

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ELEKTRO-HİDROLİK BİR SİSTEMİN PROGRAMLANABİLİR
LOJİK DENETLEYİCİLERİN VE SCADA PROGRAMININ
KULLANIMI İLE GERÇEK ZAMANDA KONUM KONTROLÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mak. Müh. Ahmet KABAKÇI

Anabilim Dalı : MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ

Programı : SİSTEM DİNAMİĞİ VE KONTROL

OCAK 2007

**ELEKTRO-HİDROLİK BİR SİSTEMİN PROGRAMLANABİLİR
LOJİK DENETLEYİCİLERİN VE SCADA PROGRAMININ
KULLANIMI İLE GERÇEK ZAMANDA KONUM KONTROLÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mak. Müh. Ahmet KABAKÇI

Enstitü No : 503031600

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 25 Aralık 2006

Tezin Savunulduğu Tarih : 30 Ocak 2007

Tez Danışmanı : Doç.Dr. R. Kenan KUTLU

Diğer Jüri Üyeleri Prof.Dr. Can ÖZSOY (İ.T.Ü.)

Prof.Dr. İsmail YÜKSEK (Y.T.Ü.)

OCAK 2007

ÖNSÖZ

Bu çalışmada elektro-hidrolik bir sistemin PLC ve Scada programı ile gerçek zamanda konum kontrolü gerçekleştirilmeye çalışılmıştır. Bu tür bir kontrol ile lineer olmayan sistemlere bulanık mantık programının endüstride sıklıkla kullanılan PLC’lerde yazılım olarak çalıştırılması düşünülmüştür. Bu amacı gerçekleştirmek üzere PLC’de bulanık mantık uygulamaları araştırılmış ve bulanık mantık hesaplamasında geliştirilen yeni yaklaşım programı ile hesaplama süresinin düşürülmesi başarılmıştır.

Çalışmamda değerli bilgileri ile bana yol gösteren sayın hocalarım Doç. Dr. R.Kenan KUTLU ve Dr. Ertan ÖZNERGİZ ile yardımlarını esirgemeyen sevgili arkadaşım Atilla ARSLAN’a ve Volkan ATMACA’ya ve özellikle desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen aileme teşekkürü zevkli bir görev bilirim.

Ocak, 2007

Ahmet KABAKÇI

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	VI
TABLO LİSTESİ	VII
ŞEKİL LİSTESİ	VIII
SEMBOL LİSTESİ	X
ÖZET	XII
SUMMARY	XIII

1. GİRİŞ	1
1.1. Akışkan Gücü Teknolojisi	1
1.2. Elektro Hidrolik Sistemler ve Özellikleri	2
1.3. PLC ve Bulanık Mantık	4
2. ELEKTROHİDROLİK SİSTEM MODELLERİ	8
2.1. Giriş	8
2.2. Oransal Valf Modeli Çıkarımı	10
2.3. Oransal Valf Modeli	14
2.4. Hidrolik Silindir Modeli	16
3. KONTROL TEKNİKLERİ	19
3.1. PD Etkili Sürekli Kontrol	19
3.1.1. Sürekli Zamanda Tasarım, Ayrık Zamana Dönüşüm ; Hız Algoritmaları	20
3.1.2. Hız Algoritmaları	21
3.2. Bulanık Mantık Kontrol (Fuzzy Logic Control)	22
3.3. Bulanık Küme Kavramı	24
3.3.1. Bulanık Kümelerle İlgili Temel Kavramlar	24
3.4. Bulanık Kontrolörün Yapısı	25
3.4.1. Bulanıklaştırma (Fuzzification)	25
3.4.2. Kural Tabanı Oluşturma (Rule Base)	27
3.4.3. Bulanık Çıkarım Metodu (Fuzzy Inference Method)	28
3.4.4. Durulaştırma (Defuzzification)	28
3.5. Bulanık Kontrolör Tasarım Metotları	29
3.6. Bulanık Kontrolör'ün Matlab Programında Oluşturulması	29
3.7. ANFIS (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference Systems)	33

3.7.1. ANFIS Yapısı	33
4. DENEY SİSTEMİ ELEMANLARI	38
4.1. Deney Sisteminin Yapısı	38
4.2. Asimetrik Silindir	39
4.3. Elektrohidrolik Oransal Valf	39
4.4. Konum Ölçme Elemanı	41
4.5. PLC (Programlanabilir Lojik Kontrolör)	44
4.5.1. Güç Kaynağı	45
4.5.2. FP2-C1 CPU	45
4.5.3. Hızlı Sayıcı Modülü	45
4.5.4. Analog Çıkış Modülü (FP2-DA4)	46
4.6. Bilgisayar	47
4.7. TEOS SCADA Programı	47
4.8. Bulanık Kontrolörün PLC ve Scada Programında Oluşturulması	48
5. PLC (PROGRAMLANABİLİR LOJİK KONTROLÖR)	52
5.1. Giriş	52
5.2. PLC ve SCADA	53
5.3. PLC Kullanımının Nedenleri	54
5.3.1. Endüstriyel Ortamın Kısıtlamaları	55
5.3.2. PLC'lerin Yapısal Avantajları	55
5.3.2.1. Tasarımdan Kurulum Avantajları	55
5.3.2.2. Kullanım ve Bakım	56
5.4. PLC'lerin Kullanım Alanları	57
5.5. PLC'lerin Geleceği	57
5.6. PLC ve Bulanık Mantık Uygulamaları	58
5.7. Bulanık Mantık Donanım Çözümleri	62
6. SİMULASYON ÇALIŞMALARI	63
6.1. Giriş	63
6.2. Model Simulasyonları	63
6.3. Sistemin Gerçek Zamanlı Kontrolü	71
6.4. Sistemin Gerçek Zamanlı Kontrolü (ANFIS ve Bulanık Mantık)	79

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	87
7.1. Giriş	87
7.2. Model İle Yapılan Kontrol Sonuçları	87
7.3. Gerçek Zamanlı Kontrol Sonuçları	88
 KAYNAKLAR	 93
 ÖZGEÇMİŞ	 97

KISALTMALAR

ADC	: Analog-Digital Conversion
FLC	: Fuzzy Logic Controller
PLC	: Programmable Logic Controller

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 3.1. Bulanık kural tablosu.....	30
Tablo 3.2. ANFIS için hibrit öğrenme prosedürü.....	37
Tablo 4.1. Oransal valfler ve Servo valflerin karakteristiklerinin karşılaştırılması.....	40
Tablo 6.1. 50 bar için PD ve Bulanık mantık kontrol sonuçları.....	74
Tablo 6.2. 25 bar için PD ve Bulanık mantık kontrol sonuçları.....	78
Tablo 6.3. 50 bar için ANFIS ve Bulanık mantık kontrol sonuçları.....	82
Tablo 6.4. 25 bar için ANFIS ve Bulanık mantık kontrol sonuçları.....	86
Tablo 7.1. 50 bar için PD ve Bulanık mantık kontrol sonuçları.....	88
Tablo 7.2. 25 bar için PD ve Bulanık mantık kontrol sonuçları.....	88
Tablo 7.3. Harcanan kumanda enerjisi miktarları.....	89

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1.	: Hidrolik Kontrol Sistemi..... 3
Şekil 1.2.	: Servovalf ve Oransal valf için histerisiz eğrisi..... 5
Şekil 2.1.	: Pozitif boşluk, negatif boşluk ve sıfır boşluk..... 11
Şekil 2.2.	: Makara valf orifisi..... 11
Şekil 2.3.	: Saturasyon fonksiyonu ($E \geq 0$ için)..... 14
Şekil 2.4.	: Hidrolik oransal valf..... 15
Şekil 2.5.	: Çift etkili hidrolik piston..... 16
Şekil 3.1.	: Hız formundaki oransal kontrolör ile zorluğa örnek..... 21
Şekil 3.2.	: Bu zorluktan kaçınmak için önerilen bir yol..... 22
Şekil 3.3.	: Bulanık kontrolörün yapısı..... 25
Şekil 3.4.	: Üçgen (triangular) üyelik fonksiyonu..... 26
Şekil 3.5.	: Yamuk (trapezoidal) üyelik fonksiyonu..... 26
Şekil 3.6.	: Gaussian üyelik fonksiyonu..... 26
Şekil 3.7.	: Bulanık kontrolörün giriş ve çıkış değişkenleri..... 30
Şekil 3.8.	: Üyelik fonksiyonları, a- Hatan için üyelik fonksiyonları, b- Hatanın türevi için üyelik fonksiyonları, c- Kumanda için üyelik fonksiyonları..... 31
Şekil 3.9.	: Kontrol yüzey eğrisi..... 32
Şekil 3.10.	: (a) 2 kurallı, 2 girişli birinci derece Sugeno bulanık model; (b) eşdeğer ANFIS yapısı..... 34
Şekil 3.11.	: Ağırlık ortalaması son katmanda gerçekleştirilen Sugeno bulanık model için ANFIS yapısı..... 36
Şekil 3.12.	: (a) 2 kurallı, 2 girişli Tsukamoto bulanık model; (b) eşdeğer ANFIS yapısı..... 37
Şekil 4.1.	: Elektro hidrolik deney sisteminin genel yapısı..... 38
Şekil 4.2.	: Elektro hidrolik oransal valfin iç yapısı..... 41
Şekil 4.3.	: Tasarlanan arayüz kartında sinyal üzerindeki işlemler..... 43
Şekil 4.4.	: Tasarlanan arayüz kartı..... 44
Şekil 4.5.	: Tezdeki PLC sistemi modülleri ve yerleşim planı..... 45
Şekil 4.6.	: Faz farkı metodu ile sayma işlemi..... 46
Şekil 4.7.	: Analog çıkış dönüşüm karakteristiği..... 47
Şekil 4.8.	: Bulanık mantık kontrolör giriş ve çıkış üyelik fonksiyonları parametrelerinin Scada programında giriş sayfası..... 49

Şekil 4.9.	: Bulanık mantık kontrolör kural tablosu parametrelerinin Scada programında giriş sayfası.....	50
Şekil 4.10.	: Scada programı ana açılış sayfası.....	51
Şekil 5.1.	: Nais marka FP2-C1 model PLC sistemine bir örnek.....	52
Şekil 5.2.	: Temeli oluşturan PID kontrolörlerin set parametrelerinin bulanık mantık kontrolör ile belirlenmesi.....	59
Şekil 5.3.	: Moeller Fuzzy PLC.....	60
Şekil 5.4.	: Bulanık mantık ve klasik mantık için kullanılan FuzzyTECH-4.0 programı.....	60
Şekil 6.1.	: Hidrolik sistem PD kontrol modeli.....	63
Şekil 6.2.	: Hidrolik sistem Bulanık mantık kontrol modeli.....	64
Şekil 6.3.	: a- 25 bar, 5 kg, b- 25 bar, 25 kg için konum eğrileri.....	65
Şekil 6.4.	: a- 25 bar, 5 kg, b- 25 bar, 25 kg için hız eğrileri.....	66
Şekil 6.5.	: a- 25 bar, 5 kg, b- 25 bar, 25 kg için kumanda eğrileri.....	67
Şekil 6.6.	: a- 50 bar, 5 kg, b- 50 bar, 25 kg için konum eğrileri.....	68
Şekil 6.7.	: a- 50 bar, 5 kg, b- 50 bar, 25 kg için hız eğrileri.....	69
Şekil 6.8.	: a- 50 bar, 5 kg, b- 50 bar, 25 kg için kumanda eğrileri.....	70
Şekil 6.9.	: a- 50 bar, 5 kg, b- 50 bar, 25 kg için konum eğrileri.....	71
Şekil 6.10.	: a- 50 bar, 5 kg, b- 50 bar, 25 kg için hız eğrileri.....	72
Şekil 6.11.	: a- 50 bar, 5 kg, b- 50 bar, 25 kg için kumanda eğrileri.....	73
Şekil 6.12.	: a- 25 bar, 5 kg, b- 25 bar, 25 kg için konum eğrileri.....	75
Şekil 6.13.	: a- 25 bar, 5 kg, b- 25 bar, 25 kg için hız eğrileri.....	76
Şekil 6.14.	: a- 25 bar, 5 kg, b- 25 bar, 25 kg için kumanda eğrileri.....	77
Şekil 6.15.	: a- 50 bar, 5 kg, b- 50 bar, 25 kg için konum eğrileri.....	79
Şekil 6.16.	: a- 50 bar, 5 kg, b- 50 bar, 25 kg için kontrolör karar verme süresi eğrileri.....	80
Şekil 6.17.	: a- 50 bar, 5 kg, b- 50 bar, 25 kg için kumanda eğrileri.....	81
Şekil 6.18.	: a- 25 bar, 5 kg, b- 25 bar, 25 kg için konum eğrileri.....	83
Şekil 6.19.	: a- 25 bar, 5 kg, b- 25 bar, 25 kg için kontrolör karar verme süresi eğrileri.....	84
Şekil 6.20.	: a- 25 bar, 5 kg, b- 25 bar 25kg için kumanda eğrileri.....	85

SEMBOL LİSTESİ

A_1	: Piston sonu silindir alanı [m^2]
A_2	: Mil sonu silindir alanı [m^2]
C_d	: Valf akış katsayısı [-]
F	: Piston kuvveti [N]
F_f	: Sürtünme kuvveti [N]
K_q	: Sıfır toleranslı makara akış kazancı [m^2/s]
L	: Valf akış yolu açıklığı [m]
P_i	: i akış yolu basıncı [N/m^2]
P_R	: Geri dönüş (tank) basıncı [N/m^2]
P_S	: Besleme basıncı [N/m^2]
Q_i	: i akış yolu toplam akış debisi [m^3/s]
Q_{1R}	: 1 akış yolu geri dönüş akış debisi [m^3/s]
Q_{1S}	: 1 akış yolu besleme yönü akış debisi [m^3/s]
Q_{2R}	: 2 akış yolu geri dönüş akış debisi [m^3/s]
Q_{2S}	: 2 akış yolu besleme yönü akış debisi [m^3/s]
Q_{ip}	: Kaçak akış debisi [m^3/s]
R_{ip}	: Kaçak sabiti [m^4s/kg]
S	: Piston stroku [m]
V_{10}	: İç hacim (oda 1 tarafı) [m^3]

V_{20}	: İç hacim (oda 2 tarafı) [m ³]
x_p	: Hidrolik piston konumu [m]
x_v	: Valf makara konumu [m]
w	: Valf alan eğimi [m]
β	: Akışkan sıkıştırılabilirlik modülü [N/m ²]
ε_i	: Makara alıştırma parametreleri [m]
ρ	: Akışkan yoğunluğu [kg/m ³]

ELEKTRO-HİDROLİK BİR SİSTEMİN PROGRAMLANABİLİR LOJİK DENETLEYİCİLERİN VE SCADA PROGRAMININ KULLANIMI İLE GERÇEK ZAMANDA KONUM KONTROLÜ

ÖZET

Bu çalışmada elektrohidrolik bir sistemin programlanabilir lojik denetleyici ve Scada programı kullanılarak gerçek zamanlı konum kontrolü gerçekleştirilmektedir. PD kontrol ve Bulanık mantık kontrol teknikleri, programlanabilir lojik denetleyici içerisinde assembly diline yakın olan programlama dili ile çalıştırılmaktadır. Literatürde bulanık mantık kontrol teknikleri ile ilgili başarılı çalışmalar bulunmasına rağmen endüstriyel uygulamalara yönelik yeterince başarılı bir çalışma bulunmamaktadır. PD kontrol ve Bulanık mantık kontrol teknikleri kullanılarak hidrolik sisteme farklı besleme basınçlarında farklı yükler uygulanarak sistemin birim basamak cevapları incelenmektedir. Ayrıca hidrolik sistemin matematiksel ifadelerinden elde edilen Simulink modeline PD ve Bulanık mantık kontrol teknikleri uygulanarak, hidrolik sistem incelenmektedir.

POSITION CONTROL IN REAL TIME OF AN ELECTROHYDRAULIC SYSTEM USING PLC AND SCADA SOFTWARE

SUMMARY

The subject of this thesis is real time position control applied to an electro hydraulic system via a programmable logic controller (P.L.C.) and a Scada software. PD control and Fuzzy logic control techniques are applied to the programmable logic controller by means of the program language like assembly language. Although there are some research about fuzzy logic control techniques, there is not enough study about industrial applications. The step responses of the electro hydraulic system are demonstrated with PD control and Fuzzy Logic control under different main pressure values and different loads. Furthermore, PD control and Fuzzy logic control techniques are applied on the simulink model obtained from mathematical descriptions of the system and the responses are studied.

1. GİRİŞ

1.1 Akışkan Gücü Teknolojisi

Akışkan gücü teknolojisi, sıkıştırılmış akışkanlar vasıtasıyla güç üretimi, kontrolü ve iletimi ile ilgilenir. Modern endüstride kullanılan birçok makinede itme, çekme, denetim ve sürüş işlemleri akışkan gücü kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Bundan dolayı endüstride çok önemli bir kullanım alanı vardır. Akışkan gücü aslında hidrolik ve pnömatik sistemler için kullanılan genel bir terimdir. Hidrolik sistemlerin yüksek güç gerektiren uygulamalarda kullanılmasına karşılık, pnömatik sistemler, fazla güç gerektirmeyen kısa stroklu ve yüksek hız içeren uygulamalarda kullanılmaktadırlar.

Akışkan gücü teknolojisi 1650 yılında Pascal kanununun bulunmasıyla başlamıştır. Pascal içerisi şarap dolu bir testinin mantardan yapılmış kapağına hızlı bir şekilde vurduktan sonra, testinin taban kısmının kırıldığını gördü. Bu olay sonucunda testinin alt ve üst kısımlarındaki basıncın eşit olduğunu buldu.

1750 yılında, Bernoulli bir boru içersinde akan akışkanın, enerji korunumu kanununu buldu. Pascal ve Bernoulli'nin bulmuş oldukları kanunlar 1850 yılında İngiltere'de endüstriyel uygulamalarda kullanılmaya başlandı. Bu yıllarda elektrik enerjisi endüstriyel makinelerde kullanılmıyordu. Hidrolik akışkan olarak su kullanılmaktaydı. 19. yüzyılın sonlarına doğru elektrik enerjisi, hidrolik güç iletiminde kullanılmaya başlandı. 1906 yılında USS Virginia adlı bir savaş gemisinde, silahların hareketi ve kontrolü için hidrolik sistemler kullanıldı. Bu uygulamada hidrolik akışkan olarak su yerine ilk kez yağ kullanıldı. Böylelikle hidrolik güç kullanımında yeni bir dönem başlamış oldu.

1926 yılında Amerika'da, içerisinde pompası, kontrol organları ve tahrik organları

olan ilk paket hidrolik ünite geliştirildi. 2. Dünya Savaşı'nın başlamasıyla askeri alandaki gereksinimlerden ötürü hidrolik alanında büyük gelişmeler yaşandı. Daha sonraki yıllarda da büyüyen ekonomiyle birlikte hidrolik alanındaki gelişmeler daha da genişledi. Günümüzde hidrolik sistemler birçok uygulamada kullanılmaktadır [12].

1.2 Elektro Hidrolik Sistemler ve Özellikleri

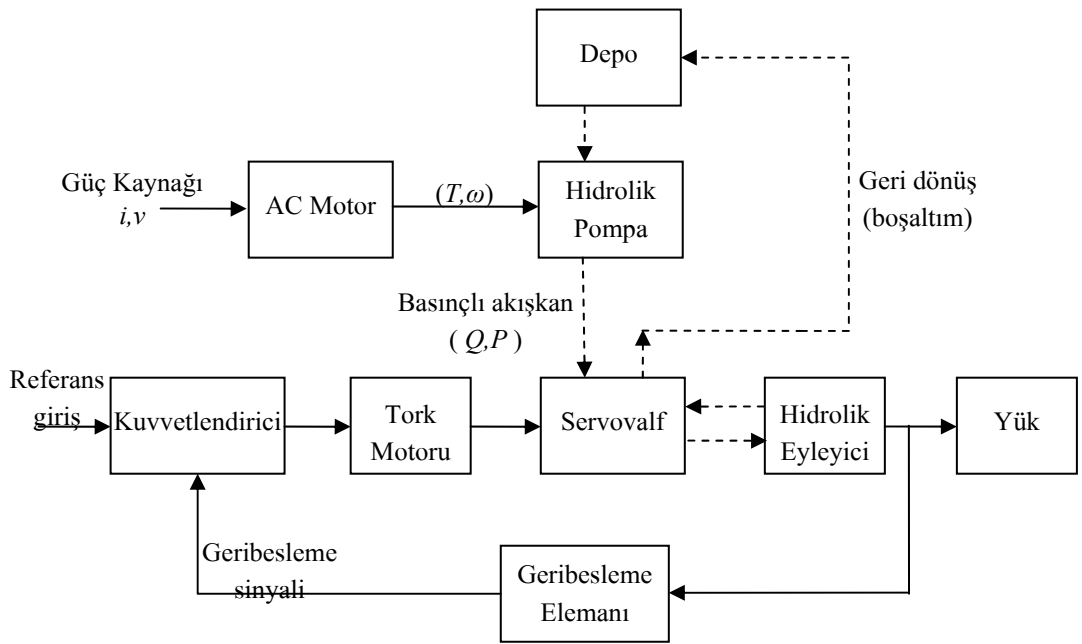
Elektro hidrolik sistemler hızlı cevap, küçük hacimlerde büyük güç sağlayabilme ve küçük stroklarda da kontrol uygulayabilme özelliklerinden dolayı birçok endüstriyel alanda kullanılmaktadır. Uygulama alanlarından bazıları aşağıda verilmektedir:

- Ağır iş makinelerinde
- Uçaklarda, hareket ve teker mekanizmalarında
- Otomobillerde, frenler, iletim organları ve direksiyonlarda
- Bilgisayar kontrollü takım tezgahlarında
- Endüstriyel robot uygulamalarında
- Savunma sanayinde
- Tarım makinelerinde

Hidrolik sistemlerin bir çok uygulamasında, sistemlerin karmaşık yapılarına rağmen, el ile (manuel) kontrol kullanmak yeterli olmaktadır. Ancak günümüzde hidrolik sistemlerin kontrolü, elektrik ve elektronik sistem elemanları kullanılarak daha hassas ve hızlı bir şekilde yapılabilmektedir. Hidrolik ve elektroniğin bu birlikteliği sonucunda beyin ve kas sistemine sahip, hibrit sistemler geliştirilmiştir.

