2. Sárosi,J; Gyeviki, J; Véha, A; ve Toman,P; Accurate Position Control of PAM Actuator in Lab VIEW Environment, IEEE, SISY '09. 7th Int. Symposium on Intelligent Systems and Informatics, pp. 301 – 305, 2009.
3. Kangwu, Z;Linyi,G;Yuanjie, C; ve Wei,L.;High Speed On/Off Valve Control Hydraulic Propeller, Chinese Journal of Mechanical Engineering, 25(3) pp 463-473 ,Mayıs, 2012.
4. Muto,T; Yamada, H; veTsuchiya, S;A Precision Driving System Composed of a Hydraulic Cylinder and High-Speed ON/OFF Valves, Proceedings of the 49th National Conference on FluidPower, Mart 19-21, 2002, LasVegas, Nevada, ABD, pp. 627-638.
5. Shao-jun, L; Mei-shenk,Z; ve Jun-feng,Z; Optimal Control of Hydraulic Position System Employing High Speed On Off Solenoid valve, J. Cent. South Univ. Technology, 7(1), Mart 2000.
6. David T. Branson III, Jhon H. LumkesJr, Kitti Wattananithipornand Frank J. Fronczak.,Simulated And Experiment Results For A Hydraulic Actuator Controlled By Two Highs Peed On/Off Solenoid Valves, International Journal of FluidPower, 2008, 9(2): 47–56.
7. Šitum, Z; Žilić, T; ve Essert, M; High Speed Solenoid Valves in Pneumatic Servo Applications, 2007 Mediterranean Conference on Control and Automation, 27-29 Temmuz 2007, Atina.,Yunanistan
8. Yazıcı, Ş; Servo Valfler Özellikleri Ve Bakımı, III. Ulusal Hidrolik Pnömatik Kongresi ve Sergisi, 4-7 Aralık 2003, İzmir, 193-219.
9. Yüksel,İ;Şengirgin,M; Elektrohidrolik Valflerin Gelişimi ve Karakteristiklerinin İncelenmesi” II. Ulusal Hidrolik Pnömatik Kongresi ve Sergisi, 8-11 Kasım 2001, İzmir, 265-280.
10. Faruk Kartal Kişisel Web Sitesi ,
http://www.farukkartal.com/dosya_indirme/makaleler/kartus_valfler_2.doc
11. Kalaycı,M.Buğrahan;Kayan Kipli Kontrol Tekniklerinin Teorik Ve Deneysel Olarak İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Bozok Univ. FBE, 2012, Yozgat.
12. MOOG Inc., (2015), MOOG D633 Servovalf, URL:
http://www.moog.com/literature/ICD/Moog-Valves-D633_D634-Catalog-en.pdf

13. Sun Hydraulics Inc., (2015), Solenoid operated cartridge valves, URL: http://www.sunhydraulics.com/sites/default/files/media_library/tech_resources/UKSCsolenoid.pdf
14. Dedeoğlu, S; ve Yiğit, İ; (2014), Elektrohidrolik Bir Sistemin Darbe Eni Modüleli Kayan Kipli Kontrolü, BAP Sonuç Raporu (Proje Kodu:2014SBE/T79), Bozok Üniv. BAP Birimi, Yozgat.
15. http://downloadt.advantech.com/ProductFile/PIS/PCL-818HG/Product%20-%20Datasheet/PCL-818HG_DS20110314183025.pdf
16. http://www.gefran.com/en/product_categories/267-long-
17. Keleş, Ö: ve Ercan, Y; Puls Genişliği Modülasyonlu Elektrohidrolik Bir Servo Sisteminin Deneysel İncelenmesi ,Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. Cilt 19, No 1, 107-117, 2004
18. Kalaycı, M.B.,ve Yiğit, İ., "Pratikte Kullanılan Bazı Kayan Kipli Kontrol Tekniklerinin Teorik Ve Deneysel İncelenmesi", J. Fac. Eng. Arch. Gazi Univ., Vol 30, No 1, pp. 131-142, 2015.
19. A.Çağdaş SEÇKİN, <http://acseckin.blogspot.com.tr/2013/12/op-ampl-pwm-ureteci.html>
20. Onur Öçalın kişisel web sayfası, <http://ocalanonur.com/2011/12/26/pwm-pulse-width-modulation-nedir-matlab-simulink-pwm-generator/>

EKLER

EK-1: Servovalfin Teknik Özellikleri [12]

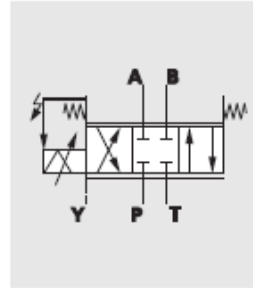
GENERAL TECHNICAL DATES, SYMBOLS

D633-D634

PERFORMANCE SPECIFICATIONS FOR STANDARD MODELS

Operating pressure range	
Ports P, A and B	up to 350 bar (5000 psi)
Port T	see data for individual series
Temperature range	
Ambient	-20 °C to +60 °C (-4°F to +140°F)
Fluid	-20 °C to +80 °C (-4°F to +170°F)
Seal material	
	NBR, FPM, others on request
Operating fluid	
	mineral oil based hydraulic fluid (DIN 51524, part 1 to 3), others on request
Viscosity	
recommended	15 to 100 mm ² /s
allowed	5 to 400 mm ² /s
System filtration	
High pressure filter (without bypass, but with dirt alarm) mounted in the main flow and if possible directly upstream of the valve.	
Class of cleanliness	
The cleanliness of the hydraulic fluid particularly effects the performance (spool positioning, high resolution) and wear (metering edges, pressure gain, leakage) of the servo valve.	
Recommended cleanliness class	
For normal operation	ISO 4406 < 15 / 12
For longer life (wear)	ISO 4406 < 14 / 11
Filter rating recommended	
For normal operation	B ₁₀ ≥ 75 (10 µm absolute)
For longer life (wear)	B ₆ ≥ 75 (6 µm absolute)
Installation options	
	any position, fixed or movable
Vibration	30 g, 3 axes
Degree of protection	EN60529: class IP 65 with mating connector mounted
Shipping plate	Delivered with an oil sealed shipping plate