Hidrolik konum kontrolü genellikle servovalfler ile gerçekleştirilmektedir. Servovalfler ile küçük stroklarda hassas konum kontrolü yapılabilmektedir. Ancak büyük stroklarda kontrol zorlaşmaktadır. Ayrıca servovalfler diğer valflere göre pahalıdırlar. Şekil 1.1 de hidrolik bir kontrol sisteminin yapısı gösterilmiştir [19].

Oransal valfler, servo valflere oranla daha ucuz ve hassasiyetleri daha düşüktür. Performansları, çeşitli elektronik teknikler kullanılarak arttırılabilmektedir. Elektro hidrolik oransal valflerde ve servo valflerdeki akım (i) , debi (Q) ilişkisi Şekil 1.2 ile verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi her iki valf tipinde de histerisiz ve doyum lineersizliği mevcuttur. Fakat servo valflerde histerisiz aralığı oransal valfe göre daha dardır. İmalat hassasiyeti çok yüksek olan ve kapalı çevrimli kontrollü oransal valflerde de, servovalf karakteristiğine yakın performans elde edilebilmektedir [7].



Şekil 1.1 Hidrolik kontrol sistemi

Lineer olmayan kontrol teorilerindeki gelişmeler, dinamiklerinde yumuşak olmayan lineersizliklere sahip sistemler için kontrolör tasarımını mümkün kılmıştır. Pahalı olmayan oransal valf kullanılan hidrolik sistemler, valf geometrisine ve makara kusurlarına uygun olarak ortaya çıkan yumuşak olmayan lineersizliklerin ortaya çıktığı sistemlere örnek olabilir. Yine de, uygun bir valf modeli olmaksızın böyle hidrolik sistemlerin lineersizlik analizi ve kontrolü mümkün değildir. Bölüm 2’de, genel bir oransal valf için lineer olmayan denklemler açıklanmıştır ve genel kabuller altında basitleştirilmiş akış debisi ifadeleri elde edilmiştir. Bu denklemler, valf akış

yollarında geçen akış debisine göre fiziksel model değişkenleri ve geometrik makara özelliklerinin bir bütünü ile ilişkilidir. Bölümde, sıfır boşluk, negatif boşluk ve pozitif boşluklu oransal valf durumları için akış debisi denklemlerinden bir tek set elde edilmiştir. Oransal valf model denklemleri, lineer olmayan kontrolör tasarımı için ve sistem simülasyonu için kullanılmaktadır.

1.3 PLC ve Bulanık Mantık

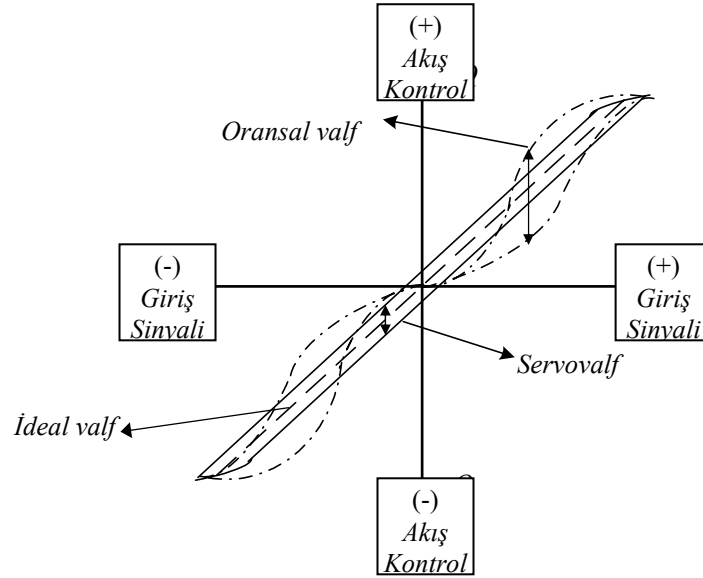
Tezde elektro hidrolik sistem PLC’de çalıştırılan program sayesinde gerçek zamanlı olarak PD kontrol ve bulanık mantık kontrol uygulanmasını mümkün kılmıştır. Bir programlanabilir lojik kontrolör, değişik karışıklık seviyelerinde ve farklı tiplerde birçok kontrol fonksiyonunu yerine getiren kullanıcı dostu bir elektronik bilgisayardır. Açık, kapalı giriş ve çıkış cihazlarına sahip herhangi bir sistemi, ayrıca analog giriş çıkış değerlerine sahip sistemleri de çalıştırabilir.

İlk ticari başarılı PLC 1969 yılında General Motors için Modicon firması tarafından geliştirildi. Bundan sonra, Allen Bradley, General Electric, GEC, Siemens, Mitsubishi, Omron, Toshiba ve Westinghouse gibi firmalar orta maliyetli, yüksek performanslı PLC’ler geliştirdiler. Bu çalışmada Nais firmasının FP2-C1 model PLC cihazı kullanılmıştır.

Bulanık mantık kontrolörün uygulama alanlarının arttığı bugünlerde, endüstride kurulu PLC’lerde bulanık kontrol algoritmalarını uygulamak uygun olur. Böylelikle, var olan donanım ve yazılımlar üzerinde değişiklik yapılmadan akıllı kontrol tekniklerinin uygulanması mümkün olacaktır.

Bu çalışmanın amacı bir hidrolik sisteme, PLC cihazında çalışan algoritma programıyla gerçek zamanlı olarak, PD ve Bulanık mantık kontrol tekniklerini uygulayıp, performans karşılaştırması yapmaktır. Kullanılan deney düzeneğiyle daha önce yapılan çalışmalarda, Matlab Real Time Workshop ile kontrol teknikleri uygulanmıştır. Daha önce bu kadar hızlı bir sistem için PLC cihazında bulanık

mantık algoritma programı yazılıp çalıştırılmadığı için PLC'ler ve bulanık mantık uygulamaları hakkında da genel bilgiler verilmiştir.



Şekil 1.2. Servovalf ve Oransal valf için histerisiz eğrisi.

Elektro hidrolik sistemler ve PLC'de bulanık mantık uygulamaları konusunda daha önce yapılmış çalışmalardan bazıları aşağıda verilmiştir:

Kutlu [1], Hidrolik konum kontrol sisteminin, ikili bir yön valfi ile kontrolü gerçekleştirilmiştir. Sistemin dördüncü dereceden modeli elde edilmiş ve modeldeki bütün terimlerin etkisinin daha iyi görülebilmesi için ölçeklendirme yapılmıştır. Sistemin kontrolü için gerekli olan sistem durum ve giriş matrislerinin bulunabilmesi için ölçeklendirilmiş lineer olmayan model lineerleştirilmiştir.

İstif [2], Değişken yörünge ve değişken yük koşulları altındaki, oransal valf tarafından kontrol edilen bir hidrolik silindir sisteminin, yapay sinir ağı model temelli kontrol ile konum kontrolü gerçekleştirilmiştir. Yapay sinir ağı model temelli kontrol ve doğrusallaştırılmış geri beslemeli kontrol algoritmaları, dördüncü mertebeden lineer olmayan sistem modeline uygulanarak konum kontrolü gerçekleştirilmiştir. Sistem parametreleri değiştirilmek suretiyle sinüzoidal ve basamak referans yörüngeler kullanılarak yapay sinir ağı model temelli kontrol

algoritmalarının performansı incelenmiştir.

Büyüksavcı [4], Elektro hidrolik bir deney tesisatına PD kontrol, Bulanık mantık kontrol, ve Kayan rejimli kontrol tekniklerini uygulamıştır. Sisteme uygulanan kontrol uygulamaları karşılaştırmalı bir biçimde irdelenmiştir. Kullanılan tüm kontrol programları C programlama dili ile gerçekleştirilmiştir.

Kandemir [3], Elektro hidrolik bir deney tesisatına Matlab Real Time Workshop programı ile PD kontrol ve bulanık mantık kontrol teknikleri uygulamıştır.

Chen, Shih [5], Hidrolik bir servo sisteme, bulanık mantık PID sistemi, değişken karşı kuvvetler altında uygulanmıştır. Sistemin değişken yük altındaki başarımı incelenmiştir.

Kutlu, Güner [6], asimetrik silindire sahip elektro hidrolik sistem üzerinde dijital PD ve bulanık mantık kontrollerini uygulayarak, sonuçları sürekli rejim hatası, yerleşme zamanı ve aşma miktarı açısından karşılaştırılmıştır. Deneysel çalışma sonunda bulanık mantık kontrolün, sistemdeki parametre değişimlerine hassasiyetinin daha az olduğu gösterilmiştir.

Sepehri, Lawrence [9], Bir ağır iş makinesinin hidrolik kol mekanizması, bulanık mantık PD kontrolör kullanılarak kontrol edilmiştir.

Corbet, Sepehri, Lawrence [10], Hidrolik sistemle tahrik edilen bir endüstriyel robotun bulanık mantık kontrolünü gerçekleştirmişlerdir.

Rahbari, Roya; De Silva, Clarence W. [21], Somon balığı kesiminde kullanılmak üzere hidrolik bir sisteme bulanık mantık kontrol uygulanmıştır. Ayrıca, CCD kamera ile görüntü işleme gerçekleştirilmiştir.

Eryılmaz, Bora [22], Elektro hidrolik bir sistemin lineer olmayan modellenmesinin iyileştirilmesi ve bunun kontrolü gerçekleştirilmiştir.

Karasakal, Onur; Yeşil, Engin; Güzelkaya, Müjde; Eksin, İbrahim [23], PLC üzerinde kendi kendini ayarlayabilen yeni bir bulanık mantık PID kontrolör

gerçekleştirilmiştir. Deney düzenekleri üzerinde S7-200 PLC ile ayrıca farklı kontrol metotları da denenmektedir.

Kıvanç, Zehra [24], Bir termal deney sisteminin ve bir elektrik motorunun PLC kullanılarak ayarlanabilir bulanık mantık kontrolü gerçekleştirilmiştir. Sistemler yavaş olduğundan dolayı PLC’de yavaş karar verme süresi kontrol üzerinde kötü bir etki oluşturmamıştır.

Thomas, Michael Brian, MS [25], Allen Bradley Logix5550 PLC ile pnömatik bir hareketlendiricinin ileri servo kontrolü üzerine çalışılmıştır.

Mohan, Ashwin [26], Control Logix PLC üzerinde , RXLOGIX 5000 programında fonksiyon blokları ve röle mantıkta geliştirilmiş bir bulanık kontrolör çalışılmıştır. Kontrolör 3 veya 5 üyelik fonksiyonu çalıştırma kapasitesine sahiptir ve 128 kurala kadar çalıştırabilmektedir. Standart 64 k kapasiteli PLC ile çevrim süresi 20 s, 500 k ek program ile Control Logix PLC cevabı 2 s değerine inmiştir. Bu yüksek lisans tezi 2004 Mayıs ayında Missouri-Columbia Üniversitesinde yapılmıştır.

2. ELEKTROHİDROLİK SİSTEM MODELLERİ

2.1 Giriş

Hidrolik sistemler çoğunlukla hızlı cevap ve yüksek güç gerektiren yüksek performans uygulamalarında kullanılmaktadır. Bu uygulamalar, konum ve kuvvetin yüksek bant genişliğinde kontrolü [27,28], araçlarda aktif titreşim sönümleyici [29] ve çok eksenli robot manipülatörlerin kontrolünü [30] içermektedir. Genellikle bir silindir olan hidrolik hareketlendirici, hidrolik sisteme bağlanmış yükün hareketini sağlamaktadır. Bir kontrol valfi, valf gövdesindeki makaranın üzerinden geçmek suretiyle hareketlendiriciye giren ve hareketlendiriciden çıkan akışkanı ölçer. Kontrol valfi , ya bir servo valftir veya bir oransal valftir. Servo valfe oranla daha ucuz olan oransal valf, makaraya direkt monte edilmiş bir selenoid valf ve prensipte giriş akımına oransal makara hareketinden oluşmaktadır. Hidrolik sistemlerin performansı ağırlıklı kontrol valfine ve makaranın geometrisine ve valfin üretim toleranslarına bağlıdır. Üretim hassasiyeti, fiyat ve performans bakımından servo valfler oransal valflerden ayrılmaktadır.

Hidrolik kontrol uygulamalarında; oransal valfler, servo valflere oranla çeşitli avantajlar sunmaktadır. Oransal valfler, servo valflere oranla daha ucuzdur. Ayrıca, akışkan kirliliğinden dolayı bozulmaya karşı daha az eğilimli oldukları için endüstriyel ortamlar için daha uygundur. Buna ek olarak; oransal valfler hassas ve tam ölçülerde işlenmiş malzemeler içermediği için tamir ve bakımı daha kolaydır. Bununla birlikte; bu avantajlar lineer olmayan cevap karakteristiklerini de beraberinde getirmektedir.

Oransal valfler, daha düşük işleme toleranslarına sahip olduklarından performans düşüklüğüne uğrarlar. Makara geometrisindeki yüksek boşluklar, cevap

lineersizliğine, özellikle sıfır makara konumunda sebep olmaktadır. Oransal valfler, “sıfır boşluklu” valflerin yumuşak akış özelliklerinden yoksundur, ki bu servo valflerde yüksek üretim maliyetlerinde oldukça yaklaşılmış bir durumdur. Makara geometrisindeki ufak değişiklikler hidrolik sistem dinamikleri üzerinde büyük etkilere neden olabilir. Örnek olarak, bir “pozitif boşluklu” geometri, akış karakteristiğindeki ölü bölge karakteristiğinden dolayı devamlı hal hatasına sebep olur [31]. Diğer taraftan, bir “negatif boşluklu” geometri, sıfır makara pozisyon konumları etrafında arttırılmış akış miktarına bağlı olarak kararsızlıklar ortaya çıkarabilir. Bu nedenle, sıfır boşluklu valf modeli, oransal valf kullanılan hidrolik kontrol sistemlerinin tasarımında yeterli değildir. Hidrolik sistemlerin tasarımı ve analizi için daha ayrıntılı oransal valf modeline ihtiyaç vardır.

Uygun bir model olmaksızın, hidrolik sistem performansının lineer olmayan analizi mümkün değildir. Son on yılda sayılı lineer olmayan kontrol stratejileri geliştirildi [32,33], bir oransal valfin lineer olmayan genel bir modelin olabilirliği öncekilerin sonrakilere uygulanabilirliğini olasılığını arttıracaktır. Bu bölümde, genel oransal bir kontrol valfi için lineer olmayan matematik modeli incelenecektir. Bu model, fiziksel değişkenlikleri ve makara geometrik özelliklerinin bütünün valf akış bağlantılarındaki akış debisi ile bağdaştırmaktadır. Geliştirme, sıfır boşluklu, pozitif boşluklu ve negatif boşluklu durumları için akış debisi denklemlerinin bir tek set elde edilmesidir. Akış oranı sürekli olarak ifade edilmiştir fakat makara boşluk parametreleri gibi diğer genel parametreler için lineer olmayan fonksiyonlar kullanılmıştır. Basitleştirilmiş akış denklemlerini makara geometrisinden kaynaklanan lineersizlikler saklı tutularak belli genel kabuller çerçevesinde (eşit silindir odacık hacimleri ve sıkıştırılmaz akışkan gibi) elde edilir.

Bu bölümde öncelikle çeşitli lineer olmayan etkileri tanımlayan bir esnek orifis modeli için orifis akış denklemi geliştirildi. Orifis denklemi, hidrolik oransal valf modelinin temelini oluşturmaktadır. Tipik bir hidrolik kontrol uygulamasında, bir

hidrolik silindir hareketlendirici olarak görev yapar. Daha sonra, bu tür hareketlendiriciler için matematik model sunulmuştur.

2.2 Oransal Valf Modeli Çıkarımı

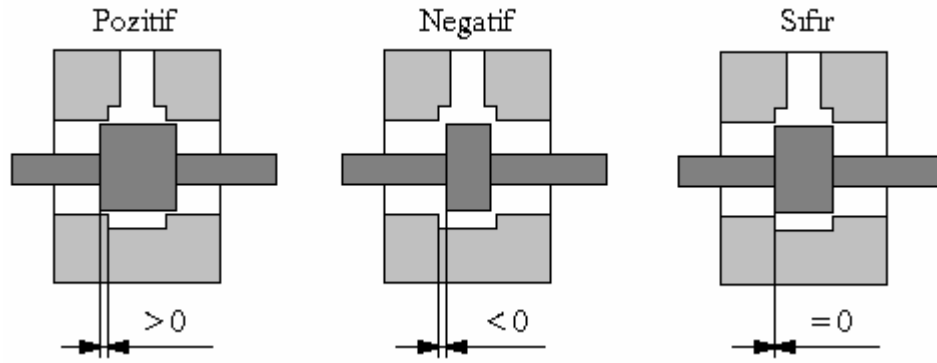
Bir çok akışkan gücü kontrol uygulamaları akışkanın akış kontrolü için bir çok değişik orifis kullanır. Kayan bir eleman, veya makara, akışı şekillendiren çeşitli sınırlara sahiptir. Makaranın hareketi, her bir sınır için akış açığına çıkaran karşılıklı akış yollarının alanlarının değişmesine sebep olur. Bunun yanında, orifisin akış-basınç ilişkisi ile değişimlere sebep olur. Bir negatif boşluklu valf, sınırdan daha büyük olan bir orifis akış yolu açıklığına sahip iken, bir pozitif boşluklu makara valf sınırından daha küçük olan bir orifis akış yolu açıklığına sahiptir.

Bunun yanında, boşluk olayı çeşitli avantajların sağlanmasında önemlidir. Bir pistonun kontrol kenarlarından her biri, farklı piston boşluğuna sahip olabilir. Piston boşluğu, piston ile silindir arasındaki boşluğun yanı sıra bununla ilgili olarak kaçak yağ miktarını da belirler. Uygulama durumuna göre, uygun olan boşluk şekli seçilir:

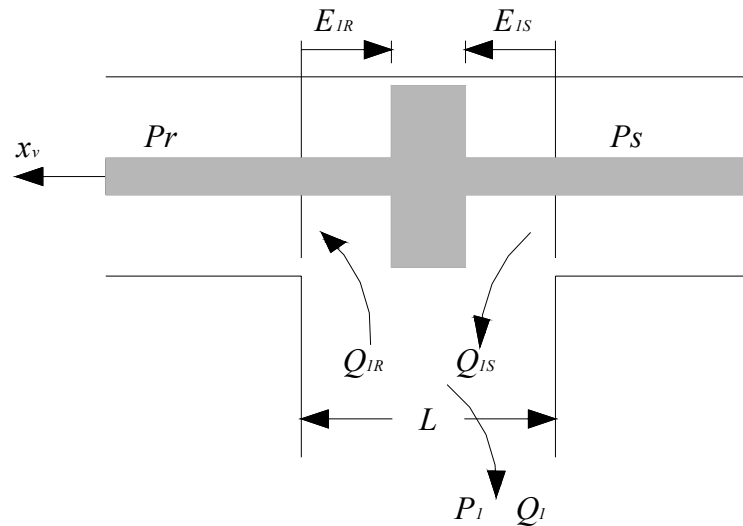
- Pozitif boşluk (overlapped) : Konum değiştirmede, kısa bir süre için tüm kapıların birbiri ile bağlantısı kesilir; basınçta çalkalanma olmaz (biriktiricisi olan sistemler için önemli); ani basınç yükselmesi ile darbeli geçiş ve sert kalkış söz konusudur.
- Negatif boşluk (underlapped) : Konum değiştirmede, kısa bir süre için tüm kapıların birbiri ile bağlantısı sağlanır; basınç kısa bir süre için düşer (ağırlıklar aşağı iner). Tezde kullanılan oransal valf negatif boşluk özelliktedir.
- Pompa öncelikli kalkış : Konum değiştirmede, önce pompa ile iş elemanının bağlantısı, sonra iş elemanı çıkışının tank ile bağlantısı temin edilir.

- Tank öncelikli açılış : Konum değiştirmede, iş elemanı girişi ile pompa arasındaki bağlantının kurulmasından önce, iş elemanı çıkışı ile tank arasındaki bağlantı temin edilir.
- Sıfır boşluk : Kenar kenara durumunu ifade eder. Valflerde hızlı konum değiştirmeler için önemli olup, konum değiştirme yolu kısadır.

Çok konumlu valflerde, kullanım amacına bağlı olarak aynı valfin içinde farklı piston boşlukları olabilir. Bu yöntemle, piston boşlukları valften istenenleri karşılayacak şekilde düzenlenir.



Şekil 2.1 Pozitif boşluk, negatif boşluk ve sıfır boşluk



Şekil 2.2 Makara valf orifisi

Şekil 2.2 deki değişik orifisler, hidrolik sistemlerin kontrolü için temel unsurdur. Orifis yolları (Q_{IS} , Q_{IR} , Q_I) ile ilişkili 3 akış oranı vardır. Besleme ve basınç yolları

anılan sıraya göre pompa ve tank hatlarına bağlıdır. Orifis çıkı yolu, ayarlanmış akışı sağlar ve genellikle hidrolik silindir gibi bir hareketlendiriciye bağlıdır. ε_{1S} ve ε_{1R} parametreleri, orifisin besleme ve dönüş yollarındaki makara negatif boşluk ve makara pozitif boşluk durumunu sergiler ve birbirinden bağımsız olarak ayarlanabilir. Şekilde de gösterildiği gibi, sıfır makara konumu halinde, bu parametrelerin *pozitif* değerleri makara *negatif boşluğa* karşılık gelir. Benzer olarak, *negatif* parametre değerleri, bir *pozitif boşluklu* makarayı ifade eder.

Çeşitli basitleştirme kabulleri ve valf modelleri uygulamalarda kullanıldı. Bir çok hidrolik kontrol sistemi sıfır boşluklu valfler kullanmaktadır, ki bunlarda makara sınırları mükemmel bir şekilde valf akış yollarına denk gelir, öyle ki $\varepsilon_{1S} = \varepsilon_{1R} = 0$ dır. Tipik olarak, besleme basıncı P_s akış yolu basınçlarından büyüktür ve dönüş tank basıncı P_R diğerlerinden küçüktür. Bu kabul ile akış geri dönüşü yok sayılır, öyle ki akış ya besleme hattından çıkış yoluna yönelmiştir yada çıkış yolundan dönüş hattına yönelmiştir. Akış doygunluğundan kurtulmak ve lineerleştirilmiş analizleri kullanmak için, makara hareketi genelde $|x_v| \ll L$ ile sınırlandırılır. Bu koşullar altında, orifis denklemi şu şekilde basitleştirilir:

$$Q = \begin{cases} C_d w \sqrt{2/\rho} \sqrt{P_s - P_1} x_v, & x_v \geq 0, \\ -C_d w \sqrt{2/\rho} \sqrt{P_1 - P_R} x_v, & x_v < 0, \end{cases} \quad (2.1)$$

böylelikle, verilen zamanda sadece besleme veya geri dönüş orifisleri açıktır [31].

Yukarıdaki kabuller orifis modelini basitleştirmiş olsa da, bunlar yüksek performans uygulamalarında her zaman geçerli değildir. Hidrolik kontrol sistemlerinde akışkan akış özelliklerinin hızlı değişimi sert bozucu girişler ile ve büyük dinamik yüklerin hareketi ile düşünülebilir. Bu koşullar altında, çeşitli akış düzensizlikleri meydana gelecektir. Bunlar basınç hattına geri akışı ($P_1 > P_s$) veya tanktan akış yoluna geri akışı içermektedir ($P_1 < P_R$). Ayrıca, makara zamanla kendiliğinden veya üretim toleranslarından dolayı kritik merkezde olmayabilir. Bu nedenle, hem besleme hem

de dönüş orifisi veya ikisinden hiçbirisi verilen zamanda açık olabilir. Bu düşünceler, gerçek operasyon koşullarını sunacak daha kompleks bir orifis modelini gerekli kılmaktadır. Besleme tarafındaki debi akışı için çeşitli lineersizlikleri de içeren genelleştirilmiş denklem aşağıdaki gibidir:

$$Q_{1S} = \begin{cases} 0 & \text{for } x_v \leq -\varepsilon_{1S}, \\ \alpha \cdot \text{sgn}(P_S - P_1) |P_S - P_1|^{1/2} (x_v + \varepsilon_{1S}) & \text{for } -\varepsilon_{1S} < x_v < L - \varepsilon_{1S} \\ \alpha \cdot \text{sgn}(P_S - P_1) |P_S - P_1|^{1/2} (L) & \text{for } L - \varepsilon_{1S} \leq x_v \end{cases} \quad (2.2)$$

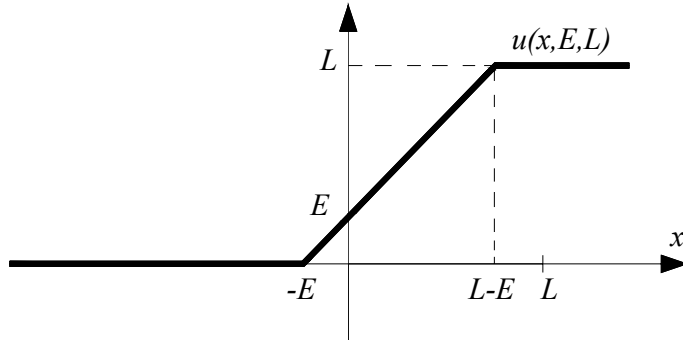
burada $\alpha = C_d w \sqrt{2/\rho}$ dur. Basit olarak, dönüş tarafındaki debi akışı için denklem aşağıdaki gibidir:

$$Q_{1R} = \begin{cases} 0 & \text{for } -x_v \leq -\varepsilon_{1R}, \\ \alpha \cdot \text{sgn}(P_1 - P_R) |P_1 - P_R|^{1/2} (-x_v + \varepsilon_{1R}) & \text{for } -\varepsilon_{1R} < -x_v < L - \varepsilon_{1R} \\ \alpha \cdot \text{sgn}(P_1 - P_R) |P_1 - P_R|^{1/2} (L) & \text{for } L - \varepsilon_{1R} \leq -x_v \end{cases} \quad (2.3)$$

Yukarıdaki denklemlerde (2.2) ve (2.3) x_v parametresinin değerlerinin büyüklüğü benzer kalmaktadır, yalnızca x_v işareti terslenmiştir. Bunun nedeni, x_v parametresi değiştikçe çıkış portunun bir tarafında orifis daha büyük olurken diğer taraftaki açıklık daha küçük olmaktadır. Ayrıca, akış denklemleri (1), orifislerden türbülanslı akış olduğunu, herhangi bir iç kaçağın olmadığını ve kavitasyon olmadığı durumları öngörmektedir. Çıkış portundaki toplam akış debisi, Q_1 , besleme ve dönüş tarafındaki debilerin farkına eşittir:

$$Q_1 = Q_{1S} - Q_{1R} \quad (2.4)$$

Bu akış denklemleri tamamen geneldir ve daha önce bahsedilen çeşitli lineer olmayan etkileri kuşatmaktadır. Tam anlamıyla yukarıdaki akış denklem, negatif boşluk veya pozitif boşluk, asimetric tarafsız makara pozisyonu, ve akış geri dönüşünü modellemektedir. Denklem (1) deki akış denklemleri analiz edilmesi ve yorumlanması zor gözükse de, bir saturasyon fonksiyonu kullanırsak denklemler basitleşmiş olur. Saturasyon denklemini aşağıdaki gibi inceleyebiliriz:



Şekil 2.3 Saturasyon fonksiyonu ($E \geq 0$ için)

Şekil 2.3 de gösterilen saturasyon fonksiyonu aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

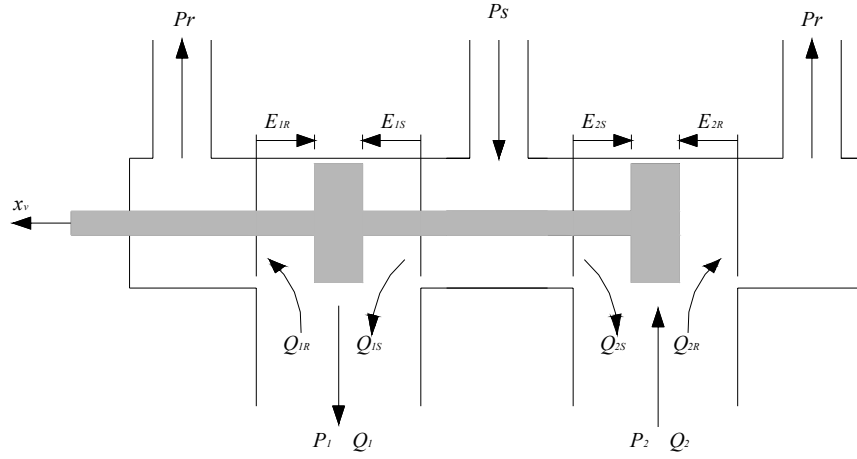
$$u(x, \varepsilon, L) = \begin{cases} 0 & \text{for } x \leq -\varepsilon \\ x + \varepsilon & \text{for } -\varepsilon < x < L - \varepsilon \\ L & \text{for } L - \varepsilon \leq x \end{cases} \quad (2.5)$$

bu fonksiyonu kullanarak, orifis denklemleri daha da basit olarak ifade edilebilir:

$$\begin{aligned} Q_1 &= Q_{1S} - Q_{1R} \\ &= \alpha \left[\text{sgn}(P_S - P_1) |P_S - P_1|^{1/2} u(x_v, \varepsilon_{1S}, L) - \text{sgn}(P_1 - P_R) |P_1 - P_R|^{1/2} u(-x_v, \varepsilon_{1R}, L) \right] \end{aligned} \quad (2.6)$$

2.3 Oransal Valf Modeli

Orifis akışı için kısa bir ilişki kurduktan sonra, şimdi bu ilişkiyi Şekil 2.4 de oransal valfde gösterildiği gibi dahil edeceğiz.



Şekil 2.4 Hidrolik oransal valf

İki orifis denkleminin birleştirilmesinden oluşan model oluşmaktadır, öyle ki makaralar rijit olarak birbirine bağlanmıştır ve buna bağlı her bir yer değiştirme bağlantılıdır. Port 1 için akış denklemini, orifis denklemi (2.6) ile aynıdır. Port 2 için akış denklemi de benzer forma sahiptir ancak besleme ve geri dönüş hatlarının pozisyonları birbiri ile yer değiştirmiştir. Makara pozisyon değişkeni, x_v , işareti dikkate alınarak modifiye edilmiş denklem aşağıdaki gibidir:

$$\begin{aligned}
 Q_2 &= Q_{2R} - Q_{2S} \\
 &= \alpha \left[\text{sgn}(P_2 - P_R) |P_2 - P_R|^{1/2} u(x_v, \varepsilon_{2R}, L) - \text{sgn}(P_S - P_2) |P_S - P_2|^{1/2} u(-x_v, \varepsilon_{2S}, L) \right]
 \end{aligned}
 \tag{2.7}$$

Akış denklemi (2.6) ve (2.7), hidrolik oransal valflerin lineer olmayan bütün önemli özelliklerinin simülasyonunda kullanılabilir. Valf makara negatif boşluk, pozitif boşluk ve makara asimetrikliği, valf parametreleri değiştirilerek simüle edilebilir. Port 1 karakteristikleri ε_{1S} ve ε_{1R} parametreleri ile değiştirilebilir. Simetrik pozitif boşluklu bir makara $\varepsilon_{1S} = \varepsilon_{1R} < 0$, bir simetrik negatif boşluklu makara ise $\varepsilon_{1S} = \varepsilon_{1R} > 0$ parametre değerlerine sahiptir. Asimetrik makara özellikleri ve valf makaraları arasındaki nötr pozisyon ofseti, pozitif boşluk ve negatif boşluk değerleri

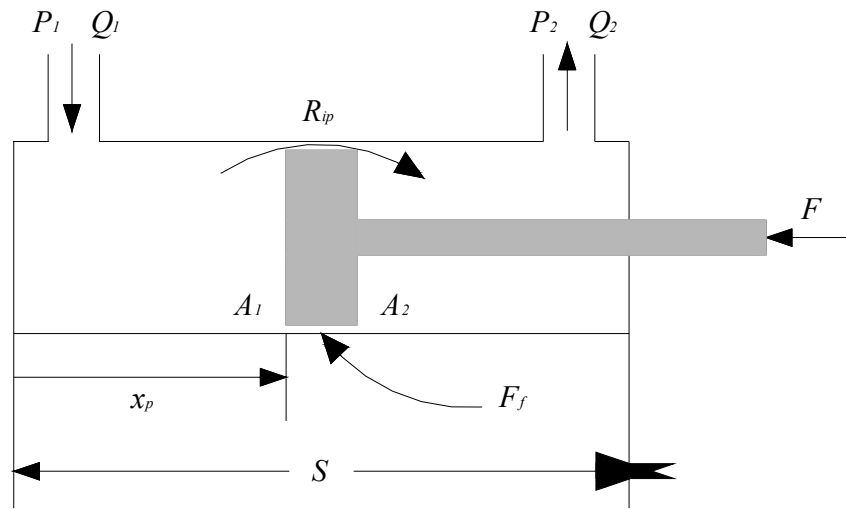
kullanılarak modellenabilir, $\varepsilon_{1S} \neq \varepsilon_{1R}$. Benzer kullanım, port2'nin ε_{2S} ve ε_{2R} parametreleri için de uygulanabilir.

Bu bölümdeki içerik, akış debisi ve valf-makara yer değişimi arasında bir ilişki gerçekleştirmektir.

2.4 Hidrolik Silindir Modeli

Uygulamalarda, hidrolik hareketlendirici genel olarak bir çift etkili hidrolik silindirdir. Silindir portları oransal valfe bağlıdır ve piston hareketi, silindir bölmelerine giren ve bölmelerden çıkan akışkan yağın ayarlanması ile sağlanır.

Çift etkili bir hidrolik hareketlendiricinin hareketi Şekil 2.5'de gösterildiği gibi Q_1 ve Q_2 akışlarının ayarlanması ile tam olarak kontrol edilebilir. Buna rağmen, piston hareketi, x_p , ve akış debileri arasındaki ilişki pistona etki eden yüklerin dinamik özelliklerine bağlıdır.



Şekil 2.5 Çift etkili hidrolik piston

Yağ ve hareketlendirici özellikleri, bu ilişkinin formunu tam olarak belirliyor. Hidrolik akışkan sıkıştırılabilirliği ve bölmeler arasındaki kaçak yağ akışı akış debisini etkiliyor. Akışkan sıkıştırılabilirliği şu formül ile ifade edilebilir:

$$dV = -\frac{V}{\beta} dP, \quad (2.8)$$

burada β akışkan sıkıştırılabilirlik modülü, V bölme hacmi, ve P ise akışkan basıncıdır. Hidrolik akışkanlar için, sıkıştırılabilirlik modülü neredeyse sabit bir değerdir. Silindir bölmeleri arasındaki kaçak yağ akışı ise pistondaki basınç farkının lineer bir fonksiyonu şeklindedir [1], aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$Q_{ip} = R_{ip} (P_1 - P_2) \quad (2.9)$$

burada R_{ip} ifadesi iç kaçak katsayısını temsil eder. Silindirin her iki tarafına süreklilik denklemi uygulandığında;

$$\frac{V_1}{\beta} \dot{P}_1 = -\dot{V}_1 - R_{ip} (P_1 - P_2) + Q_1, \quad (2.10)$$

$$\frac{V_2}{\beta} \dot{P}_2 = -\dot{V}_2 + R_{ip} (P_1 - P_2) - Q_2, \quad (2.11)$$

burada,

$$V_1 = V_{10} + A_1 x_p, \quad (2.12)$$

$$V_2 = V_{20} + A_2 (S - x_p), \quad (2.13)$$

ifadeleri silindirin her iki tarafındaki toplam akışkan hacmini ifade eder [9]. Burada, S piston stroku, ve V_{10} ve V_{20} silindirin her iki tarafındaki bağlantılar ve borulardaki akışkan hacmini ifade ederler. (2.10 ve 2.11) denklemlerinde sol taraftaki ilk terim, yağ sıkıştırılabilirliğinin akışkan debisi üzerindeki etkisini açıklar. Sağ taraftaki ilk terimler ise, piston hareketine bağlı olarak hacim değişiminin bir fonksiyonu olarak akış debisini ifade eder.

Hareketlendirici tarafından uygulanan net kuvvet, F , hidrolik kuvvet ve sürtünme kuvvetinin farkıdır:

$$\begin{aligned}
F &= F_{hyd} - F_f(\dot{x}_p) \\
&= A_1 P_1 - A_2 P_2 - F_f(\dot{x}_p)
\end{aligned} \tag{2.14}$$

Sürtünme kuvveti, signum fonksiyonu ile yaklaşım yapılmış Coulomb sürtünmesi ile viskoz sürtünmenin bir kombinasyonu olarak modellenebilir:

$$F_f(\dot{x}_p) = \mu \operatorname{sgn} \dot{x}_p + b \dot{x}_p \tag{2.15}$$

burada μ Coulomb sürtünme katsayısı ve b ise viskoz sürünme katsayısıdır.

Sürtünme kuvveti teriminin , $F_f(\dot{x}_p)$, içerisine daha genel sürtünme modelleri eklenebilir.

3. KONTROL TEKNİKLERİ

3.1 PD Etkili Sürekli Kontrol

PD (oransal-türev) etkili kontrolörün en genel ifadesi şu şekildedir:

$$u(t) = K_p \cdot \left(e(t) + \tau_d \frac{de(t)}{dt} \right) \quad (3.1)$$

$$K_v = K_p \cdot \tau_d \quad (3.2)$$

$$e(t) = y_{ref} - y \quad (3.3)$$

$$u(t) = K_p \cdot e(t) + K_v \cdot \frac{de(t)}{dt} \quad (3.4)$$

Burada,

K_p : Oransal kontrol katsayısı

K_v : Diferansiyel kontrol katsayısı

τ_d : Diferansiyel zaman

$e(t)$: Hata değeri

y_{ref} : Referans değeri

y : Ölçülen değeri

Sistem modeli ve gerçek zamanlı deney düzeneği üzerinde çalışırken, kontrol parametrelerinin bulunmasında “Ziegler-Nichols sürekli titreşim tekniği” yöntemi kullanılmıştır. Gerçek zamanlı olarak çalışırken bu yöntem ile elde edilen K_p , τ_d değerleri, en iyi değerleri bulabilmek amacıyla referans değerler olarak alınmıştır. Daha sonra bu değerler etrafında oynanarak değişik şartlar altında, sistem cevabı en

iyi olan çift seçilmiştir.

3.1.1 Sürekli Zamanda Tasarım, Ayırık Zamana Dönüşüm ; Hız Algoritmaları

Sürekli kontrol organının bilgisayar veya PLC gibi cihazlarda kullanılabilmesi için ayırık zamanda yazılmalıdır. Bu tasarım tekniği, her ne kadar örnekleme işleminin etkisini hesaba katmasa da sürekli kontrol organı tasarımı ve tecrübelerinin kullanılmasına olanak tanımaktadır. Uygun küçüklükte bir örnekleme periyodu T_s seçilmelidir ki, ayırıklaştırma işlemi dinamik değerleri değiştirmesin; aksi taktirde sürekli zaman tasarım özellikleri sistemin ayırık zaman işlemlerini karşılamayacaktır. Çok büyük bir örnekleme periyodu ise performansı kötüleştirecektir ve sürekli zamandaki tasarımı kararlı bile olsa ayırık sistemi kararsız yapabilir. [34]

Tasarlanan kontrolörün transfer fonksiyonu genellikle dikdörtgen integrasyon ve eşitlik, ters yönde fark metotları gibi en kolay yollarla ayırıklaştırılır. Zaman evreninde (domain) bir PID kontrolör transfer fonksiyonu aşağıdaki verilmiştir:

$$m(t) = K_c \left(e(t) + \frac{1}{\tau_i} \int e(t) dt + \tau_d \frac{de(t)}{dt} \right) \quad (3.5)$$

Ayrık hali aşağıdaki gibidir:

$$m(k) = K_c \left(e(k) + \frac{T}{\tau_i} \sum_{i=0}^k e(i) + \frac{\tau_d}{T} [e(k) - e(k-1)] \right) \quad (3.6)$$

burada I integral teriminin ayırıklaştırılması için dikdörtgen integrasyon yaklaşımı kullanılmıştır, D türev etkisi için ise ters yönde fark yaklaşımı kullanılmıştır. Yukarıdaki formül k yerine k-1 için tekrar yazıldığında:

$$m(k-1) = K_c \left(e(k-1) + \frac{T}{\tau_i} \sum_{i=0}^{k-1} e(i) + \frac{\tau_d}{T} [e(k-1) - e(k-2)] \right) \quad (3.7)$$

farklarını alırsak aşağıdaki formülü elde ederiz:

$$\Delta m(k) = m(k) - m(k-1) \quad (3.8)$$

$$\Delta m(k) = K_c \left(e(k) - e(k-1) + \frac{T}{\tau_i} e(k) + \frac{\tau_d}{T} [e(k) - 2e(k-1) + e(k-2)] \right) \quad (3.9)$$

algoritması bize her zaman adımındaki içerikteki değişkenlerin değişimlerini verir. Bu algoritma “hız algoritması” olarak da tanımlanır. Dijital kullanımlarda, hız algoritmaları “artımsal algoritmalar” olarak adlandırılır.

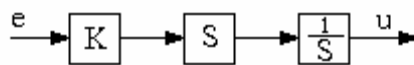
3.1.2 Hız Algoritmaları

Hız algoritmaları, motorlar etrafında kurulan çok eski kontrolörlerde genellikle kullanılıyordu. Bir çok durumda teknolojinin değiştiği zamanlarda eski ekipmanlar ile fonksiyonel bütünlük sağlamak için bu yapı üreticiler tarafından tutulmaya devam etti. Diğer bir sebep ise, wind-up koruma ve vuruntusuz parametre değişimi gibi bir çok pratik konularda hız algoritmasını kullanma kolaylığıdır.