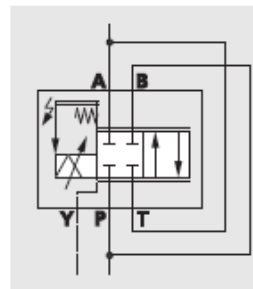
4-WAY FUNCTION



4-way version
spring centred

- Flow control (throttle valve) in port A and port B
- Port Y required if pressure p_r > 50 bar (715 psi) in port T
- for 3-way function close port A or port B of the manifold
- Spools with exact axis cut, 1,5 to 3 % or 10 % overlap available

2X2-WAY FUNCTION



2x2-way version
(Y-Port required)

- Flow control (throttle valve) in port A
- Port Y required
- Connect externally port P with port B, and port A with port T

VALVE FLOW CALCULATIONS

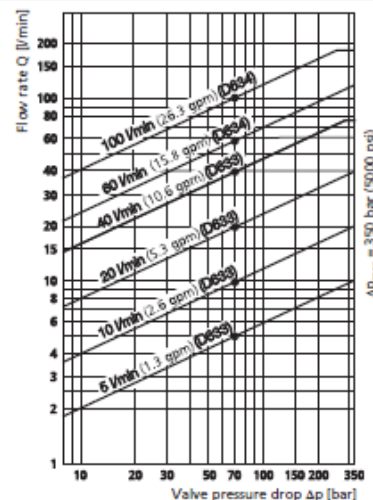
The actual valve flow is dependent on the spool position and the pressure drop across the spool lands.

At 100% command signal (i.e. +10 VDC = 100% valve opening) the valve flow at rated pressure drop Δp_N = 35 bar per metering land is the rated flow Q_N. For other than rated pressure drop the valve flow changes at constant command signal according to the square root function for sharp edged orifices.

$$Q = Q_N \sqrt{\frac{\Delta p}{\Delta p_N}}$$

Q	[l/min]	=	calculated flow
Q _N	[l/min]	=	rated flow
Δp	[bar]	=	actual valve pressure drop
Δp _N	[bar]	=	rated valve pressure drop

The real valve flow Q calculated in this way should result in an average flow velocity in ports P, A, B or T of less than 30 m/s.



TECHNICAL DATA

D633

PERFORMANCE SPECIFICATIONS FOR STANDARD MODELS

Model . . . Type		D633
Mounting pattern with or without leakage port Y ¹⁾		ISO 4401-03-03-0-94
Port diameter	mm (in)	7.9 (0.31)
Valve version ²⁾		Single stage, spool in bushing 3-way, 4-way, 2x2-way
Spool actuation		directly, with permanent magnet linear force motor
Pilot supply		none
Mass	kg (lb)	2.5 (5.5)
Rated flow ($\pm 10\%$) at $\Delta p_N = 35$ bar per land	l/min (gpm)	5 / 10 / 20 / 40 (1.3 / 2.6 / 5.3 / 10.6)
Max. valve flow	l/min (gpm)	75 (19.8)
Operating pressure max.		
Ports P,A,B	bar (psi)	350 (5000)
Port T ohne Y	bar (psi)	50 (715)
Port T mit Y	bar (psi)	350 (5000)
Port Y	bar (psi)	directly to tank
Response time for 0 to 100% stroke, typical	ms	≤ 12
Threshold ¹⁾	%	< 0.1
Hysteresis ¹⁾	%	< 0.2
Null shift ¹⁾ with $\Delta T = 55$ K	%	< 1.5
Null leakage flow ¹⁾ max. (axis cut)	l/min (gpm)	0.15 / 0.3 / 0.6 / 1.2 (0.04 / 0.08 / 0.16 / 0.32)

1) At operating pressure $p_p = 140$ bar (2000psi), fluid viscosity of 32 mm²/s (0.05 in²/s) and fluid temperature of 40 °C (104° F)

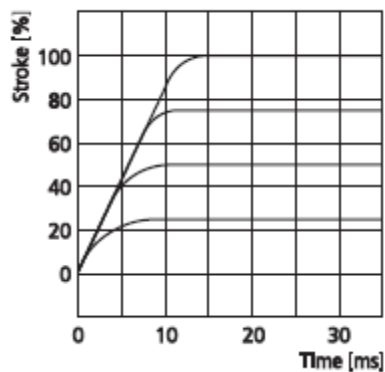
2) See symbols page 4

3) Leakage port Y must be used

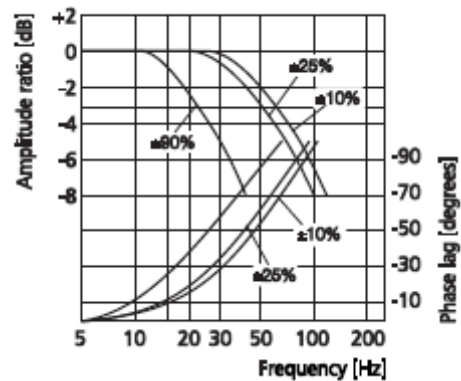
□ with 3- and 4-way function and $p_1 > 50$ bar (715psi)

□ with 2x2-way function

Step response



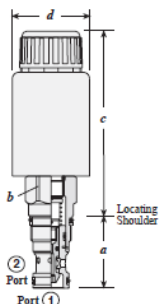
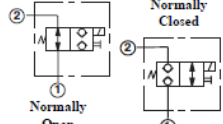
Frequency response



EK-2:2/2 Kartuş Valflerin Teknik Özellikleri[13]

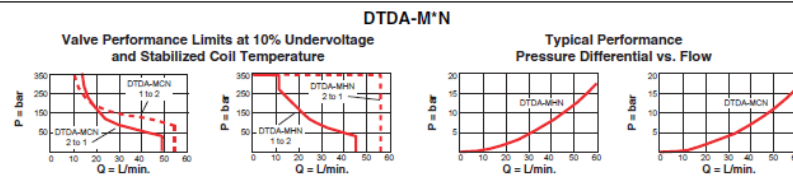
Solenoid Operated Cartridge Valves

DIRECT ACTING, 2-POSITION, 2-WAY POPPET DIRECTIONAL VALVE

Nominal Capacity	Typical Cartridge Model Code	Cavity	Cartridge Dimensions				Installation Torque (Nm)
			a	b	c	d	
40 L/min.	DTDA - MHN	T - 13A	34,9	22,4	90	38	40/50

Performance Curves



- Maximum operating pressure = 350 bar**
- Maximum Leakage at 32 cSt = 10 drops/min.
- Switching frequency = 15000 cycles/hr.
- Proper installation of solenoid valves requires an extra deep socket to clear the solenoid tube. Sockets are available from Snap On tools (P/N SIML280) or Sun Hydraulics (P/N 998-100-006). See www.sunhydraulics.com for details.