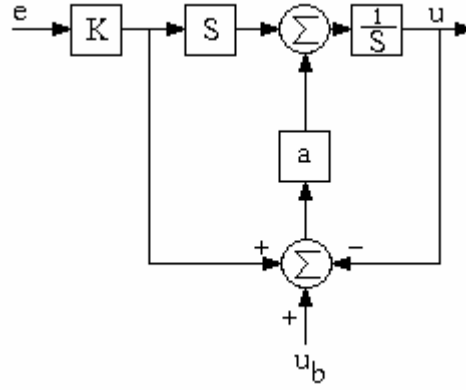
Bir hız algoritması, integral etkisi olmayan bir kontrolör için direk olarak kullanılamaz, çünkü böyle bir kontrolör durağan değeri algılayamaz. Bu, şekil 3.1 de gösterilen blok diyagramdan anlaşılabılır. Burada hız formunda bir oransal kontrolör gösterilmiştir. Hatanın herhangi bir değeri için durağanlık elde edilebilir, çünkü herhangi bir sabit giriş için türev bloğunun çıkışı sıfırdır. Bu sorun şekil 3.2 de gösterilen yapı ile çözülebilir. Burada ise durağanlık sadece $u = Ke + u_b$ olduğunda elde edilir [35]. Eğer örneklemeli bir PID kontrolör kullanılırsa şekil 3.2 de gösterilen metodun basit bir versiyon P kontrol aşağıdaki gibi yerine koyularak elde edilir:

$$\Delta u(t) = u(t) - u(t-h) = K.e(t) + u_b - u(t-h) \quad (3.10)$$

Burada, “h” örnekleme periyodudur.



Şekil 3.1 Hız formundaki oransal kontrolör ile zorluğa örnek



Şekil 3.2 Bu zorluktan kaçınmak için önerilen bir yol

3.2 Bulanık Mantık Kontrol (Fuzzy Logic Control)

Bulanık küme kavramı ilk olarak 1965 yılında California Üniversitesi öğretim üyelerinden Prof. Lotfi Zadeh tarafından bir makaleyle ortaya atılmış [36] ve hızla gelişerek birçok bilim adamının ilgisini çeken, araştırmaya açık yeni bir konu oluşturmuştur. Değerleri 1 ve 0 olarak değil, bunların arasındaki tüm değerlerde kabul eden insanın karar verme sistemine uygun kümelerdi. Böylelikle, “bulanık” kelimesinin anlamı kesinliğin olmadığını belirten “şekilde belirsizlik” olmuştur. Modellemedeki belirsizlikler gerçek hayatın bir parçasıdır ve bunlar değiştiremeyeceğimiz gerçeklerdir. Ayrıca, bu belirsizlikler arzu edilmemesine rağmen varlıklarını kabul etmemektense modellerde olmaları gereklidir. İnsan günlük hayatında belirsizliklerle iç içedir. Günlük yaşantımızda, renklerin koyuluğu, ısı derecesi, uzunluklar dilsel değişkenlerle ifade edilir.

Bulanık küme teorisinin ortaya atılmasından sonra Zadeh 1973'te yayınladığı notlarında bulanık küme teorisinin en iyi yaklaşıklıkla insanın karar verme sistemini modelleyebilecek yapıda olduğu fikrini ileri sürmüştür. Geçen zaman içerisinde bulanık kontrolün dayandığı bulanık mantığın, insan düşünme yapısına ve dilsel değişkenlerine klasik mantıktan çok daha yakın olduğu kabul edilmiştir. Yaklaşık 10 yıl sonra, 1974'de Mamdani, [14] pratikte bulanık mantığı kontrol için uygulamayı başarmıştır, böylelikle bulanık mantık akıllı kontrol sistemlerinin gelişmesinde en

etkili tekniklerden biri olmuştur.

İlk olarak Prof. Zadeh tarafından kullanılan bulanık mantık, temelde çok değerli (multivalued) mantık, olasılık kuramı, yapay zeka ve yapay sinir ağları üzerine oturtulmuş olup olayların oluşum olasılığından çok olabilirliğiyle ilgilenen bir kavramı tanımlamaktadır. Olasılık ve bulanık kavramları arasındaki en önemli farklılık bulanıklığın bir deterministik belirsizlik olmasıdır.

Bulanık sistemler bilgi tabanlı ve kural tabanlı sistemlerdir. Bulanık mantığın temeli EĞER-İSE kurallarından oluşmaktadır. Literatürde bulanık mantık için iki şekilde açıklama yapılmaktadır:

- Gerçek dünya çok net ve açık tanımlamalar yapmak için fazlasıyla karmaşıktır. Bundan dolayı bir yaklaşıklık (bulanıklık) yapmak zorunluluğu vardır.
- Gerçek sistemler için önemli bilgiler iki kaynaktan elde edilir. Birinci kaynak; insan tecrübesi, diğeri ise sensör ölçümleri ve fiziksel kanunlardan çıkarılan matematiksel modeldir. Hedef, bu iki bilgi kaynağını kullanarak sistem tasarımını yapmaktır. Bu kombinasyonu oluşturmak için insan tecrübesini ve bilgisini, matematiksel modele ve sensör ölçümlerine göre nasıl formüle edilebileceğini saptamak anahtar problemidir. Diğer bir deyişle sorun insan bilgisinin ve tecrübesinin nasıl formüle edileceğidir.

Özellikle Japonya’da bulanık mantık kontrol kullanan bir çok ürün kullanılmaktadır. Bulanık mantık kontrolörlerin kullanım alanı her geçen gün arttığı için endüstride halihazırda kontrol için kurulu olan PLC (Programlanabilir Lojik Kontrolör) cihazlarında bulanık mantık algoritmalarının uygulanması uygun olacaktır.

Bulanık sistemler kontrol, işaret işleme, haberleşme ve uzman istem olarak tıpta, iş hayatında çok geniş alanda uygulanmaktadır. Bununla birlikte en önemli uygulamalar kontrol problemleri üzerinde yapılmaktadır.

3.3 Bulanık Küme Kavramı

Değerleri 1 ve 0 olarak değil, bunların arasındaki tüm değerlerde kabul eden insanın karar verme sistemine uygun kümelerdir. İnsan günlük hayatında belirsizliklerle iç içedir. Günlük yaşantımızda, renklerin koyuluğu, ısı derecesi, uzunluklar dilsel değişkenlerle ifade edilir.

Klasik küme teorisinde bir elemanı ele aldığımızda bu elemanı iki farklı kategoride değerlendirmeye alırız (örneğin iyi-kötü, tek-çift, siyah-beyaz gibi). Ancak gerçek hayatta bu iki değerli mantık çoğu uygulamada yeterli değildir. Genellikle bu iki değer arasındaki kesin sınır belirgin değildir.

A kümesi U uzayında klasik bir küme olsun. Bu küme, bütün üye elemanları listeleyerek yada üye elemanları sağlayacağı özelliklerin belirlenmesiyle (kural metodu) oluşturulabilir. Liste metodu sadece sonlu kümeler için kullanılır. Kural metodunda ise A kümesi şu şekilde ifade edilir.

$$A = \{x \in U \mid x \text{ bazı kosulları sağlar}\} \quad (3.11)$$

A kümesini belirlemek için diğer bir metot ise 0-1 üyelik fonksiyonunu gösteren üyelik metodudur. $\mu_A(x)$ üyelik fonksiyonu olmak üzere

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 1, & \text{eger } x \in A \\ 0, & \text{eger } x \notin A \end{cases} \quad (3.12)$$

Bir bulanık küme, $[0,1]$ arasında değerler alan üyelik fonksiyonu $\mu_A(x)$ tarafından tanımlanır. Bir klasik kümenin üyelik fonksiyonu sadece iki değer yani 0 ile 1 değerleri alabilirken, bir bulanık kümenin üyelik fonksiyonu 0 ile 1 arasında herhangi bir değer alabilmektedir [8].

3.3.1 Bulanık Kümelerle İlgili Temel Kavramlar

U evrensel kümesinde tanımlı olan A ve B bulanık kümelerinin eşitlik, kapsama, tümleyen, birleşme ve kesişme özellikleri şu şekildedir:

- A ve B kümeleri ancak ve ancak her $x \in U$ için $\mu_A(x) = \mu_B(x)$ ise eşittir.
- Eğer her $x \in U$ için $\mu_A(x) \leq \mu_B(x)$ ise B kümesi A kümesini kapsar ve $A \subset B$ şeklinde gösterilir.
- Bir bulanık kümenin tümleyeni de bir bulanık kümedir ve üyelik fonksiyonu şu şekilde belirlenir.

$$\mu_{\bar{A}}(x) = 1 - \mu_A(x) \quad (3.13)$$

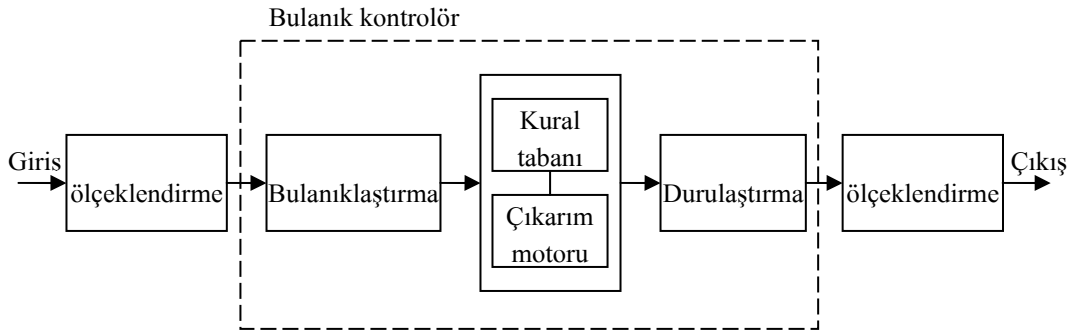
- A ve B bulanık kümelerinin birleşimi $A \cup B$ ile gösterilir ve üyelik fonksiyonu;

$$\mu_{A \cup B}(x) = \max[\mu_A(x), \mu_B(x)] \quad (3.14)$$

- A ve B bulanık kümelerinin kesişimi $A \cap B$ ile gösterilir ve üyelik fonksiyonu;

$$\mu_{A \cap B}(x) = \min[\mu_A(x), \mu_B(x)] \quad (3.15)$$

3.4 Bulanık Kontrolörün Yapısı



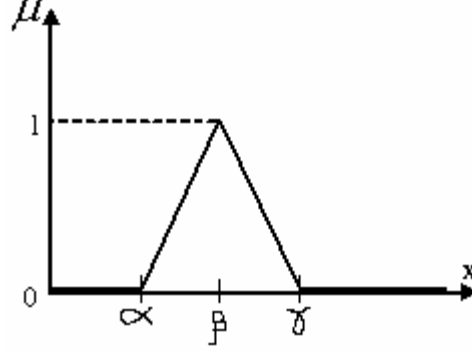
Şekil 3.3 Bulanık kontrolörün yapısı

Bulanık kontrolör Şekil 3.3 de görüldüğü gibi giriş ölçeklendirme bloğu ile çıkış ölçeklendirme blokları arasında yer alır. Bulanıklaştırma, kural tabanı, çıkarım motoru ve durulaştırma elemanlarından oluşur. Aşağıda kontrolör elemanları sırasıyla incelenecektir [11].

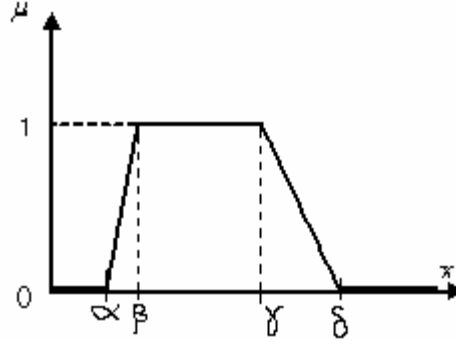
3.4.1 Bulanıklaştırma (Fuzzification)

Bulanıklaştırmanın amacı kontrolöre giren her bir giriş değişkenini, bulanık değişkenler kümesine çevirmektir. Giriş değişkenlerine dilsel terimler atanır. Üyelik fonksiyonlarının sayısı arttıkça, kontrolörün de hassasiyeti artar. Üyelik

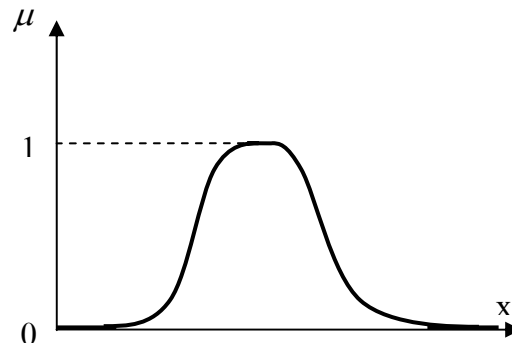
fonksiyonları giriş değerlerinin, üyelik derecesi 0-1 arasında alacağı değerleri gösteren eğrilerden oluşur. Aşağıda en çok kullanılan üyelik fonksiyonları çeşitleri gösterilmiştir.



Şekil 3.4 Üçgen (triangular) üyelik fonksiyonu



Şekil 3.5 Yamuk (trapezoidal) üyelik fonksiyonu



Şekil 3.6 Gaussian üyelik fonksiyonu

Bulanık kontrolörün tasarımında, her bir değişkenin her bir durumunu ifade eden doğru değişkenler ve tanımlar belirlenmelidir. Sıcaklık kontrolü gibi bazı örneklerde {düşük, orta, yüksek} dilsel değişkenleri yeterli gelmemektedir. Bu durumda, {çok

düşük, düşük, orta, yüksek, çok yüksek} gibi 5 üyelik fonksiyonu kullanılmaktadır.

Genel olarak kullanılan üyelik fonksiyonu Gaussian üyelik fonksiyonudur. Ancak endüstriyel fuzzy PLC uygulamalarında hesaplamayı kolaylaştırmak açısından üçgen ve yamuk üyelik fonksiyonlarının kullanımı tercih edilmektedir.

Yamuk üyelik fonksiyonu aşağıdaki parametreler ile ifade edilebilir:

$$\Pi(x; \alpha, \beta, \gamma, \delta) = \begin{cases} 0 & x < \alpha \\ (x - \alpha) / (\beta - \alpha) & \alpha \leq x \leq \beta \\ 1 & \beta \leq x \leq \gamma \\ 1 - (x - \gamma) / (\delta - \gamma) & \gamma \leq x \leq \delta \\ 0 & x > \delta \end{cases} \quad (3.16)$$

Üçgen üyelik fonksiyonu aşağıdaki parametreler ile ifade edilebilir:

$$\Lambda(x; \alpha, \beta, \gamma) = \begin{cases} 0 & x < \alpha \\ (x - \alpha) / (\beta - \alpha) & \alpha \leq x \leq \beta \\ (\gamma - x) / (\gamma - \beta) & \beta \leq x \leq \gamma \\ 0 & x > \gamma \end{cases} \quad (3.17)$$

Tek üyelik fonksiyonu aşağıdaki parametreler ile ifade edilebilir:

$$\delta(x - \alpha) = \begin{cases} 1 & x = \alpha \\ 0 & x \neq \alpha \end{cases} \quad (3.18)$$

Tezde PLC cihazında bulanık mantık algoritmasını yazılırken hesaplamada kolaylık olması açısından ve işlem zamanını kısa tutmak için yamuk, üçgen ve tek üyelik fonksiyonlarını kullanılmıştır.

3.4.2 Kural Tabanı Oluşturma (Rule Base)

Bulanık kural tabanı, bulanık EĞER-İSE kurallarından oluşmaktadır. Bu kurallar bulanık sistemin temelini oluşturmaktadır. Kural, “ EĞER $x = A$ ve $y = B$ ve ... İSE $z = C$ ” şeklindedir. Bir çok bulanık mantık uygulamasında kurallar geçmişteki tecrübelerle dayanılarak oluşturulur. Bulanık ifadeler daha karmaşık bir hal aldığında EĞER-İSE kurallarını oluşturmak daha zor olmaktadır. Genelde, bulanık kuralların

bir çok formu vardır. Basitçe aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir:

- Kuralın çıkış değeri bir sabit değer olabilir.
- Kuralın çıkışı bulanık değişkenlerin bir fonksiyonu şeklinde olabilir.:

EĞER A için değer A_1 ve B için değer B_1 İSE $Y=f(A,B)$

$f(.)$ fonksiyonu A ve B'nin lineer veya lineer olmayan bir fonksiyonu olabilir.

- Kuralın çıkışı bulanık dilsel etiketlerin bir fonksiyonu şeklinde olabilir:

EĞER A için değer A_1 ve B için değer B_1 İSE $Y=f(A_1, B_1)$

$f(.)$ fonksiyonu A ve B'nin lineer veya lineer olmayan bir fonksiyonu olabilir.

3.4.3 Bulanık Çıkarım Metodu (Fuzzy Inference Method)

Bulanık çıkarımda; bulanık mantık işlemleriyle, bulanık kural tabanındaki EĞER-İSE kuralları birleştirilerek giriş ve çıkış bulanık uzayı arasında bir bağıntı oluşturulur. Çoğu pratik sistemde bulanık kural tabanı birçok kuraldan oluşur. Literatürde bir çok değişik çıkartım metodunun bulunmasına rağmen en çok MAX-MIN ve MAX-PRODUCT çıkarım metotları kullanılır. MAX-MIN çıkarım metodu (Mamdani çıkarımı) özellikle durulaştırma aşamasında daha kolay ve hızlı sonuçlar verdiği için tercih edilir.

3.4.4 Durulaştırma (Defuzzification)

Çıkarım motorunun bulanık küme çıkışı (birden fazla çıkışı olabilir) üzerinde gerekli ölçek değişiklikleri yapılır ve bunlar gerçek sayı değerlerine dönüştürülür.

$$U = U_1 \times U_2 \times U_3 \dots \times U_n \subset R^n \text{ ve } V \subset R$$

Burada çok girişli ve tek çıkışlı bir sistem ele alınmaktadır. Çünkü çok girişli ve çok çıkışlı bir sistem daima çok girişli ve tek çıkışlı bir sisteme indirgenebilir.

Literatürde en yaygın olan üç çeşit durulaştırma yöntemi şu şekildedir:

1. Ağırlık merkezi yöntemi

2. Toplam alanın merkezi yöntemi
3. Maksimumların en büyüğü yöntemi

Tezde PLC’de çalıştırılan bulanık mantık algoritma programında durulaştırma yöntemi olarak ağırlık merkezi yöntemi kullanılmıştır. Denklemi aşağıdaki gibidir:

$$y_c = \frac{\sum_{i=1}^n y_i \cdot \mu_{Ai}(y_i)}{\sum_{i=1}^n \mu_{Ai}(y_i)} \quad (3.19)$$

3.5 Bulanık Kontrolör Tasarım Metotları

Bulanık kontrolör tasarım metotları olarak Sugeno’nun 4 önerisi vardır:

- Uzmanların tecrübeleri ve bilgileri
- Operatörün kontrol hareketlerinin modellenmesi
- Prosesin modellenmesi
- Kendi kendini ayarlamalı

3.6 Bulanık Kontrolör’ün Matlab Programında Oluşturulması

Bulanık mantık kontrol için “Matlab Fuzzy Logic Toolbox” programı kullanılmıştır. Bulanık kontrolör, bu program üzerinde sistemin girişlerinin, çıkışlarının, bu giriş ve çıkışlara ait üyelik fonksiyonlarının tanımlanmasıyla oluşturulmuştur. Toolbox bulanık çıkarım sistemi olarak Mamdani çıkarımı kullanılmıştır. Oluşturulan kontrolör Simulink’ e aktarılmış ve simülasyonlar yapılmıştır. Kontrolör tasarımında hata, hatanın türevi ve kumanda için üyelik fonksiyonları ayrı ayrı tanımlanmıştır.

Çalışmada kullanılan kural tablosu Tablo 3.1 de verilmiştir. Bu tabloda görüldüğü gibi, 7 adet hata ve 7 adet hatanın değişimi için toplam 49 adet kural tanımlanmıştır. Bu tablodan alınan örnek bir kontrol tanımı sebep sonuç ilişkisi aşağıdaki gibidir:

“Eğer hata (e) Negatif Büyük (NB) ve hatanın değişimi (de) Pozitif Büyük (PB) ise,

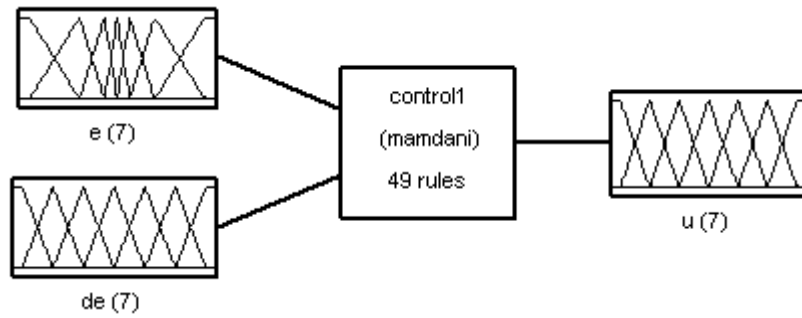
Sıfır Kumanda uygula (ZE)’’.

Tablo 3.1 de, NB: Negatif büyük, NM: Negatif Orta, NS: Negatif Küçük, ZE: Sıfır, PS: Pozitif Küçük, PM: Pozitif Orta, PB: Pozitif Büyük anlamına gelmektedir.

Tablo 3.1 Bulanık kural tablosu

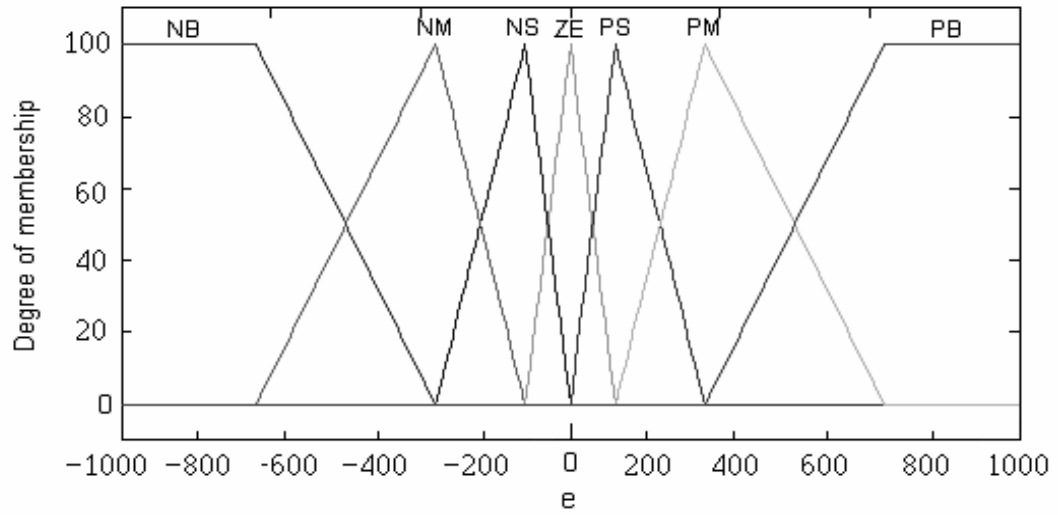
		e						
		NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
de	NB	NB	NB	NB	NM	NS	NS	ZE
	NM	NB	NM	NM	NM	NS	ZE	PS
	NS	NB	NM	NS	NS	ZE	PS	PM
	ZE	NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
	PS	NM	NS	ZE	PS	PS	PM	PB
	PM	NS	ZE	PS	PM	PM	PM	PB
	PB	ZE	PS	PS	PM	PB	PB	PB

Kontrolör giriş parametreleri hata (e), ve hatanın türevi (de)’dir. Kontrolör çıkışı ise kumanda (u) değeridir (Şekil 3.7)

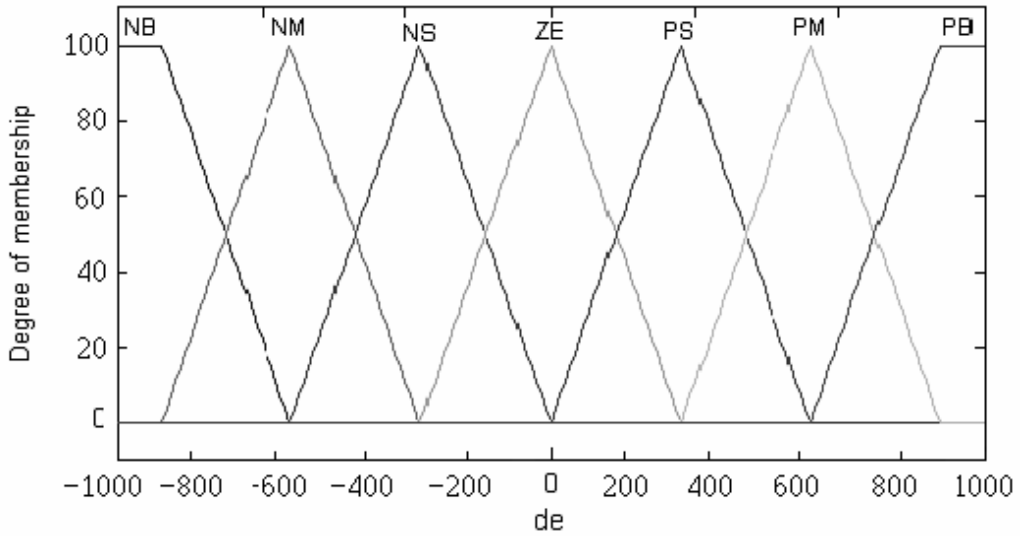


Şekil 3.7 Bulanık kontrolörün giriş ve çıkış değişkenleri

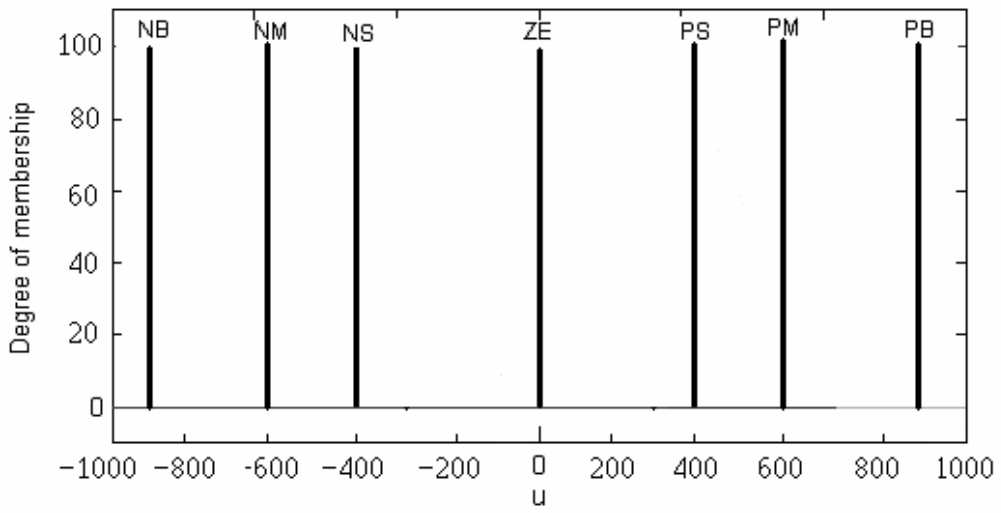
Gerçek zamanlı kontrol için tanımlanan hata (e), hatanın türevi (de) ve kumandaya (u) ait üyelik fonksiyonları aşağıdaki gibidir.



(a)



(b)

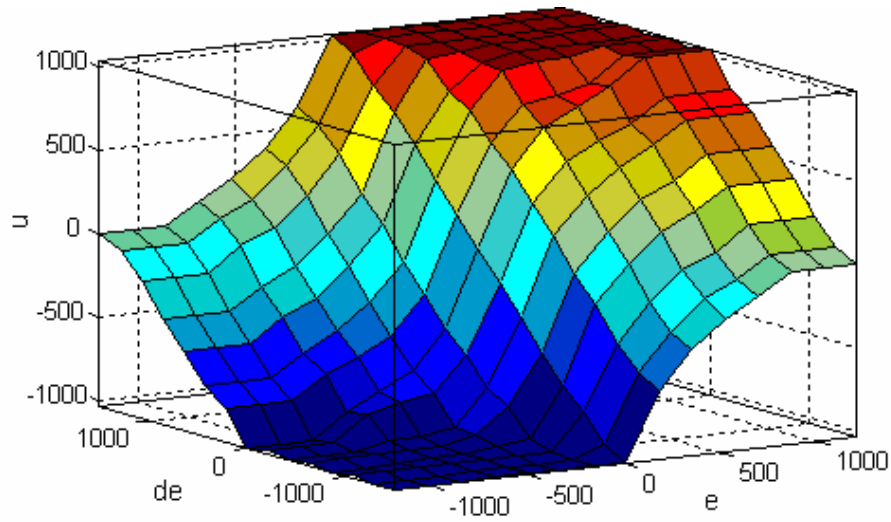


(c)

Şekil 3.8 Üyelik fonksiyonları, a- Hata için üyelik fonksiyonları, b- Hatanın türevi için üyelik fonksiyonları, c- Kumanda için üyelik fonksiyonları

Geri besleme ile ölçülen hata değeri büyük ise sisteme gönderilen kumanda değeri büyük olur ve sistem hızlanır, böylece istenilen referans değerine çabuk ulaşılır. Buna karşılık sistem referans değerine yaklaştıkça hatanın değişiminin etkisi ile yavaşlar.

Hata için üyelik fonksiyonu $[-1000 \ 1000]$ aralığında seçilmiştir. Sıfır (ZE) üyelik fonksiyonunun dar seçilmesi sonucunda sürekli rejim hatası küçük olur. Hatanın türevi için üyelik fonksiyonları $[-1000 \ 1000]$ aralığında seçilmiştir. Kumanda için üyelik fonksiyonları da $[-1000 \ 1000]$ aralığında seçilmiştir. Üyelik fonksiyonları için belirlenen bu aralıklar, PD kontroldeki sonuçlara yakın olması hedef alınarak, deneysel olarak belirlenmiştir. Bulanık kontrolörün kuralları ve üyelik fonksiyonları tanımlandıktan sonra elde edilen yüzey eğrisi Şekil 3.9 daki gibidir.



Şekil 3.9 Kontrol yüzey eğrisi

Kontrol yüzey eğrisi kontrolörün giriş hata, hatanın türevi ve kumanda değerlerinin üç boyutlu görüntüsüdür. İyi bir kontrolör tasarımı için yüzey eğrisinde keskin köşeler bulunmamalıdır.

3.7 ANFIS (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference Systems)

Kısmi diferansiyel ilk gereksinimi hariç adaptif ağıın hücre fonksiyonlarında hemen hemen hiçbir kısıtlama bulunmamaktadır. Yapısal olarak, eğer biz çok karışık asenkron çalıştırılmış bir model kullanmak istemiyorsak, ağ yapısındaki tek kısıtlama ağıın ileri besleme tipinde (feedforward type) olması gerekliliğidir. Bu küçük kısıtlamalardan dolayı, adaptif ağlar; modelleme, karar verme, sinyal işleme ve kontrol uygulamalarının büyük çoğunluğunda direk olarak kullanılabilir. [37]

Bu bölümde, bulanık çıkarım sistemlerine eşit fonksiyonellikte adaptif ağların bir sınıfına değinilmiştir. Bu yapılar ANFIS (adaptive network-based fuzzy inference system; adaptive neuro fuzzy inference system) olarak adlandırılmaktadır. Ayrıca bu bölümde; Sugeno ve Tsukamoto bulanık modellerin her ikisi için parametre setlerini tanımlanmaktadır.

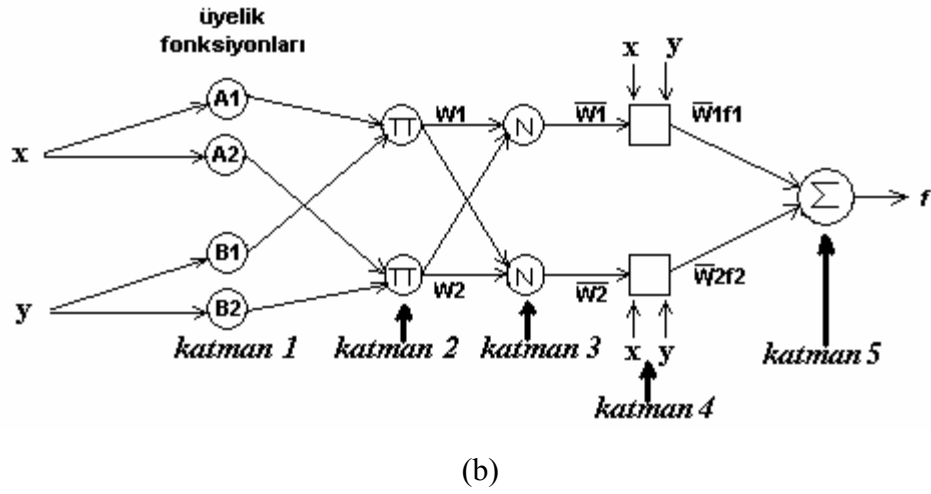
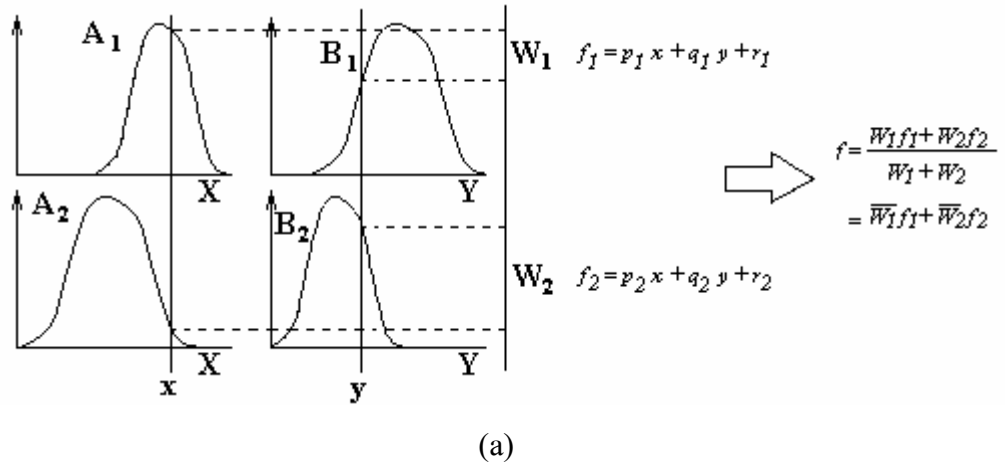
3.7.1 ANFIS Yapısı

Basit olması açısından, iki giriş x ve y ve bir çıkış z sahip yapıdaki bulanık çıkarım sistemi farz edilmektedir. Birinci derece Sugeno bulanık mantık modeli için [38, 39, 40] genel kural seti aşağıdaki gibidir:

Kural 1 : EĞER x , A_1 ve y , B_1 İSE $f_1 = p_1x + q_1y + r_1$,

Kural 2 : EĞER x , A_2 ve y , B_2 İSE $f_2 = p_2x + q_2y + r_2$.

Şekil 3.10(a) Sugeno model için karar mekanizmasını örnekle göstermektedir, şekil 3.10(b) de ise buna karşılık eşdeğer ANFIS yapısı gösterilmektedir. Burada daha sonra açıklanacağı gibi aynı katmandaki (layer) hücreler (node) benzer fonksiyonlara sahiptirler. Burada, l katmanında i ninci hücrenin çıkışı $Q_{l,i}$ olarak belirtilmektedir.



Şekil 3.10 (a) 2 kurallı, 2 girişli birinci derece Sugeno bulanık model; (b) eşdeğer ANFIS yapısı

Katman 1: Bu katmandaki her hücre, bir hücre fonksiyonlu bir ayarlanabilir hücredir.

$$Q_{1,i} = \mu_{A_i}(x), \quad i = 1, 2, \text{ veya}$$

$$Q_{1,i} = \mu_{B_{i-2}}(y), \quad i = 3, 4, \quad (3.20)$$

x (veya y) i ninci hücreye giriş ve A_i (veya B_{i-2}) ise bu hücre ile “küçük” veya “büyük” gibi ilişkilendirilmiş dilsel etiketlerdir. Diğer taraftan, $Q_{1,i}$ bir bulanık küme A ’nın ($=A_1, A_2, B_1$ veya B_2) üyelik derecesidir ve bu ölçeklendirici A ’ya verilen girişin derecesini temsil ediyor. Burada A için üyelik fonksiyonu, herhangi bir uygun parametrelili üyelik fonksiyonu olabilir. Üyelik fonksiyonunun parametre kümesi ayarlanabilir. Bu katmandaki parametreler *dayanak noktası parametreleri* (premise parameters) olarak adlandırılır.

Katman 2 : Bu katmandaki bütün hücreler sabitlenmiştir ve kendilerine gelen bütün sinyallerin çarpımını çıkış olarak vermektedir.

$$Q_{2,i} = w_i = \mu_{Ai}(x)\mu_{Bi}(y), \quad i=1, 2. \quad (3.21)$$

Her bir hücrenin çıkışı, bir kuralın aktiflik şiddetini göstermektedir. Bu katmandaki hücre fonksiyonu için diğer herhangi bir T-norm işlem de kullanılabilir.

Katman 3 : Bu katmandaki N ile etiketlenmiş bütün hücreler sabitlenmiştir ve i ninci hücre, i ninci kuralın aktiflik şiddetinin bütün kuralların aktiflik derecesinin toplamının oranını hesaplar.

$$Q_{3,i} = \bar{w}_i = \frac{w_i}{w_1 + w_2}, \quad i = 1, 2. \quad (3.22)$$

Kolaylık açısından, bu katmandaki çıkışlar normalleştirilmiş aktiflik derecesi (normalized firing strengths) olarak adlandırılır.

Katman 4 : Bu katmandaki her hücre bir ayarlanabilir hücredir.

$$Q_{4,i} = \bar{w}_i f_i = \bar{w}_i (p_i x + q_i y + r_i), \quad (3.23)$$

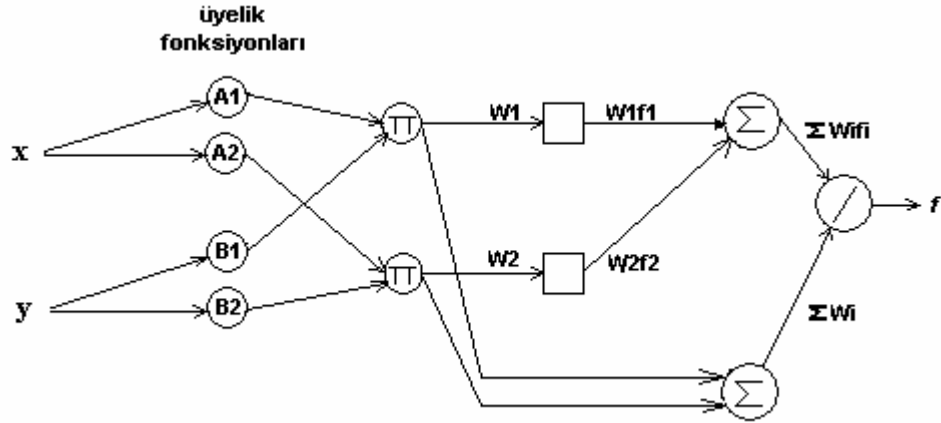
Burada, $\bar{w}_i$ katman 3'ten gelen normalleştirilmiş aktiflik derecesidir ve $\{ p_i, q_i, r_i \}$ bu hücrenin parametre kümesidir. Bu katmandaki parametreler *sonuç parametreleri* (consequent parameters) olarak adlandırılır.

Katman 5 : Bu katmandaki $\sum$ ile etiketlenmiş hücre tektir ve sabitlenmiştir ve bütün gelen sinyallerin toplamını alarak toplam çıkışı hesaplamaktadır.

$$\text{Toplam çıkış} = Q_{5,i} = \sum_i \bar{w}_i f_i = \frac{\sum_i w_i f_i}{\sum_i w_i}, \quad (3.24)$$

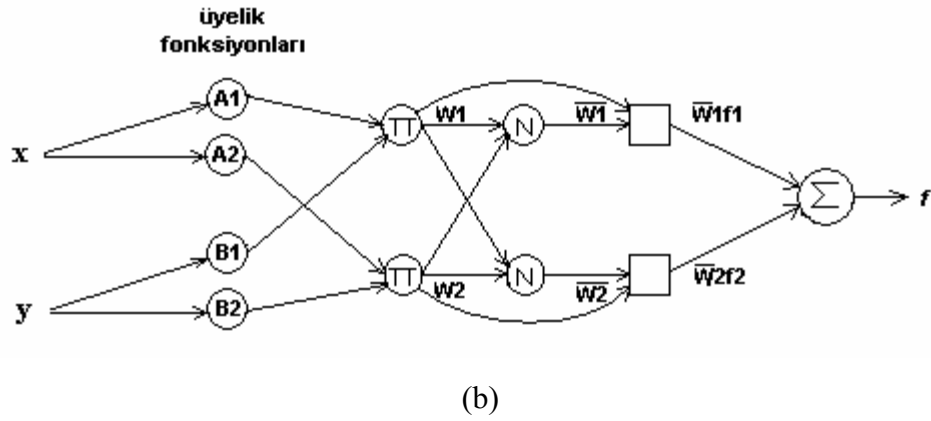
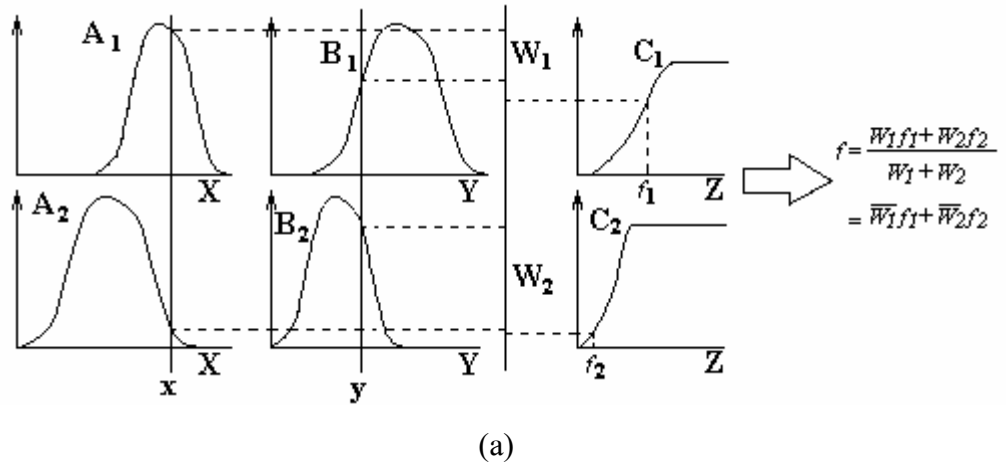
Böylelikle, Sugeno bulanık modeline eşdeğer işlevsellikte bir ayarlanabilir ağ oluşturuldu. Bu ayarlanabilir ağın yapısının tek olmadığı bilinmelidir; sadece 4 katman ile eşdeğer bir ağ elde etmek için katman 3 ve katman 4 birleştirilebilir. Aynı şekilde, son katmanda ağırlık ortalaması gerçekleştirilir. Şekil 3.11'de bu tip ANFİS gösterilmektedir. Özel durumlarda, tüm ağ, aynı parametre kümeli bir tek

ayarlanabilir hücreye küçültülebilir. Açıktır ki, hücre fonksiyonlarının görevleri ve ağıın yapısı seçime bağlıdır, her bir hücrenin ve her bir katmanın büyüklüğü anlamlı ve modüler işlevler gerçekleştirebilir.