** For valves produced before January 1, 2004 (date code A041), the maximum operating pressure is 350 bar at port 2 and 250 bar at port 1. NOTE: While the valve will operate reliably with pressures up to 350 bar at Port 1, solenoid tube fatigue life is reduced.

OPTION ORDERING INFORMATION Model Codes printed in Red are Preferred Versions and most readily available

DTDA - * * * - * * *

<p>Nominal Capacity</p> <p>D 40 L/min.</p>	<p>Control</p> <p>M Manual Override</p> <p>X No Manual Override</p>	<p>Spool Configuration</p> <p>H Normally Open</p> <p>C Normally Closed</p>	<p>Coil Configuration*</p> <p>ISODIN</p> <p>212 12 VDC</p> <p>224 24 VDC</p> <p>211 115 VAC</p> <p>223 230 VAC</p> <p>AMP® Junior Timer</p> <p>612 12 VDC</p> <p>624 24 VDC</p> <p>Twin Lead</p> <p>712 12 VDC</p> <p>724 24 VDC</p> <p>Deutsch</p> <p>912 12 VDC</p> <p>924 24 VDC</p> <p>948 48 VDC</p> <p>Metri-Pack</p> <p>812 12 VDC</p> <p>824 24 VDC</p> <p>Twin Spade</p> <p>524 24 VDC</p>
		<p>Seal</p> <p>N Buna-N</p> <p>V Viton</p>	

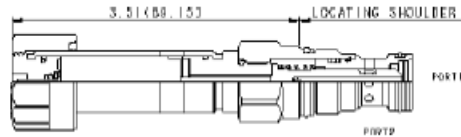
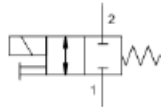
Power (Watts) = 22
 Operating Voltage Tolerance = ± 10%
 Typical response Time (ms) = 50

* See page 167 for Solenoid Connector Options

Visit www.sunhydraulics.com for detailed and complete technical information on our full line of products.

MODEL
DL DAMCN

2-way, solenoid-operated directional spool valve
CAPACITY: 12 gpm | CAVITY: T-13A



CONFIGURATION

M	Control	Manual Override
C	Spool Configuration	Normally Closed
N	Seal Material	Buna-N
(none)	Coil	No coil

NOTES

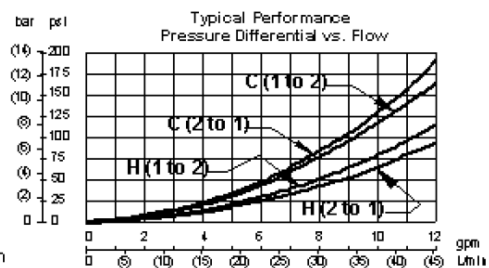
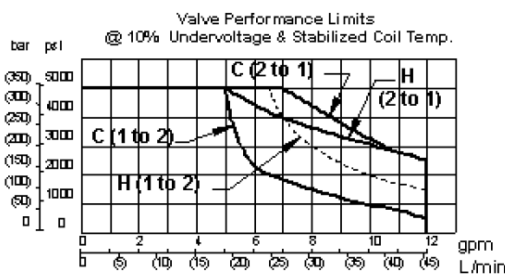
Please verify cartridge clearance requirements when choosing a Sun manifold. Different valve controls and coils require different clearances.

An additional 2.00 inches (50.8 mm) beyond the valve extension is needed for coil installation and removal.

This solenoid-operated 2-way, 2-position cartridge is a direct-acting, balanced spool directional valve. The valve is available in either a normally open or normally closed configuration.

TECHNICAL DATA

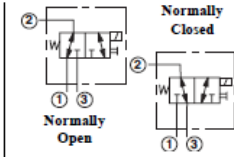
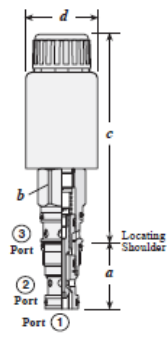
Cavity	T-13A
Series	1
Capacity	12 gpm
Maximum Operating Pressure	5000 psi
Response Time - Typical	50 ms
Maximum Valve Leakage at 110 SUS (24 cSt)	5 in ³ /min. @ 3000 psi
Switching Frequency	15000 cycles/hr
Manual Override Force Requirement	5 lbs/1000 psi @ Port 1
Manual Override Stroke	.10 in.
Solenoid Tube Diameter	.75 in.
Valve Hex Size	7/8 in.
Valve Installation Torque	30 - 35 lbf ft
Seal kit - Cartridge	Buna: 990-413-007
Seal kit - Cartridge	Viton: 990-413-006
Seal and nut kit - Coil	Viton: 990-770-006
Model Weight	0.65 lb.



EK-3 :3/2 Kartuş Valflerin Teknik Özellikleri[13]

Solenoid Operated Cartridge Valves

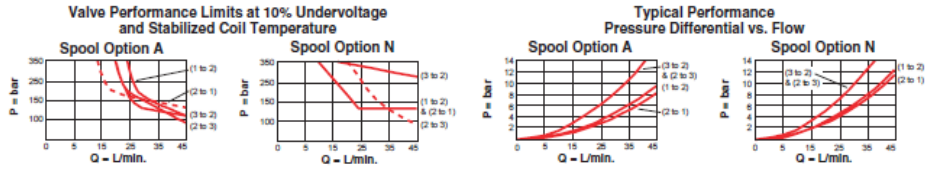
2-POSITION, 3-WAY SPOOL DIRECTIONAL VALVE



Nominal Capacity	Typical Cartridge Model Code	Cavity	Cartridge Dimensions				Installation Torque (Nm)
			a	b	c	d	
40 L/min	DMDA - MNN	T - 11A	34,9	22,4	109	38	40/50

Performance Curves

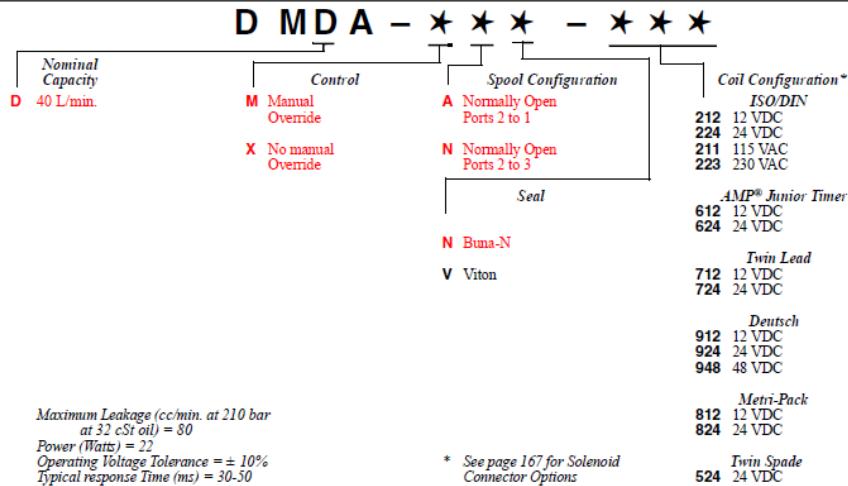
DMDA-MNN



- Maximum operating pressure = 350 bar**
- Maximum Leakage at 32 cSt = 81,9 cc/min. @210 bar
- Switching frequency = 15000 cycles/hr
- Proper installation of solenoid valves requires an extra deep socket to clear the solenoid tube. Sockets are available from Snap On tools (P/N SIML280) or Sun Hydraulics (P/N 998-100-006). See www.sunhydraulics.com for details.

**For valves produced before January 1, 2004 (date code A041), the maximum operating pressure is 350 bar at ports 2 and 3 and 250 bar at port 1.
NOTE: While the valve will operate reliably with pressures up to 350 bar at Port 1, solenoid tube fatigue life is reduced.

OPTION ORDERING INFORMATION Model Codes printed in Red are Preferred Versions and most readily available

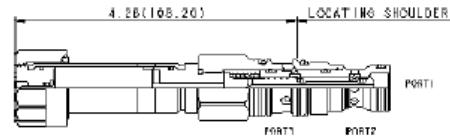
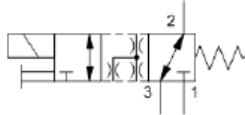


Visit www.sunhydraulics.com for detailed and complete technical information on our full line of products.



MODEL
DMDAMNN

3-way, solenoid-operated directional spool valve
CAPACITY: 12 gpm | CAVITY: T-11A



This solenoid-operated 3-way, 2-position cartridge is a direct-acting, balanced spool directional valve.

CONFIGURATION

M	Control	Manual Override
N	Spool Configuration	Normally Open 2 to 3, Closed 1 to 2
N	Seal Material	Buna-N
(none)	Coil	No coil

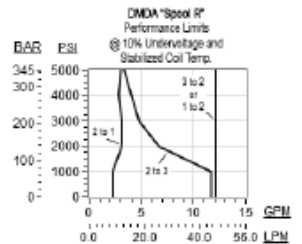
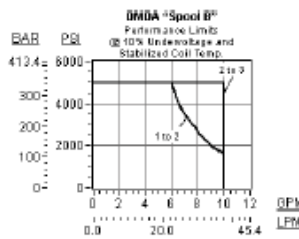
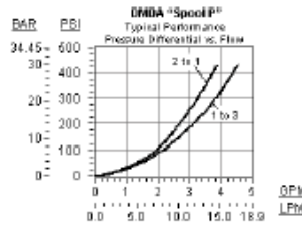
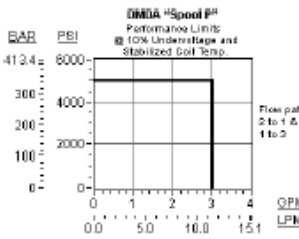
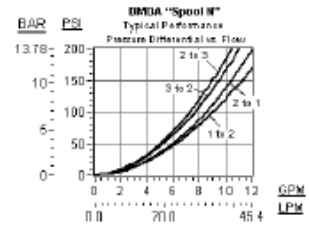
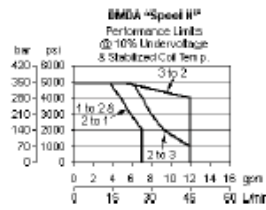
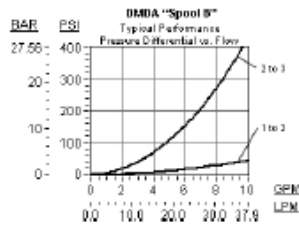
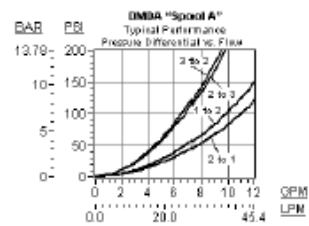
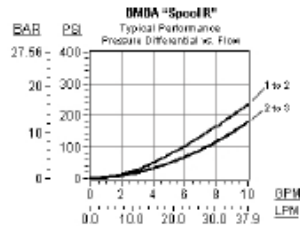
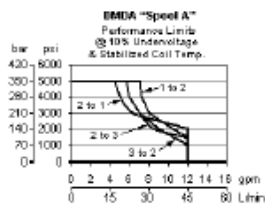
TECHNICAL DATA

Capacity	12 gpm
Maximum Operating Pressure	5000 psi
Response Time - Typical	50 ms
Maximum Valve Leakage at 110 SUS (24 cSt)	5 in ³ /min. @ 3000 psi
Switching Frequency	15000 cycles/hr
Manual Override Force Requirement	5 lbs/1000 psi @ Port 1
Manual Override Stroke	.10 in.
Solenoid Tube Diameter	.75 in.
Valve Hex Size	7/8 in.
Valve Installation Torque	30 - 35 lbf ft
Seal kit - Cartridge	Buna: 990-411-007
Seal kit - Cartridge	Viton: 990-411-006
Seal and nut kit - Coil	Viton: 990-770-006
Model Weight	0.74 lb.
Cavity	T-11A
Series	1

NOTES

Please verify cartridge clearance requirements when choosing a Sun manifold. Different valve controls and coils require different clearances.