Şekil 3.11 Ağırlık ortalaması son katmanda gerçekleştirilen Sugeno bulanık model için ANFIS yapısı

Sugeno ANFIS'ten Tsukamoto ANFIS'e dönüşüm şekilde 3.12'de gösterildiği gibi açıktır. Her bir kuralın çıkışı, bir çıkış üyelik fonksiyonu ve bir aktiflik şiddetinin bağlanması ile elde edilir. Maksimum-minimum yaklaşımlı Mamdani bulanık çıkarım sistemi, daha iyi öğrenme kapasitesi ve yaklaşım gücü sergilemediği için gerekli değildir, bunun yerine toplama-çarpım yaklaşımı hesaplama açısından kolaylıklar sağlamaktadır. Tezde birinci derece Sugeno bulanık mantık modeli için ANFIS yapısı şeffaflığı ve etkinliğinden dolayı tercih edilmiştir.



Şekil 3.12 (a) 2 kurallı, 2 girişli Tsukamoto bulanık model; (b) eşdeğer ANFIS yapısı

ANFIS parametrelerinin belirlenmesinde hibrit öğrenme algoritmasının nasıl uygulandığı tablo 3.2’de gösterilmiştir.

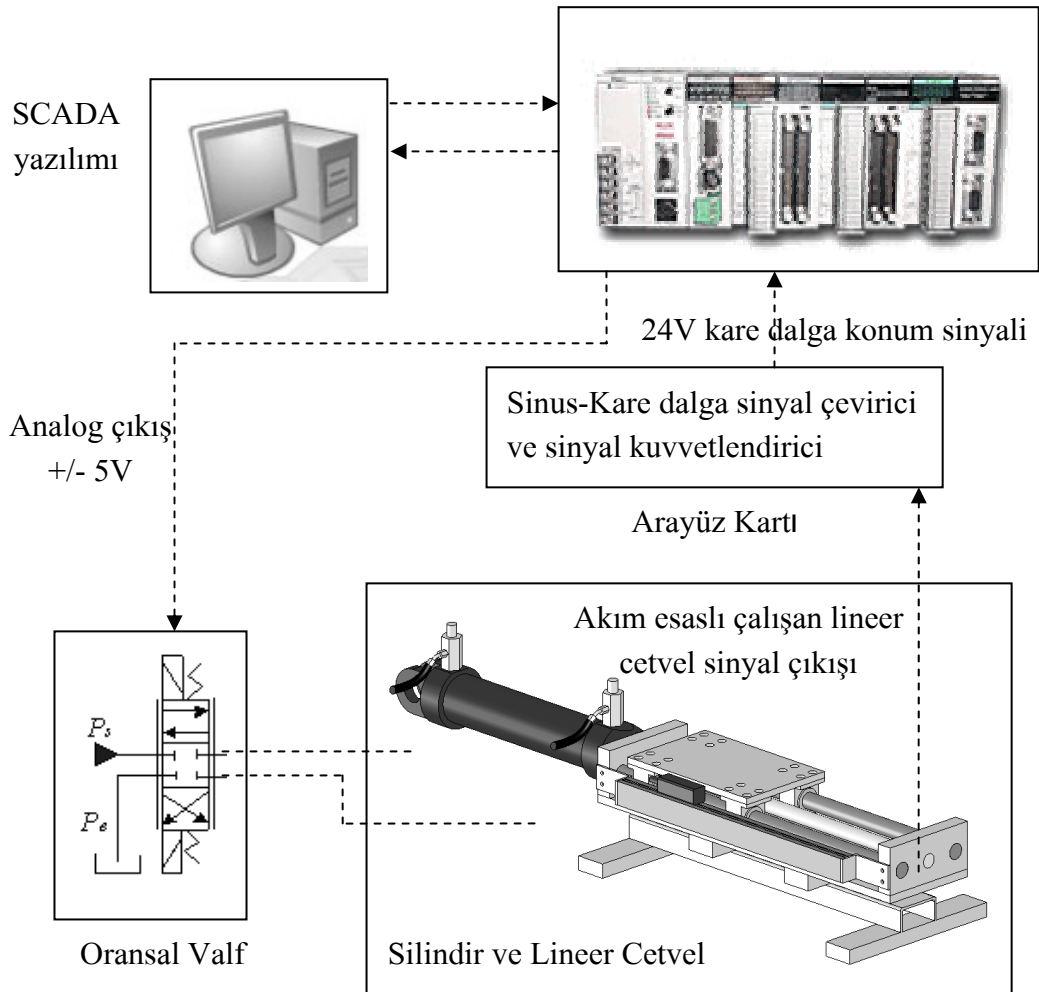
Tablo 3.2 ANFIS için hibrit öğrenme prosedürü

	İleri Yön	Geri Yön
Dayanak noktası parametreleri	Sabitlenmiş	Eğilim inme (Gradient descent)
Sonuç parametreleri	En küçük kareler yöntemi (Least squares estimator)	Sabitlenmiş
Sinyaller	Hücre çıkışları	Hata sinyalleri

4. DENEY SİSTEMİ ELEMANLARI

4.1 Deney Sisteminin Yapısı

Deney sistemi, bir adet PLC (Programlanabilir Lojik Kontrolör), bir adet bilgisayar, PLC cihazının bilgisayarla kontrol ve gözlemini sağlayan Scada programı, bir adet ara yüz kartı, bir adet 4/3 elektro hidrolik oransal valf, bir adet asimetrik silindir, bir adet sayısal lineer cetvel ve hidrolik silindirin tahriki ile doğrusal olarak hareket eden bir arabadan oluşmaktadır. Sistemin genel yapısı şematik olarak aşağıda verilmiştir.



Şekil 4.1 Elektro hidrolik deney sisteminin genel yapısı

4.2 Asimetrik Silindir

Sistemde kullanılan hidrolik silindir, iç çapı 40 mm, piston çubuğu çapı 20 mm ve stroku 250 mm olan Bosch firmasına ait asimetrik bir silindirdir. Silindir milinin ucunda, doğrusal olarak yataklanmış, 5 kg ağırlığında kabul edilen bir araba bulunmaktadır. Araba yardımı ile sisteme farklı yükler uygulanabilmektedir. Silindire takılı arabadan dolayı hidrolik silindir stroku 168 mm ile sınırlanmıştır.

4.3 Elektrohidrolik Oransal Valf

Bir servo valf'ın hassasiyetinin istenmediği ancak geleneksel valflerle elde edilen doğruluktan da daha fazlasına ihtiyaç duyulduğu bir çok uygulama mevcuttur. Oransal valfler bu ihtiyaçları karşılamak amacıyla geliştirilmişlerdir. 1970'lerin ortalarından itibaren kullanım alanları giderek genişlemektedir.

Servo valfler ile oransal valflerin karşılaştırılması Tablo 4.1 de verilmiştir. Oransal valfler daha düşük doğruluğa sahiptirler ancak fiyatları da daha ucuzdur, geri beslemeleri yoktur [13].

Tablo 4.1 Oransal valfler ve Servo valflerin karakteristiklerinin karşılaştırılması [3]

	Oransal valf	Servo valf
Çevrim tipi	Açık	Kapalı
Geri besleme	Yok	Var
Doğruluk	Ortalama hata faktörü > %3	En yüksek hata Faktörü < %1
Frekans cevabı	Düşük: < 10 Hz	Çok yüksek: 60-400 Hz
Fiyat	Orta	Yüksek
Yedek elektronik ekipman ihtiyacı	Orta	Fazla
Kirliliğe duyarlılık	Toleranslı	Yüksek

Sistemde Abex-Denison firmasına ait DIP-01 kodlu bir oransal valf kullanılmaktadır.

Valfin özellikleri aşağıda verilmiştir:

Çalışma basıncı : P, A, B portu 7-245 bar, T portu 0-70 bar

Akışkan sıcaklığı : -18/+80°C

Maksimum çıkış debisi : 36 lt/dak

Pilot debisi (245 bar) : 1.2 lt/dak

Basınç kazancı : 70 bar/%1 komut

Besleme gerilimi : 12±0.5 VDC

Maksimum besleme akımı: 0.3 Amper

Maksimum güç tüketimi : 3.6 Watt

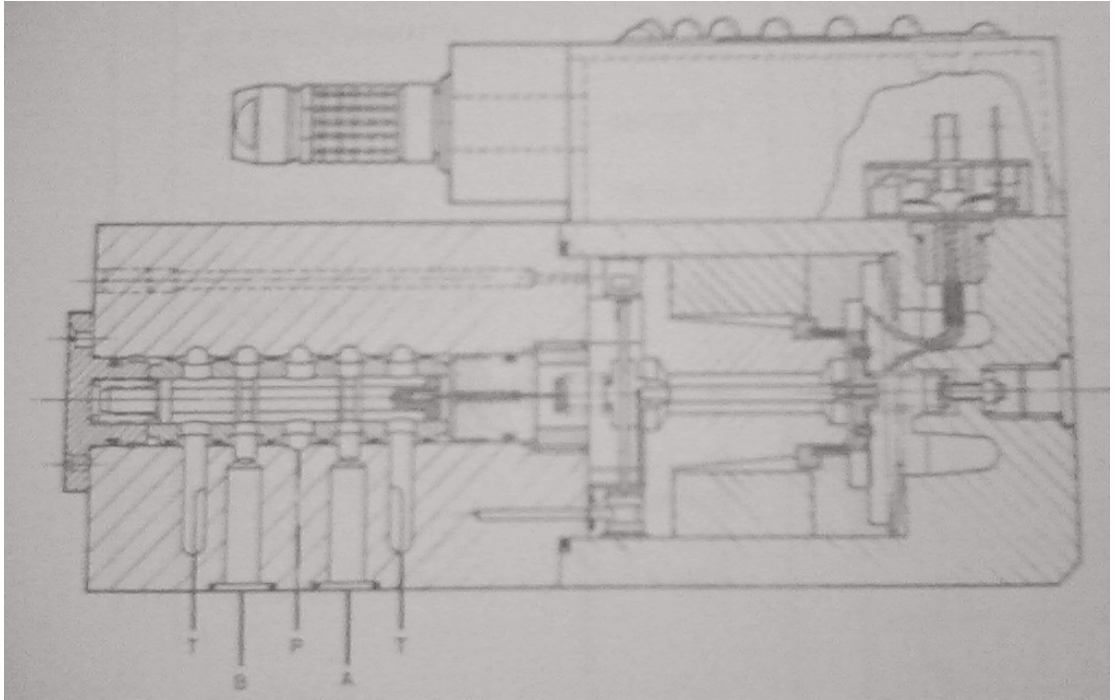
Kumanda sinyali : +/- 5 volt

Histeresiz : $\leq \pm 1\%$

Eşik : $< 0.25\%$

Valf 12 volt ile beslenmekte ve +/- 5 voltluk kumanda sinyali ile sürülmektedir.

Enerji tüketimi maksimum 3.6 Watt'tır.



Şekil 4.2 Elektro hidrolik oransal valfin iç yapısı [41]

Deneyler sırasında şekil 4.2’de görülen oransal valfin teknik çiziminde sol taraftaki kapak açılarak oransal valf pistonunun merkez konumuna getirilerek merkezdeki kaçıklık giderilmiştir.

4.4 Konum Ölçme Elemanı

Sistemde, asimetrik silindirin konumunu ölçmek için HEIDENHEIN firmasının 270 mm ölçme boyuna sahip, çözünürlüğü $20 \mu m$ olan sayısal bir ölçme cetveli kullanılmıştır. Cetvel yapısı itibari ile akım esaslı sinüs dalga üretmektedir. Cetvelin

ürettiği sinüs dalga bir karşılaştırma devresi tarafından kare dalgaya, daha sonra bir yükseltme devresi ile PLC hızlı sayıcı modülünün algılayabildiği 24V kare dalgaya kuvvetlendirilmiştir. Elde edilen bu sinyal, PLC cihazının hızlı sayıcı modülünde çift faz sayılarak konum bilgisi elde edilmiştir.

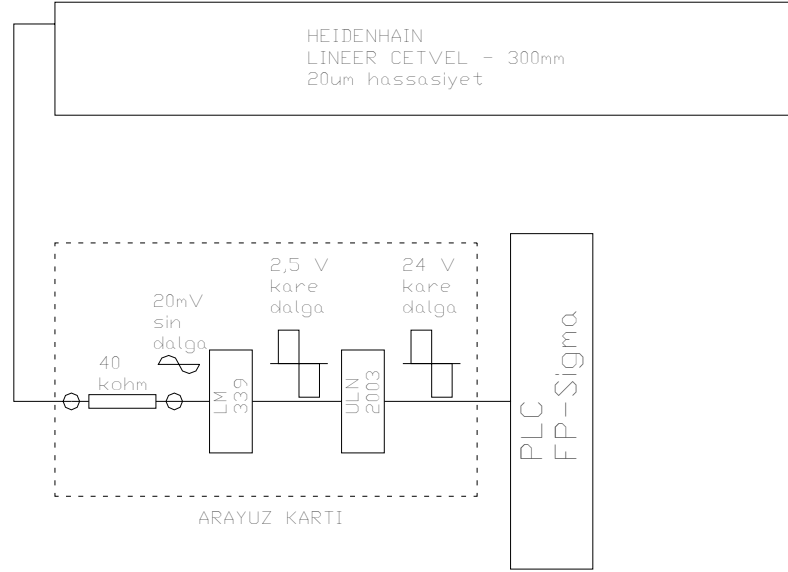
Kodlayıcının akım esaslı sinüs dalga üretmesi, sinyalin uzun mesafelere kablo ile taşınmasında zayıflamasını engellemektedir. Çünkü kare dalga şeklindeki işaretin frekans analizine bakıldığında, işaret frekansının çok üzerinde sinyaller taşıdığı görülür. Bu bileşenler, taşıyıcı kablonun frekansından büyük olursa, hat üzerinde sönmülenerek sinyalin bozulmasına neden olur. Sinüs formundaki sinyaller sadece temel bileşenler taşıdıkları için, frekansları hat kesim frekansının yeterince altında ise herhangi bir bozulmaya uğramadan uzun mesafelere de iletilebilir. Bununla beraber, endüstriyel sayıcı devreleri sinüs değil kare dalgaları sayacak şekilde tasarlanırlar. Çünkü sayısal devreler sayısal “0” ve “1” değerlerine karşılık gelen 0 volt ve 5 volt değerindeki elektriksel işaretleri algılama yeteneğine sahiptir. PLC cihazları endüstriyel uygulamalarda kullanıldığı için genellikle sinyal algılama değerleri 0 volt ve 24 volt tur. Bu sebeple kodlayıcıdan gelen sinüs formundaki sinyal bir sıfır referansa göre karşılaştırma devresi aracılığıyla kare dalgaya çevrilmiştir. Bu devre sinüs işaretini sıfır volta göre karşılaştırır. Sinüs dalganın elektriksel işareti 0 volttan büyük ise kart çıkışında 2,5 volt, 0 volttan küçük ise 0 volt üretilir. Bu şekilde sinüs işareti ile aynı frekansta ve fazda kare dalga işareti elde edilir.

Elde edilen kare dalgalar sayıcıya girmeden önce bir başka ara devreden geçirilerek işaret 0 volt ve 24 volt değerlerinde kare dalga sinyaline kuvvetlendirilir. Bu şekilde kuvvetlendirilmiş olan çift faz sinyal, PLC cihazının hızlı sayıcı modülü içerisinde otomatik olarak hareket yönü algılanarak konum değerini hesaplar.

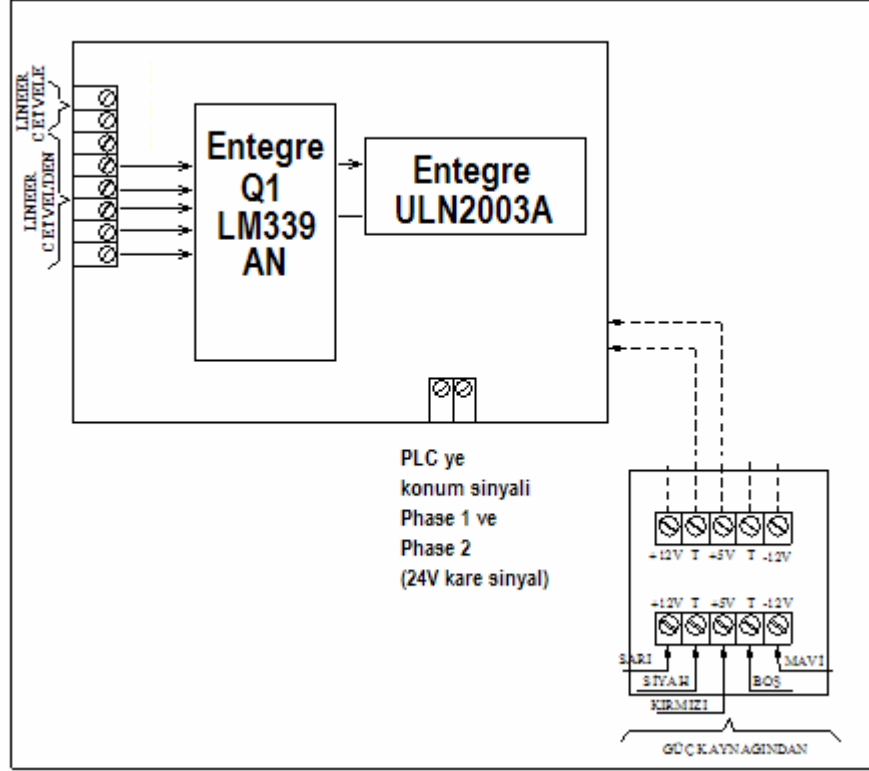
Bu işaretler bit cinsinden konum bilgisini verir. Her bir bit 20 mikrometre boyutunda olduğu düşünülürse okunan değer $1/50'$ si mm olarak konum bilgisini verir. Bu hesaplama PLC' de program içerisinde yapılmaktadır ve bilgisayarda Scada

programı ekranında bit ve mm cinsinden konum değeri gerçek zamanlı olarak okunabilmektedir.

Şekil 4.3 ve Şekil 4.4 de konum cetvelinden gelen sinyalin arayüz kartındaki devrelere girmeden önceki ve devrelere girdikten sonraki şekil ve değerleri gösterilmiştir.



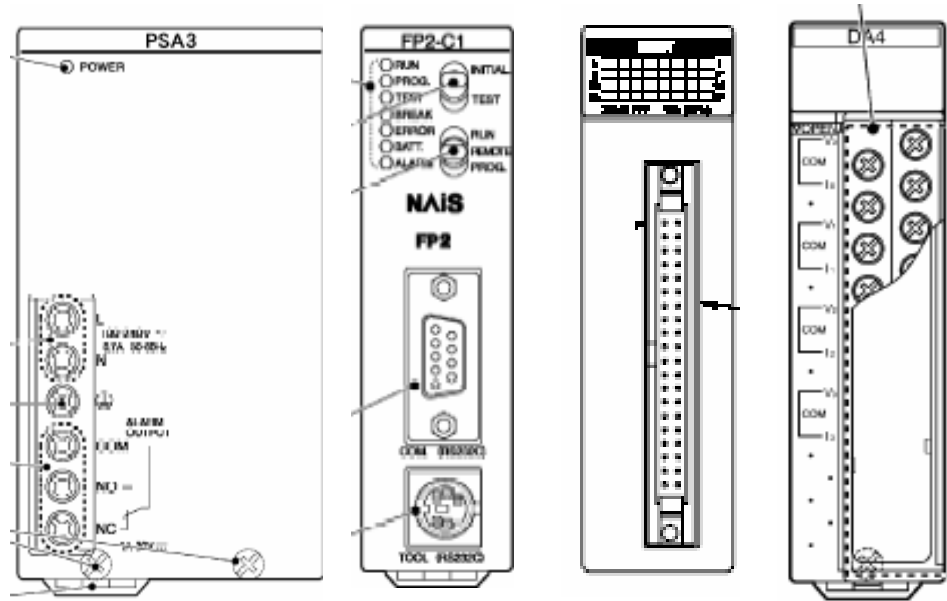
Şekil 4.3 Tasarlanan arayüz kartında sinyal üzerindeki işlemler



Şekil 4.4 Tasarlanan arayüz kartı

4.5 PLC (Programlanabilir Lojik Kontrolör)

Sistemin kontrolünde 16 bit çözünürlüklü, bir adım tarama süresi 0,35 mikro saniye ve 16kbyte program kapasiteli CPU modülü, 4 kanal 200kHz çift faz sayabilen bir hızlı sayıcı modülü ve 4 analog çıkışı kanalına sahip analog çıkış modülü ve güç kaynağından oluşan bir PLC sistemi kullanılmıştır. Şekil 4.5 de tezdeki PLC sisteminin yerleşme planı bulunmaktadır. PLC cihazının modüllerinin özellikleri Şekil 4.5 e göre soldan başlayarak sırasıyla aşağıda daha detaylı olarak verilmiştir.