An additional 2.00 inches (50.8 mm) beyond the valve extension is needed for coil installation and removal.

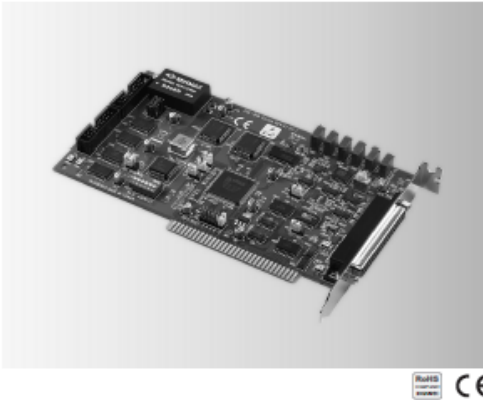


EK-4 :Veri Toplama Kartının Özellikleri [15]

PCL-818HD/HG PCL-818L

**100 kS/s, 12-bit, 16-ch ISA
Multifunction Card**

**40 kS/s, 12-bit, 16-ch ISA
Multifunction Card**



Features

- 16-ch single-ended or 8-ch differential analog input
- 12-bit A/D converter, with up to 100 kHz sampling rate
- Programmable gain
- Automatic channel/gain scanning
- Onboard FIFO memory (1,024 samples, PCL-818HD/HG only)
- One 12-bit analog output channel
- 16-ch digital input and 16-ch digital output
- Onboard programmable counter

Introduction

The PCL-818L series was designed for entry-level models to the PCL-818 series. The cards have been designed with the cost-sensitive customer in mind, but still offers the same functions as the rest of the series, except that they have a 40 kHz sampling rate and only accepts bipolar inputs. They are fully software and connector compatible with the PCL-818HD and PCL-818HG. This lets you upgrade your applications to these higher performance cards without hardware or software changes.

The PCL-818LS bundle consists of the PCL-818L card, the PCLD-8115 wiring terminal board and a DB37 cable assembly. The PCLD-8115 accommodates onboard passive signal conditioning components (resistors and capacitors), allowing you to easily implement a low-pass filter, a voltage attenuator or a 4 - 20 mA voltage converter.

Specifications

Analog Input

- **Channels** 16 single-ended / 8 differential
- **Resolution** 12 bits
- **Max. Sampling Rate** 100 kS/s for all input ranges (PCL-818HD/HG only)
40 kS/s for all input ranges (PCL-818L only)
- **FIFO Size** 1,024 samples
- **Overvoltage Protection** 30 Vp-p
- **Input Impedance** 10 MΩ
- **Sampling Modes** Software, pacer or external
- **Input Range** (V, software programmable)

PCL-818L/818HD					
Bipolar	±10	±5	±2.5	±1.25	±0.625
Unipolar*	N/A	0 - 10	0 - 5	0 - 2.5	0 - 1.25
Accuracy (% of FSR ±1LSB)	0.1	0.1	0.2	0.2	0.4

* Note: PCL-818L doesn't support unipolar input range.

PCL-818HG								
Bipolar	±10	±5	±1	±0.5	±0.1	±0.05	±0.01	±0.005
Unipolar	N/A	0 - 10	N/A	0 - 1	N/A	0 - 0.1	N/A	0 - 0.01
Accuracy (% of FSR ±1LSB)	0.1	0.1	0.2	0.2	0.4	0.4	0.8	0.8

Analog Output

- **Channels** 1
- **Resolution** 12 bits
- **Output Rate** Static update
- **Output Range** (V, software programmable)

Internal Reference	Unipolar	0 - 5, 0 - 10
External Reference		0 - 10, 0 - -10

Digital Input

- **Channels** 16
- **Compatibility** 5 V/TTL
- **Input Voltage** Logic 0: 0.8 V max.
Logic 1: 2.0 V min.

Digital Output

- **Channels** 16
- **Compatibility** 5 V/TTL
- **Output Voltage** Logic 0: 0.4 V max.
Logic 1: 2.4 V min.
Sink: 8 mA
Source: -0.4 mA
- **Output Capability**

Timer/Counter

- **Channels** 1
- **A/D Pacer** 32-bit with 10 MHz or 1 MHz time base
- **Max. and Min. Rates** 2.5 MHz and 0.00023 Hz
- **Counter** One 16-bit counter with 100 kHz time base

General

- **Power Consumption** 5 V @ 210 mA typical, 500 mA max.
12 V @ 20 mA typical, 100 mA max.
-12 V @ 20 mA typical, 40 mA max.
- **I/O Connector** 1 x DB37 female connector
2 x 20-pin box header
- **Dimensions (L x H)** 155 x 100 mm (6.1" x 3.9")
- **Operating Temperature** 0 - 50° C (32 - 122° F)
- **Storage Temperature** -20 - 65° C (-4 - 149° F)
- **Operating Humidity** 5 - 95% RH, non-condensing (refer to IEC 68-2-3)

ADANTECH

Data Acquisition Boards

EK-6: Benzetim Yazılımı

2/2 Kartuş Valfli Sistemin Benzetim Yazılımı

Sistemin parametrelerinin belirlenmesi

```
Kv12:= 0.183207*power(10,-6); // 0.2198*power(10,-6); 20 volt ile
Kv21:= (1/2)*0.183207*power(10,-6); //
tau:= 0.050*24/20;
Ps:= 200*power(10,5);
Pe:= 0;
ro:= 870;

//-----
A1:= 572/10000; // Piston area, cm dia
A2:= 345/10000; // Annulus area, cm dia - cm dia
M:= 156;
Bh:= 1500*power(10,6); // saturation at 1500 MPa
Cl:= 0*power(10,-12); // ihmal
Fsmax:= 3000; // sürtünme grafiğinden
b:= 300*power(10,3); // Vs= 3 mm/s max hız ve 10000N için b=? N.s/m
g:= 9.81;
Kh:=1; // birim geribesleme kabulü ile
//-----

strok:= 400/1000;
yaklasma:= 0.001/1000;
vx1:=0; vx2:=0; vx3:=0; vx4:=0; Zs:=yaklasma; Vs:=0; P1:=0; P2:=0;
V1:= A1*strok/2;
V2:= A2*strok/2;
Ium:=0;
ei:=0;

//-----
ipid:=0; ismcsat:=0; ismctanh:=0; ihesapt:=0; ibang:=0;
if RadioButton9.Checked then ipid:=1;
if RadioButton10.Checked then ismcsat:=1;
if RadioButton11.Checked then ismctanh:=1;
if RadioButton12.Checked then ihesapt:=1;
if RadioButton8.Checked then ibang:=1;
aa:=0;
FOR i:= round(0/h) TO round(tf/h) DO
BEGIN
t:=h*i;
//-----
Referans girişlerin alındığı bölüm

if RadioButton3.Checked then Zsr:= xr; //mm
if RadioButton4.Checked then Zsr:= Ar*t;
if RadioButton5.Checked then Zsr:= xsr + xsg*sin(2*pi*fre*t);
```

```
//-----
Hatanın bulunması
Zs:= Zs*1000;           // m*1000==mm
e:= Zsr-Zs;           //mm
ei:= ei+h*e;
if i>0 then ed:=(e-ee)/h else ed:=0;
ee:=e;
//-----
```

PID Kontrol

```
u:= Kp*(e + Ki*ei + Td*ed);
upid:=u;
```

```
//-----
// Kayan Kipli Kontrol
s2:= ed+Lam2*e;
if s2<-3*del then u:= -2.5;
if (s2>-3*del)and(s2<3*del) then u:= tanh(s2/del);
if s2>3*del then u:= 2.5;
usmctanh:=u;
//-----
```

```
uu:= ipid*upid + ismcsat*usmcsat + ismctanh*usmctanh + ibang*ubang;
if uu>=2.5 then uu:= 2.5;
if uu<=-2.5 then uu:= -2.5;
uuu:=uu;
```

```
//-----
PWM sinyalinin üretilmesi
fm:= 5000;           // h=0.0000001
gm:= 2.5*sign(sin(2*pi*fm*t));
Ium:= Ium + h*gm;
um:= 4*fm*Ium - 2.5;
if uu<=um then uu:= -10;
if uu>=um then uu:= +10;
upwm:= 2*uu;
u:= upwm;
```

```
//-----
Kontrol Sinyalinin ± 20 Volta Yükseltilmesi
if u>0 then
begin
u:=20;
u1:=u;
u2:=0;
end;
if u<0 then
begin
u:=-20;
u2:=u;
```

```

    u1:=0;
    end;

//-----
U pozitif olması durumunda sistemden geçen debiler
    if u>0 then
    begin
        Q1:= Kv12*vx3*sqrt((Ps-P1)/ro);
        Q2:= Kv21*vx2*sqrt((P2-Pe)/ro);
    end;

//-----
U pozitif olması durumunda sistemden geçen debiler
    if u<0 then
    begin
        Q1:= Kv21*vx4*sqrt((P1-Pe)/ro);
        Q2:= Kv12*vx1*sqrt((Ps-P2)/ro);
    end;

//-----
Voltaj olarak Valf sürgüsünün dinamiği
    vx2d:= -(1/tau)*vx2 + (1/tau)*u1;           //V
    vx3d:= -(1/tau)*vx3 + (1/tau)*u1;
    vx4d:= -(1/tau)*vx4 + (1/tau)*u2;
    vx1d:= -(1/tau)*vx1 + (1/tau)*u2;

//-----
    if t<2 then Fs:=0 else Fs:=Fsmax;
    Zs:= Zs/1000;           // m
    Zsd:= Vs;

//-----
Sisteme Etkiyen Toplam Kuvvet
    Vsd:= -1*Fs/M*sign(Vs) - 1*(b/M)*Vs + (A1/M)*P1 - (A2/M)*P2 - 1*Fdt;
//-----

Sistemde Oluşan Basınçlar
    P1d:= (Bh/V1) * ( Q1 - Cl*(P1-P2) - A1*Vs );
    P2d:= (Bh/V2) * (-Q2 + Cl*(P1-P2) + A2*Vs );

//-----
Eular Yöntemine Göre Dif. Denklemlerin Çözümü
    vx1:= vx1 + h*vx1d;
    vx2:= vx2 + h*vx2d;
    vx3:= vx3 + h*vx3d;
    vx4:= vx4 + h*vx4d;
    Zs:= Zs + h*Zsd;
    Vs:= Vs + h*Vsd;
    P1:= P1 + h*P1d;
    P2:= P2 + h*P2d;

```

```

//-----
if Zs>strok then begin Zs:=strok; Vs:=0; end; //
if Zs<0 then begin Zs:=0; Vs:=0; end;
if i<>ss*round(i/ss)then goto 2;
//-----
Sonuçların yazdırılması(Debiler, basınçlar, hacimler)
writeln(out1, t:9:6, Zsr:18:9, Zs*1000:18:9,
        P1/100000:18:9, P2/100000:18:9,
        Q1*1000*60:18:9, Q2*1000*60:18:9,
        0*V1*100000:18:6, 0*V2*100000:18:6);

//-----
Sonuçların Yazdırılması(İstenen Referans Giriş, Sonuç)
writeln(out2, t:15:6, 1*Zsr:18:9, 1*Zs*1000:18:9);
2:Application.ProcessMessages;
if GetKeyState(VK_Escape) and 128 =128 then goto 3;
if aa=1 then goto 3;
END;