Şekil 4.5 Tezdeki PLC sistemi modülleri ve yerleşim planı [42]

4.5.1 Güç Kaynağı

5 V gerilim değerinde maksimum 5A çıkış vermektedir. Arka devre yol tablasında 2 modüllük yer kaplamaktadır. Sistemdeki diğer modüllerin her biri birer modüllük yer kaplamaktadır.

4.5.2 FP2-C1 CPU

Program kapasitesi yaklaşık olarak 16k adım, işlem hızı normal değerler için temel komutlarda $0,35 \mu s$, yüksek seviye komutlarda $0,93 \mu s$ dir. Harici girişler (X), harici çıkışlar (Y), dahili röleler (R), zamanlayıcı/sayıcılar (T/C), 6000 kelime data kütüğü (DT), ayarlanabilir kapasitede data kütüğü (FL), index kütüğü (I0 – I0, 14 kelime) vb. özellikler sunmaktadır.

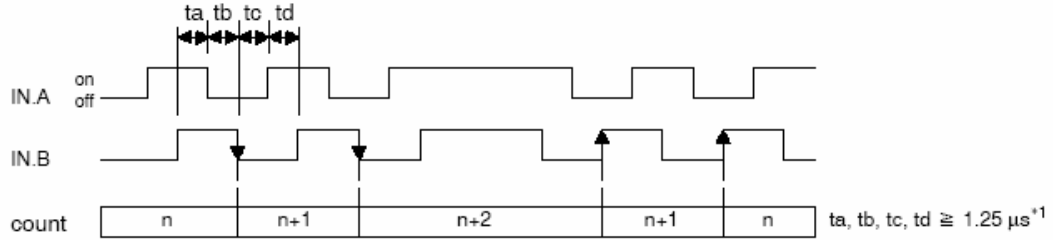
4.5.3 Hızlı Sayıcı Modülü

Hızlı sayıcı modülü 4 kanaldan, 200kHz maksimum sayma hızı gibi özellikler sunmaktadır.

Seçilebilir giriş zaman sabitleri ile parazit sinyaller engellenmektedir. Giriş zaman sabiti değerleri; $4 \mu s$, $8 \mu s$, $16 \mu s$, $32 \mu s$ dir. Belirlenen efektif sinyal genişliğine

göre maksimum hesaplanan hız da değişmektedir : $4\ \mu s$ için 125 kHz, $8\ \mu s$ için 62,5kHz, $16\ \mu s$ için 31,2 kHz, $32\ \mu s$ için 15,6 kHz dir.

Bunun yanında, FP2 hızlı sayıcı modülü 4 kanaldan üç farklı sinyal giriş şeklini sayabilmektedir. Yön kontrol metodunda sinyalin geldiği 1. kanaldan gelen sinyal sayılmaktadır. 2. kanaldan gelen sinyal ise yön bilgisi olmaktadır. Bir diğer metot olan bireysel girişte ise 1. kanaldan gelen sinyal artı değer olarak sayılmakta, 2. kanaldan gelen sinyal ise eksi değer olarak sayılmaktadır. Faz farkı metodunda ise, sinyaller arasında gelen faz farkına göre (90 derece faz farkı vardır) artan veya azalan olarak değer yenilenir. Şekil 4.6 da faz farkı metodu genel olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.6 Faz farkı metodu ile sayma işlemi

Hızlı sayıcı, sayılan değeri üzerindeki bir paylaşılan alanda tutmaktadır. Bu alandan sayma değeri okunabilmekte, ayrıca bu alana yeni değer yazılabilmektedir. Sayma değeri işaretli olarak 32 bitlik bir alanda tutulmaktadır. Bu değer, -2.147.483.648 değerinden 2.147.483.647 değerine kadardır.

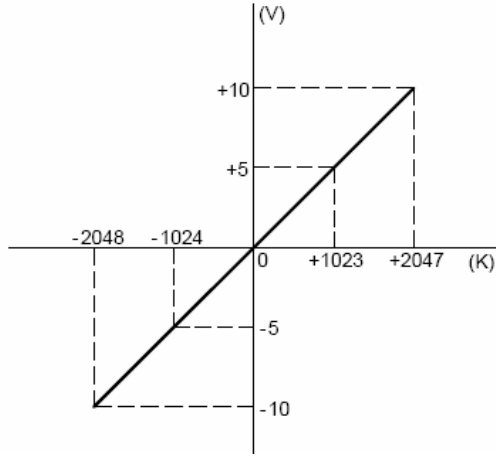
4.5.4 Analog Çıkış Modülü (FP2-DA4)

Analog çıkış modülü; 4 kanal analog çıkış, 12-bit çözünürlük, yüksek hız D/A dönüşüm (500 us/kanal), çift çıkış aralığı (+-10V ve 0-20mA), program çalışma süresince çıkış datalarının kalıcı tutulması ve yenilenmesi gibi özellikler sunmaktadır.

Analog modül çıkışlarından +/-10 V arası gerilimler elde edilebilmektedir. Ancak oransal valfi kumanda edebilmek için +/-5V değerleri arasında analog sinyale ihtiyaç

duyulmaktadır. Bu amaçla +/-10V'a ayarlı olan analog modül çıkışını +/-5V'a çeviren program kodu yazılmıştır. Şekil 4.7 de analog çıkış dönüşüm karakteristiği görülmektedir.

-10V to +10V DC



V	K
-10	-2048
-7.5	-1536
-5	-1024
-2.5	-512
0	0
2.5	511
5	1023
7.5	1534
10	2047

Şekil 4.7 Analog çıkış dönüşüm karakteristiği

4.6 Bilgisayar

Kullanılan bilgisayar, Intel Pentium 3 işlemci 800 Mhz, 512 Mb RAM' i vardır. İşletim sistemi olarak XP Pro kullanılmıştır.

4.7 TEOS SCADA Programı

“Denetleyici Gözetim ve Veri Toplama Sistemi“ olarak adlandırılan Scada programları, proses ortamında kullanılan cihazlarla haberleşerek görsel olarak gözetlenmeleri, anlık grafiklerinin görüntülenmesi, veri kayıtlarının tutulması, kontrol etmek gibi birçok işlevi bir araya getirerek Makine insan arayüz (HMI = Human Machine Interface) görevini yerine getirmektedir.

Windows işletim sistemi üzerinde çalışmaktadır ve nesneye yönelik bir yazılım mantığı vardır. Script yazılabilir, DDE ve OPC ile haberleşebilir, TCP/IP ve Novell ile haberleşebilir, internet ile haberleşebilir. Ayrıca, grafiksel saha tasarımı yapmak

mümkündür. Alarmlar, trendler, reçeteler, raporlamalar, e-mail veya SMS ile sistemden haber almak ve sisteme müdahale edebilmek mümkündür.

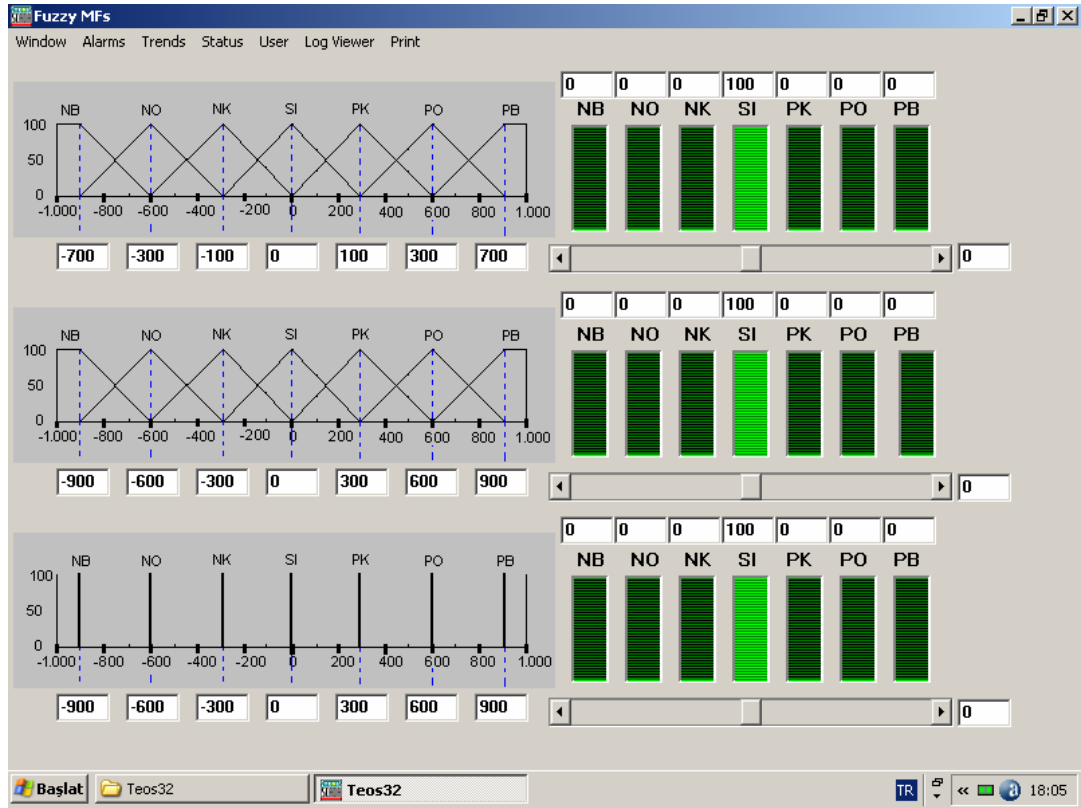
Kullanım alanları olarak; proses otomasyonu, bina otomasyonu, makine otomasyonu, enerji yönetimi, gaz ve su dağıtımı, tartım ve dozajlama, iklimlendirme sistemleri, tank saha otomasyonu, atık su arıtma sayılabilir.

Tamamı Türkiye’de yazılmış ilk Scada programı olan “TEOS Scada” programı Mikrosay firması tarafından bu tezde ve ileriki tezlerde kullanılmak üzere Otomatik Kontrol Laboratuvarına hibe edilmiştir.

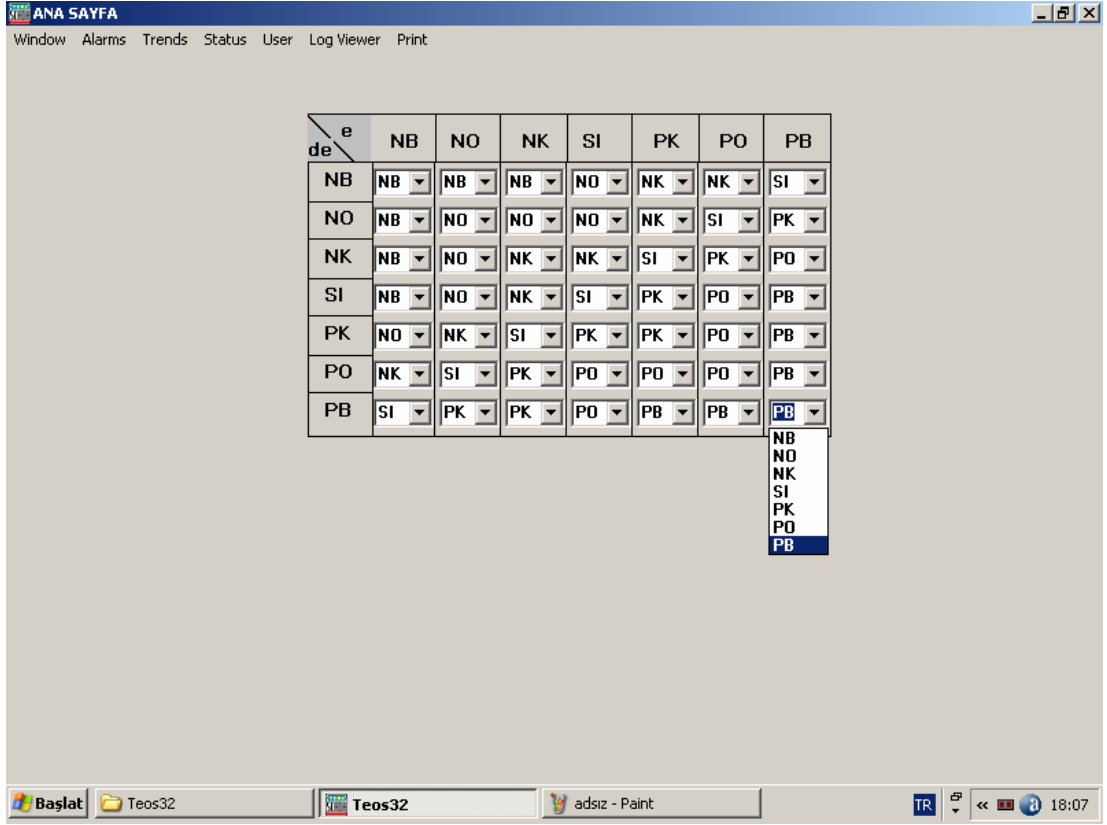
4.8 Bulanık Kontrolörün PLC ve Scada Programında Oluşturulması

Bu tezde, Matlab programında oluşturulan bulanık kontrolöre bağlı kalarak bulanık mantık kontrol algoritması PLC cihazında yazılmak istenilmiştir. Ancak, bulanık mantık kontrol için PLC ve Scada programlarında herhangi bir hazır araç kutusu (toolbox) bulunmamaktadır. PLC cihazında gerçek zamanlı çalışacak olan bulanık mantık kontrolör algoritması PLC kod yazılım programında Ladder (röle kontakları mantığı) dilinde yazılarak PLC’ye yüklenmiştir. Parametreler, Scada programında oluşturulan arayüz ekranları sayesinde kolay şekilde değiştirilebilmektedir. Scada programında oluşturulan bulanık mantık kontrolör arayüz sayfaları aşağıdadır:

Deneyler sırasında yapılan denemelerde PLC ve SCADA arasındaki haberleşme RS232 Com bağlantı noktası üzerinden gerçekleştiği için Scada programında PLC’den data yenileme süresi minimum 100 ms olmaktadır. Bu yüzden, bulanık mantık algoritma programı PLC içerisinde çalıştırılmıştır; parametre değiştirilmesi ve gözlemlene ve rapor tutma Scada programı sayesinde gerçekleştirilmiştir.

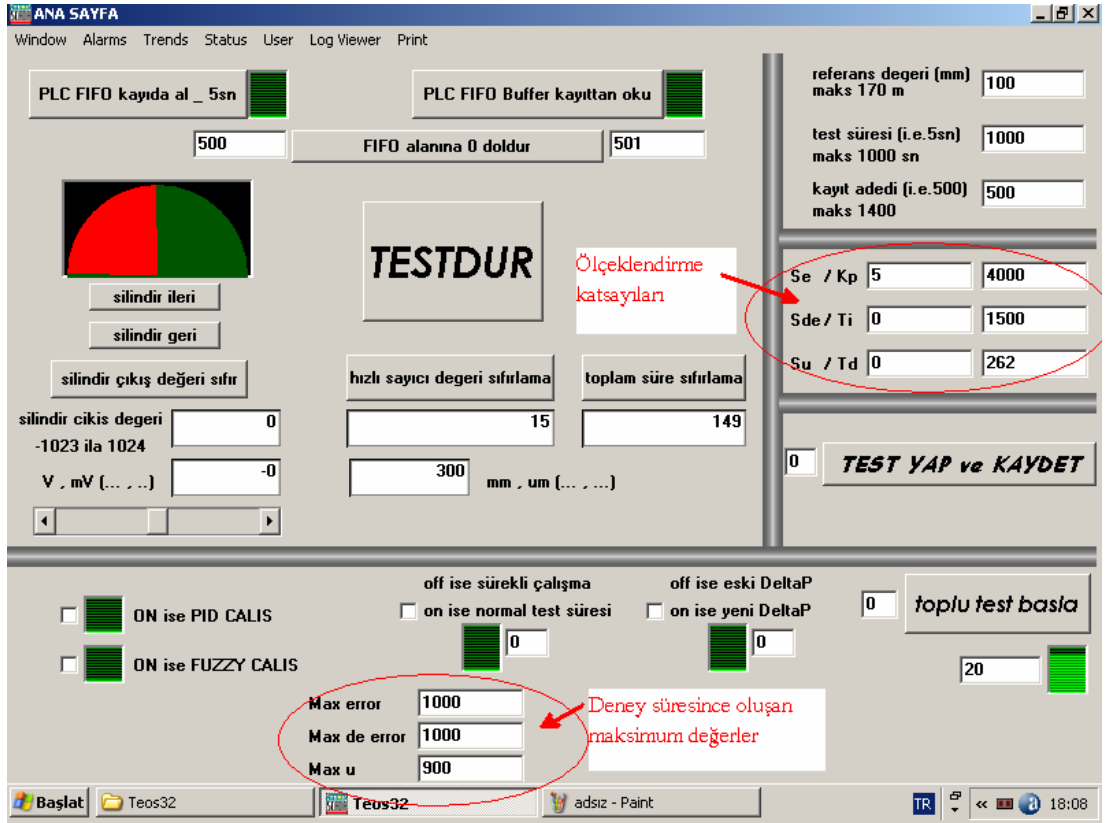


Şekil 4.8 Bulanık mantık kontrolör giriş ve çıkış üyelik fonksiyonları parametrelerinin Scada programında giriş sayfası



Şekil 4.9 Bulanık mantık kontrolör kural tablosu parametrelerinin Scada programında giriş sayfası

Bulanık kontrolör giriş ve çıkış ölçeklendirme katsayıları Scada programının ana açılış sayfasından girilebilmektedir. (Bakınız : Şekil 4.10) Burada, deney sırasında oluşan maksimum hata değeri, maksimum hatanın türevi değeri ve maksimum çıkış değeri görülebilmektedir. Böylece, girilen ölçeklendirme katsayılarının üyelik fonksiyonlarının değer aralığında hangi ölçekte olduğu kolaylıkla görülebilmektedir ve gerekli değişiklikler yapılabilmektedir.



Şekil 4.10 Scada programı ana açılış sayfası

5. PLC (PROGRAMLANABİLİR LOJİK KONTOLÖR)

5.1 Giriş

PLC, değişik karışıklık seviyelerinde ve farklı tiplerde birçok kontrol fonksiyonunu yerine getiren kullanıcı dostu bir elektronik bilgisayardır. Açık, kapalı giriş ve çıkış cihazlarına sahip herhangi bir sistemi, ayrıca analog giriş çıkış değerlerine sahip sistemleri de çalıştırabilir.

İlk ticari başarılı PLC 1969 yılında General Motors için Modicon firması tarafından geliştirildi. Bundan sonra, Allen Bradley, General Electric, GEC, Siemens, Mitsubishi, Omron, Toshiba ve Westinghouse gibi firmalar orta maliyetli, yüksek performanslı PLC'ler geliştirdiler.

Bu çalışmada Nais firmasının FP2-C1 model PLC cihazı kullanılmıştır.



Şekil 5.1 Nais marka FP2-C1 model PLC sistemine bir örnek

Bulanık kontrolün uygulama alanlarının arttığı bugünlerde, endüstride kurulu PLC'lerde bulanık kontrol algoritmalarını uygulamak uygun olur. Böylelikle, var olan donanım ve yazılımlar üzerinde değişiklik yapılmadan akıllı kontrol tekniklerinin uygulanması mümkün olacaktır.

5.2 PLC ve SCADA

PLC'ler, özel amaçlı dijital kontrolörler veya endüstriyel otomasyon ve kontrol sistemlerinde endüstriyel bilgisayar olarak kullanılmaktadırlar. Ulusal Elektrik Ekipmanları Üreticileri Birliği (USA) tarafından yapılan PLC tanımı şu şekildedir: “PLC, makineleri ve prosesleri kontrol etmek için lojik, ardışık, zamanlama, sayma ve aritmetik gibi özel fonksiyonlar işlemek ve komutları depolamak için programlanabilir bir hafıza kullanan dijital elektronik bir cihazdır.”

İlk PLC, 1960'ların sonlarında Amerikan otomobil üreticisi General Motors şirketinin kuruluşlarında, o tarihte kurulu olan röle devreli kontrol sisteminin üretim aşamasında esnekliğinin çok kısıtlı ve bakım ve kurulum maliyetlerinin yüksek olması nedeniyle yenilenmesi düşünülen otomasyon uygulamaları için bir ihale açması sonrasında bu ihaleye katılan Allen Bradley ve Modicon firmalarına yeni bir endüstriyel bilgisayar siparişi vermesi üzerine üretildi.

Bugün PLC programları ağırlıklı olarak hala “Ladder Logic” (röle mantık) şeklinde yazılmaktadır. Fakat günümüzde PC'lerin yaygınlaşması PLC kontrollerinin bilgisayarlar üzerinden yapılmasını olanaklı kılıyor. Nais PLC kontrolörü de PC tabanlı bir Ladder Logic yazılımı bulunmaktadır. Ayrıca günümüz PLC'lerinde başka program yaklaşımları da mevcuttur : “Structured text”, “Sequential function charts” ve son olarak “Function block” dilleridir. Bazı üreticiler de, C kodları ile yazılmış programları eklediler. Her bir dilde çalışan zamanlayıcı komutları, PID komutları, hareket komutları, vb. fonksiyon komutları da eklendi:

PLC cihazlarının ilk uygulama zamanlarından beri gerekli görülen çoklu PLC kullanımı durumunda birbirleriyle haberleşebilme ve kontrolü beraber sağlama avantajları da bugün PLC'lerin bu denli kullanıma girmesinde önemli bir unsurdur. Bir network ağıyla birbirlerine bağlanan PLC'ler kontrolü beraber sağlamaktadırlar.