```

3/2 Kartuş Valfli Sistemin Benzetim Yazılımı

```

Sistemin parametrelerinin belirlenmesi
Kv23:= 0.183207*power(10,-6); // volt ile
Kv12:= (1/2)*0.183207*power(10,-6); // Katalog, grafikten
tau:= 0.050*24/20;
Ps:= 200*power(10,5);
Pe:= 0;
ro:= 870;

//-----
A1:= 572/10000; // Piston area, cm dia
A2:= 345/10000; // Annulus area, cm dia - cm dia
M:= 156;
Bh:= 1500*power(10,6); // saturation at 1500 MPa
Cl:= 0*power(10,-12); // ihmal
Fsmax:= 3000; // sürtünme grafiğinden
b:= 300*power(10,3); // Vs= 3 mm/s max hız ve 10000N için b=? N.s/m
g:= 9.81;
Kh:=1; // birim geribesleme kabulü ile

//-----
strok:= 400/1000;
yaklasma:= 0.001/1000;
vx1:=0; vx2:=0; vx3:=0; vx4:=0; Zs:=yaklasma; Vs:=0; P1:=0; P2:=0;
V1:= A1*strok/2;
V2:= A2*strok/2;
Ium:=0;
ei:=0;

```

```

//-----
ipid:=0; ismcsat:=0; ismctanh:=0; ihesapt:=0; ibang:=0;
if RadioButton9.Checked then ipid:=1;
if RadioButton10.Checked then ismcsat:=1;
if RadioButton11.Checked then ismctanh:=1;
if RadioButton12.Checked then ihesapt:=1;
if RadioButton8.Checked then ibang:=1;
aa:=0;
FOR i:= round(0/h) TO round(tf/h) DO
BEGIN
t:=h*i;

//-----
Referans girişlerin alındığı bölüm
if RadioButton3.Checked then Zsr:= xr; //mm
if RadioButton4.Checked then Zsr:= Ar*t;
if RadioButton5.Checked then Zsr:= xsr + xsg*sin(2*pi*fre*t);

//-----
Hatanın bulunması
Zs:= Zs*1000; // m*1000==mm
e:= Zsr-Zs; //mm
ei:= ei+h*e;
if i>0 then ed:=(e-ee)/h else ed:=0;
ee:=e;

//-----
PIDKontrol
u:= Kp*(e + Ki*ei + Td*ed);
upid:=u;

//-----
Kayan Kipli Kontrol
s2:= ed+Lam2*e;
if s2<-3*del then u:= -2.5;
if (s2>-3*del)and(s2<3*del) then u:= tanh(s2/del);
if s2>3*del then u:= 2.5;
usmctanh:=u;

//-----
uu:= ipid*upid + ismcsat*usmcsat + ismctanh*usmctanh + ibang*ubang;
if uu>=2.5 then uu:= 2.5;
if uu<=-2.5 then uu:= -2.5;
uuu:=uu;

//-----
PWM sinyalinin üretilmesi
fm:= 5000; // h=0.0000001
gm:= 2.5*sign(sin(2*pi*fm*t));
Ium:= Ium + h*gm;

```

```

um:= 4*fm*Ium - 2.5;
if uu<=um then uu:= -10;
if uu>=um then uu:= +10;
upwm:= 2*uu;
u:= upwm;

//-----
Kontrol Sinyalinin ± 20 Volta Yükseltilmesi
if u>0 then
begin
u:=20;
u1:=u;
u2:=0;
end;
if u<0 then
begin
u:=-20;
u2:=u;
u1:=0;
end;

//-----
U pozitif olması durumunda sistemden geçen debiler
if u>0 then
begin
Q1:= Kv12*vx2*sqrt((Ps-P1)/ro);
Q2:= Kv23*vx2*sqrt((P2-Pe)/ro); end;

//-----
U pozitif olması durumunda sistemden geçen debiler
if u<0 then
begin
Q1:= Kv23*vx1*sqrt((P1-Pe)/ro);
Q2:= Kv12*vx1*sqrt((Ps-P2)/ro); end;

//-----
Voltaj olarak Valf sürgüsünün dinamiği
vx2d:= -(1/tau)*vx2 + (1/tau)*u2; //V
vx1d:= -(1/tau)*vx1 + (1/tau)*u1;

//-----
if t<2 then Fs:=0 else Fs:=Fsmax;
Zs:= Zs/1000; // m
Zsd:= Vs;

//-----
Sisteme Etkiyen Toplam Kuvvet
Vsd:= -1*Fs/M*sign(Vs) - 1*(b/M)*Vs + (A1/M)*P1 - (A2/M)*P2 - 1*Fdt;
//-----
Sistemde Oluşan Basınçlar

```



```

P1d:= (Bh/V1) * ( Q1 - Cl*(P1-P2) - A1*Vs );
P2d:= (Bh/V2) * (-Q2 + Cl*(P1-P2) + A2*Vs );

//-----
Eular Yöntemine Göre Dif. Denklemlerin Çözümü
vx1:= vx1 + h*vx1d;
vx2:= vx2 + h*vx2d;
Zs:= Zs + h*Zsd;
Vs:= Vs + h*Vsd;
P1:= P1 + h*P1d;
P2:= P2 + h*P2d;

//-----
if Zs>strok then begin Zs:=strok; Vs:=0; end;    //
if Zs<0 then begin Zs:=0; Vs:=0; end;
if i<>ss*round(i/ss)then goto 2;

//-----
Sonuçların yazdırılması (Debiler, basınçlar, hacimler)
writeln(out1, t:9:6, Zsr:18:9, Zs*1000:18:9,
          P1/100000:18:9, P2/100000:18:9,
          Q1*1000*60:18:9, Q2*1000*60:18:9,
          0*V1*100000:18:6, 0*V2*100000:18:6);

//-----
Sonuçların Yazdırılması (İstenen Referans Giriş, Sonuç)
writeln(out2, t:15:6, 1*Zsr:18:9, 1*Zs*1000:18:9);
2:Application.ProcessMessages;
if GetKeyState(VK_Escape) and 128 =128 then goto 3;
if aa=1 then goto 3;

END;

```

Servovafli Sistemin Benzetim Yazılımı

```

//Sistemin parametrelerinin belirlenmesi

Kv:= 0.525*power(10,-6);
tau:= 0.012;
Ps:= 200*power(10,5);
Pe:= 0;
ro:= 870;
{-----}

A1:= 572/10000;           // Piston area, cm dia
A2:= 345/10000;           // Annulus area, cm dia - cm dia
M:= 156;
Bh:= 1500*power(10,6);    // saturation at 1500 MPa
Cl:= 0*power(10,-12);     // ihmal
Fsmax:= 3000;             // sürtünme grafiğinden
b:= 300*power(10,3);      // Vs= 3 mm/s max hız ve 10000N için b=? N.s/m

```

```

g:= 9.81;
Kh:=1; // birim geribesleme kabulü ile

//-----00000000-----

strok:= 400/1000;
yaklasma:= 0.001/1000; //
vx:=0; Zs:=yaklasma; Vs:=0; P1:=0; P2:=0;
V1:= A1*strok/2;
V2:= A2*strok/2;
Ium:=0;
ei:=0;

//-----00000000-----

ipid:=0; ismcsat:=0; ismctanh:=0; ihesapt:=0; ibang:=0;
if RadioButton9.Checked then ipid:=1;
if RadioButton10.Checked then ismcsat:=1;
if RadioButton11.Checked then ismctanh:=1;
if RadioButton12.Checked then ihesapt:=1;
if RadioButton8.Checked then ibang:=1;
aa:=0;
FOR i:= round(0/h) TO round(tf/h) DO
BEGIN
t:=h*i;

//-----
Referans girişlerin alındığı bölüm

if RadioButton3.Checked then Zsr:= xr; //mm
if RadioButton4.Checked then Zsr:= Ar*t;
if RadioButton5.Checked then Zsr:= xsr + xsg*sin(2*pi*fre*t);
Zs:= Zs*1000; // m*1000==mm

//-----
Hatanın bulunması
e:= Zsr-Zs; // mm
ei:= ei+h*e;
if i>0 then ed:=(e-ee)/h else ed:=0;
ee:=e;

if e<0 then u:= -5;
if e>=0 then u:= 5;
ubang:=u;

//-----
PIDKontrol

u:= Kp*(e + Ki*ei + Td*ed);
upid:=u;

```

```
//-----  
Kayan Kipli Kontrol
```

```
s2:= ed+Lam2*e;  
if s2<-3*del then u:= -5;  
if (s2>-3*del)and(s2<3*del) then u:= 5*tanh(s2/del);  
if s2>3*del then u:= 5;  
usmctanh:=u;
```

```
u:= ipid*upid + ismcsat*usmcsat + ismctanh*usmctanh + ibang*ubang;  
uu:=u;
```

```
if u>=5 then u:=5;  
if u<=-5 then u:= -5;  
uuu:=u;
```

```
//-----  
U pozitif olması durumunda sistemden geçen debiler  
if u>0 then  
begin  
  Q1:= Kv*vx*sqrt((Ps-P1)/ro);  
  Q2:= Kv*vx*sqrt((P2-Pe)/ro);  
end;
```

```
//-----  
U pozitif olması durumunda sistemden geçen debiler  
if u<0 then  
begin  
  Q1:= Kv*vx*sqrt((P1-Pe)/ro);  
  Q2:= Kv*vx*sqrt((Ps-P2)/ro);  
end;
```

```
//-----  
Voltaj olarak Valf sürgüsünün dinamiği  
vxd:= -(1/tau)*vx + (1/tau)*u; //V
```

```
if t<2 then Fs:=0 else Fs:=Fsmax;
```

```
Zs:= Zs/1000; // m
```

```
Zsd:= Vs;
```

```
//-----  
Sisteme Etkiyen Toplam Kuvvet  
Vsd:= -1*Fs/M*sign(Vs) - 1*(b/M)*Vs + (A1/M)*P1 - (A2/M)*P2 - 1*Fdt;
```

```
//-----  
Sistemde Oluşan Basınçlar  
P1d:= (Bh/V1) * ( Q1 - Cl*(P1-P2) - A1*Vs );
```

```

P2d:= (Bh/V2) * (-Q2 + Cl*(P1-P2) + A2*Vs );

//-----
Eular Yöntemine Göre Dif. Denklemlerin Çözümü
vx:= vx + h*vxd;
Zs:= Zs + h*Zsd;
Vs:= Vs + h*Vsd;
P1:= P1 + h*P1d;
P2:= P2 + h*P2d;

Fnet:= A1*P1-A2*P2;
if Zs>strok then begin Zs:=strok; Vs:=0; end;    // <=   >=   ???
if Zs<0 then begin Zs:=0; Vs:=0; end;

if i<>ss*round(i/ss)then goto 2;

//-----
Sonuçların yazdırılması(Debiler, basınçlar, hacimler)

writeln(out1, t:9:6, Zsr:18:9, Zs*1000:18:9,
          P1/100000:18:9, P2/100000:18:9,
          Q1*1000*60:18:9, Q2*1000*60:18:9,
          0*V1*100000:18:6, 0*V2*100000:18:6);

//-----
Sonuçların Yazdırılması(İstenen Referans Giriş, Sonuç)

writeln(out2, t:15:6, 1*Zsr:18:9, 1*Zs*1000:18:9);

// 0*upid*1:25:9, 1*uuu:18:9, 0*um*4:18:9);

2:
  Application.ProcessMessages;
  if GetKeyState(VK_Escape) and 128 =128 then goto 3;
  if aa=1 then goto 3;

END;

```

ÖZGEÇMİŞ

1981 yılında Ankara'da doğan Salih DEDEOĞLU, ilköğrenimi A.Çavundur İlkokulunda, orta öğrenimini Çubuk Barbaros Ortaokulunda, lise öğrenimini ise Yenimahalle Teknik Lisesinde tamamlamıştır.1999 yılında kazandığı Süleyman Demirel Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Bilgisayar Sistemleri Öğretmeliğini 2003 yılında bitirmiştir.2015 yılında Bozok Üniversitesi Mekatronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı'ndan "Elektrohidrolik Bir Sistemin Darbe Eni Modüleli Kayan Kipli Kontrolü" adlı tez ile başarı ile mezun olmuştur.

İletişim Bilgileri

Adres: Fatma Temel Turhan Bilim Sanat merkezi YOZGAT

TEL:0505 397 49 49

E-Posta:salihdedeoglu@yahoo.com