PLC cihazlarının bir başka büyük avantajı ise günümüzde son derece gelişmiş bulunan PC'ler ile uyumlu çalışma kapasiteleridir. Bir network ağı genelde Ethernet veya Modbus (Modicon şirketi tarafından geliştirilmiş ağ yapısı) ile birbirlerine bağlı olan PLC'ler aynı network ile bir PC sunucuya (server) ve bu sunucunun PC terminallerine bağlanarak kontrolün PC üzerinden yapılmasına olanak sağlarlar. Bu kontrol aygıtlarına kumanda eden kontrol algoritmalarının seçilmesi ve uygulanması konusunda büyük bir kolaylık sağlar.

SCADA adı verilen bu programlar sayesinde PLC'ler kendi üzerlerinde bulunmayan karmaşık kontrol algoritmalarının PC üzerinden girilmesiyle kompleks kontrol stratejilerini uygulayabilirler. SCADA programları PLC'lerin özellikle PID kontrol konusundaki verimliliklerini büyük ölçüde artırır. PID kontrol için gerekli sabitler olan τ_i , τ_d ve K değerlerinin soft şekilde PC üzerinden girilmesi olanak kazanır ve bu PID kontrol aygıtının kalibrasyonunda büyük kolaylık sağlar.

Tezde kullanılan SCADA programı “TEOS SCADA” programıdır. Operatör, mühendis veya sistem yöneticisi için ayrı konfigürasyon seviyeleri vardır. Kontrol uygulamaları sırasında kontrol büyüklüğü olan SP –ayar değeri- konfigürasyon seviyeleri dahilinde değiştirilebilir, PV –proses değişkeni- ile giriş ve çıkış değerleri takip edilebilir, proses raporları alınabilir. Ayrıca, sistem içerisinde belli değerlerde alarm sinyallerinin verilebilmesi, bu alarm seçimlerinin program içerisinde belli görevleri yerine getirebilir.

PC'lerin yapılarına has kullanım ve ortam şartları nedeniyle endüstriyel ortam şartlarında verimli ve düzgün çalışmamaları sebebiyle PLC'ler endüstriyel ortamlarda kumandayı sağlarlar, fakat kontrol ve gözetleme PC üzerindedir.

5.3 PLC Kullanımının Nedenleri

PLC cihazlarının kullanımının bu denli artmasının bir çok sebebi vardır. Bunların başlıcaları; endüstriyel ortamların tehlikeli şartlarında kullanım kolaylıkları,

endüstriyel giriş ve çıkış değerlerine uyumları, varolan personel tarafından rahatça ve sorunsuz şekilde kullanılabilmeleri ve doğal olarak otomasyon masraflarını düşürmeleridir. Bu özellikleri yakından ve belli ana başlıklar altında incelemek daha faydalı olacaktır.

5.3.1 Endüstriyel Ortamın Kısıtlamaları

Bazı durumlarda oldukça sert olabilecek olan kısıtlamalar endüstriyel ortamlarda sıkça görülebilecek şartlardır. Otomasyon sistemi bu şartlarda kurulacağından endüstriyel ortamın kısıtlamalarına hazırlıklı ve dayanıklı olması gerekir. Tehlikeli endüstriyel ortamların kısıtlamaları 3 ana başlık halinde incelenebilir.

- Fiziksel ve mekanik ortam ; Fiziksel ve mekanik ortamı karakterize eden 4 temel parametre titreşim, şok, nem ve sıcaklıktır.
- Kimyasal kirlenme ; Bu unsurlar kontakları ve mikro devreleri zarara uğratabilecek korozyona sebep olurlar. Korunmanın iki temel yolu baskı devrelerin kaplanması ve toz ve gaz filtrelerinin yerleştirilmesidir.
- Elektriksel girişim ; ana riski alçak düzeyli analog ölçümlerinin bozulmasıdır. Bir korozyon oluşumu da oluşturabilirler.

5.3.2 PLC'lerin Yapısal Avantajları

Bu bölümde kısaca PLC cihazlarının otomasyon projesine kurulumlarındaki avantajlarından bahsedilecektir.

5.3.2.1 Tasarımdan Kurulum Avantajlar

PLC, kullanıcısının çok çabuk alışabileceği ve rahatlıkla kullanabileceği bir otomasyon aletidir. Yapısının ve sembolizminin devreli mantık yapısını andırması onu kolaylıkla erişilebilir ve kullanılabilir bir cihaz yapar.

PLC yapısından kaynaklanan avantajları daha tasarım aşamasında sunar. Otomasyon programı kurulumun yapılacağı yerde hazırlanmak zorunda değildir. Yapısındaki

donanım-yazılım ikiliği cihazın projenin gerekliliğine göre kolaylıkla genişletilmesini ve uygun şekilde programlanmasını sağlar.

Proses giriş ve çıkışları doğrudan PLC üzerinden yapılır. Bu PC'ler ve minicomputer'ler için pek de mümkün olmayan bir özelliktir. Sadece bu özellik bile maliyette ve karışıklıkta büyük bir düşüş sağlar. Bu maliyet düşüşü diğer otomasyon sistemlerine göre 3 kata kadar tırmanabilir. PLC donanımının bu özelliği onu diğerlerinden daha avantajlı bir noktaya getirir.

Yazılım ise üretici tarafından sağlanır ve otomasyon tasarımcısı tarafından ihtiyaçlara ve şartlara göre özelleştirilerek proses otomasyonu kolaylıkla sağlanır. Simülasyon ve test programları sayesinde otomasyon projesi kurulum aşamasından önce denenerek işlevselliği sağlanır. PLC yazılımlarının basitliği bir başka avantajdır.

PLC'lerin microcoputer'lere göre bir başka avantajı ise ikisinin de programlanabilir yapısına rağmen ikincisinin özel eğitilmiş bir ekibe ihtiyaç duymasındır ve bu oldukça maliyetli ve detaylı bir çalışma gerektirir. PLC ekipleri, bakım-onarım takımları ve operatörleri ise kolaylıkla basit bir eğitimden sonra PLC'ler ile çalışmaya başlayabilirler.

5.3.2.2 Kullanım ve Bakım

Hataların %90'ı prosesin kendisinden kaynaklanır. PLC, hatayı ve konumunu belirlemek üzere programlanabilir. Böyle bir programlama yapısı, bu önlemi içermeyen bir program yapısına göre 3 kat daha fazla yer tutar ve kumanda algoritmasını kompleksleştirerek tarama hızını düşürebilir fakat bu kayıplar kendi kendini düzeltme ve kolay hata belirleme özellikleri için feda edilebilecek dezavantajlardır. Zira bu özellikler kumanda kadar önem taşırlar. Örnek vermek gerekirse bir otomobil montaj hattının 1 dakika süreyle kumanda edilememesi bir arabanın üretim maliyetine veya daha fazlasına sebep olabilir.

Onda dokuzu I/O (giriş-çıkış) sebepli olan kalan %10, PLC'nin kendisinden kaynaklanır. Son zamanlarda artık PLC'ler maksimum servis kabiliyetlerine ve yüksek derecede güvenilir cihazlar olarak üretilmektedirler. Fakat kritik öneme sahip durumlarda hata anında yedek sistemin devreye girmesi (redundancy) güvenlik unsuru olarak kullanılmaya devam etmektedir.

5.4 PLC'lerin Kullanım Alanları

PLC kullanım alanlarından bazıları ; Metalürji, Makine ve otomotiv mühendisliği, Kimyasal endüstriler, Petro-kimyasal endüstriler, Transport ve malzeme dağıtımı, Tarım ve yiyecek endüstrileri, Tekstil endüstrisi, Cam ve kristal endüstrileri, Fabrika veya bina gözetlemeleri (süpervizyon) veya güvenlik amaçlı uygulamalar (ör: nükleer santraller) olarak sıralanabilir.

5.5 PLC'lerin Geleceği

Rockwell Automation gibi bazı üreticiler PC'lerin otomasyon pazarında ileri gitmesine karşı bir sigorta politikası geliştirdiler : “soft-PLC” . Bu yazılım programları PLC gibi davranıyor, ayrıca kullanıcılara ladder logic kullanarak kod yazmalarına da izin veriyor, ancak PC tip mimaride inşa edilmiş ve Windows operating sistemini kullanıyor.

PC programlama tekniklerini kullanarak PLC tip kontrolör tasarlanmasına izin veren Rockwell'in RSLogix5000 programı, General Motor'un son endüstriyel kontrol kararlarında baş köşeye oturmuştur. GM bu programı genel montaj operasyonlarında ayrıca damga presi gibi daha kompleks sistemlerde de kullanmaktadır. Şirket mühendisleri bütün operasyonlarda genel bir platform sağladığını ve PLC'lerin altın çağlarında bile olmayan açık bir mimari sağladığını söylüyorlar. Sonuç olarak otomotiv devleri, üretim masraflarını düşürmeyi umuyorlar.

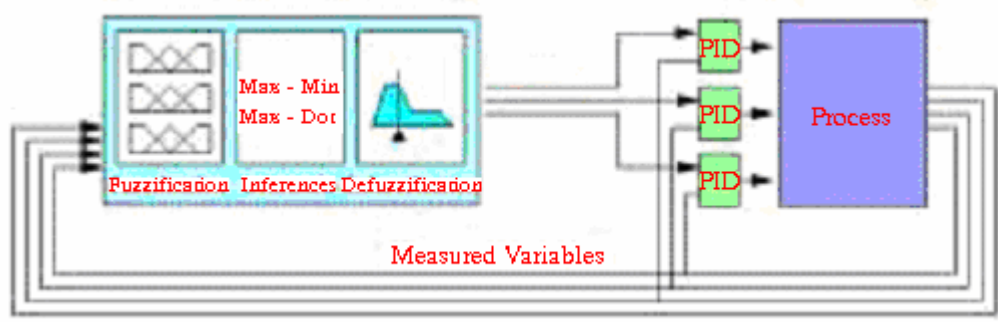
“Copmsim, USA” gibi bazı firmalar ise KEEL adında geliştirdikleri program ile zorlu çevre koşullarında çalışan PLC’ler ve diğer cihazlara veya programlara rahatlıkla gömülebilecek yazılımlar yapmaktadır. Bu yazılımlar insan düşünce yapısında gözetleme ve kontrol yapmaktadırlar. EĞER-İSE koşullarının görsel olarak oluşturulduğu ve grafik olarak çok rahat bir şekilde kuralların değerlendirilmesine olanak sağlayan yapısı geniş kullanım alanlarına olanak sağlamıştır. www.compsim.com internet sitelerinde hazırlanmış örnek programları web ortamında görsel olarak denenebilmektedir. UAV (insansız hava aracı) için tasarlanmış olan örneklerinde bilgisayar ortamında görülen örnek çok rahatlıkla bir mikroişlemci veya bir PLC veya başka herhangi bir bilgisayar programına çok rahatlıkla yüklenerek çalışabilmektedir.

5.6 PLC ve Bulanık Mantık Uygulamaları

Endüstriyel otomasyon uygulamalarında PID kontrol, proses kararlı durumda kontrol altında ise iyi çalışmaktadır. Ancak aşağıdaki durumlarla iyi mücadele edememektedir :

- Güçlü bozucuların varlığı (lineersizlik)
- Proseste zamanla değişen parametreler (lineersizlik)
- Ölü bölgelerin varlığı

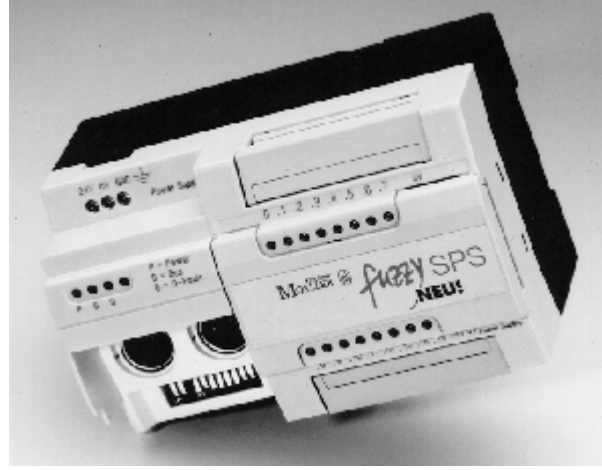
Güçlü bozucular proses set değerini çok uzaklara götürebilir. Burada, lineer kabuller çalışmamaktadır. Parametrelerin zamanla değişmesi gibi durumlarda da bulanık kontrolörün PID kontrol ile birlikte kullanılması veya yer değiştirilmesi daha uygun görünmüştür. Buna çok değişkenli kontrol (multi variable control) denilmiştir. Bakınız Şekil 5.2 :



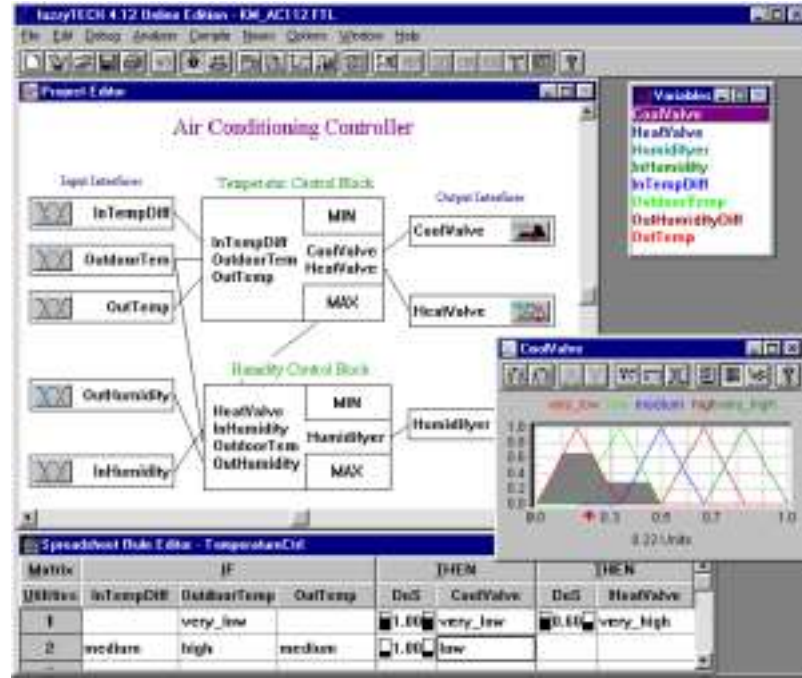
Şekil 5.2 Temeli oluşturan PID kontrolörlerin set parametrelerinin bulanık mantık kontrolör ile belirlenmesi

Avrupa ülkeleri bulanık mantık kontrolörleri kullanmayı benimsediler. Almanya'daki Klockner-Moeller Gmbh firması endüstriyel PLC'lerinde bulanık mantık kullanıyor. Kompleks kontrol durumları altında sistemin etkisini iyileştiriyorlar. Son uygulama alanlarından bazıları ise şöyle : vinç salınım engelleme, atık yakma ünitelerinde ateş alanı kontrolü, atık su işlem ünitelerinde dozajlama kontrolü, tünel muayene robotunun kontrolü, preslerin pozisyon kontrolü, plastik ekstrüzyon makinesinin sıcaklık kontrolü, iklimlendirme kontrolü, rüzgar jeneratörü kontrolü. Örnek olarak, rüzgar jeneratöründe yalpa kontrolü yapılmıştır. Bir rotor pervanesi burcu geçtiğinde kulenin kendisi tarafından oluşturulan rüzgar perdesinden geçiyor. Rüzgar perdesi enerji çıkışında bir düşüşe neden oluyor ve PLC bu düşüşü telafi ediyor. [15]

Moeller Fuzzy-PLC nin bazı özellikleri; yüksek kapasiteli iki işlemci çözümü, 12 bit çözünürlükte A/D ve D/A çözünürlük, ek modüller ile 100 adet sinyal giriş imkanı, network bağlantısı için field-bus bağlantı noktası, klasik kontrol ve bulanık kontrol 16/32 bit RISC mikro işlemci ile gerçekleştirilmektedir, operasyon sistemi ve haberleşme protokolleri için ticari çok amaçlı çekirdek program "Moeller" tarafından gerçekleştirildi, "Inform" yazılım şirketi tarafında gerçekleştirilen bulanık mantık programı, tarama sürelerinin 1 ms den daha az olması imkanı, 256 KB lık iç hafıza harici flash bellekler ile arttırılabilmektedir, büyük kompleks ve hızlı endüstriyel problemleri çözebilmektedir.



Şekil 5.3. Moeller Fuzzy PLC



Şekil 5.4. Bulanık mantık ve klasik mantık için kullanılan FuzzyTECH 4.0 programı

Amerika’da ise Allen Bradley firması fuzzy-PLC üretmektedir. Amerikan Whirlpool firması soğutucu modellerinin bazılarında bulanık kontrolör kullanmaktadır.

Bulanık mantık arabalarda doğal bir uygulama alanıdır. Saturn firması, ABS fren sistemlerinde ve devir kontrolünde bulanık mantık kullanmaktadır. Örnek olarak Motorola’nın 68HC1-1 üründe devir kontrolü 500 byte’lık koddan oluşmaktadır. Yolun eğimine göre devir kontrolü de sağlayarak daha az fren yapılmasını da sağlamaktadır. [16]

1994 yılında Allen-Bradley ve Siemens firmaları PLC'ler için fonksiyon blokları olarak yazılım çözümleri geliştirdiler [20]. Yukarıda bahsedilen PLC'ler 1 ms nin altında çalışırken yazılım çözümleri 100 ms ye kadar hesaplama zamanı gerekmektedir. Birçok gözetleme kontrol uygulamaları çok hızlı cevap gerektirmediği için sadece yazılım çözümleri bile bir çok uygulama için yeterliydi.

Bulanık mantık tasarım sürecinde sistemin davranışını en iyi tanımlayan kurallardır. Toplam kural sayısı sistemin karışıklığına bağlıdır. sistem basit ise, birkaç kural ile tanımlanabilir. Diğer taraftan sistem karışık ise birkaç yüz kural gerekebilir. Bu özellikle uygulamalarda giriş ve çıkış sayısı fazla olduğu durumlar için geçerlidir. Tezde yazılan bulanık mantık programı, yeni algoritma yaklaşımı sayesinde 7-7 (49 adet) kural tabanlı bulanık mantık kontrolörü 80 ms. de hesaplayabilmektedir. Kural tablosu ne kadar büyük olursa sistem davranışı o kadar iyileşecektir. Kural tablosu ne kadar büyürse büyüsün tezdeki yeni algoritma yaklaşımı sayesinde hesaplama süresi 80 ms. dir (2 giriş-tek çıkışlı sistem için). 1994 yılından günümüze PLC'lerin işlem hızları artmıştır. Tezde kullanılan PLC, Nais firmasının FP2-C1 marka PLC cihazıdır. Bu cihaz $0,35 \mu s$ de bir komut taramaktadır. Bir üst model olan FP2-SH modeli ise diğerine göre 10 ila 15 kat daha hızlıdır (bir komut tarama süresi $0,03 \mu s$). FP2-SH modeli ile 80 ms. olan bulanık mantık tarama süresi 8 ms değerlerine inecektir. Sonuç olarak, her geçen gün gelişen mikroişlemcilerin hızlarının artması ile varolan PLC'lerde sadece yazılım ile bulanık mantık kontrolörün endüstriyel otomasyon uygulamalarının çoğunda kolaylıkla uygulanabilecektir. PLC pazarında bulanık mantık modülü veya Fuzzy-PLC ile yapılabilecek bulanık mantık kontrolü endüstriyel şartlar için yüksek kapasiteli normal PLC'ler ile de gerçekleştirilmesi mümkün görülmektedir.

5.7 Bulanık Mantık Donanım Çözümleri

Bulanık mantık tabanlı yeni ürünler yaratmak için geliştiricilere donanım ve yazılım çözümleri mevcuttur. Bulanık mantık kontrolörler, genel amaçlı mikroişlemcilerle uygulanabilir. Bulanık mantık, hafıza veya hesaplamaya fazla bağlı olmadığı için geliştiriciler arasında donanımla çözüm yaygındır. Normal şartlarda bu kontrolörler için 1000 byte'tan daha az bir hafıza yeterlidir. Uygulamaların çoğunda hesaplama için 8 bitlik bir mikroişlemci yeterli olmaktadır. Mikroişlemci yaklaşımı, modelin yazılım simülasyonları doğrulandıktan sonra geçerlidir. Bulanık mantık kontrolör sonuç kodları ROM'a yazılır. Mikroişlemci tabanlı bulanık mantık kontrolörler birçok sistemde çalışmaktadır. Oysaki, diğer donanım çözümlerinin gerektiği durumlar da vardır.

Adanmış bulanık entegreli devreler, hız veya büyük kural seti gerekli olduğu durumlarda kullanılırlar. Bulanık işlemciler, yazılımında bulanık mantık kod çalıştıran genel amaçlı mikro işlemcilerden 10 ila 100 kat daha hızlıdır. Togai Infralogic, Inc. Ve Siemens gibi firmalar bulanık işlemciler üreterek saniyedeki kural işleme adetlerini 200.000 ila 7.9 milyon a kadar çıkarmaktadırlar.

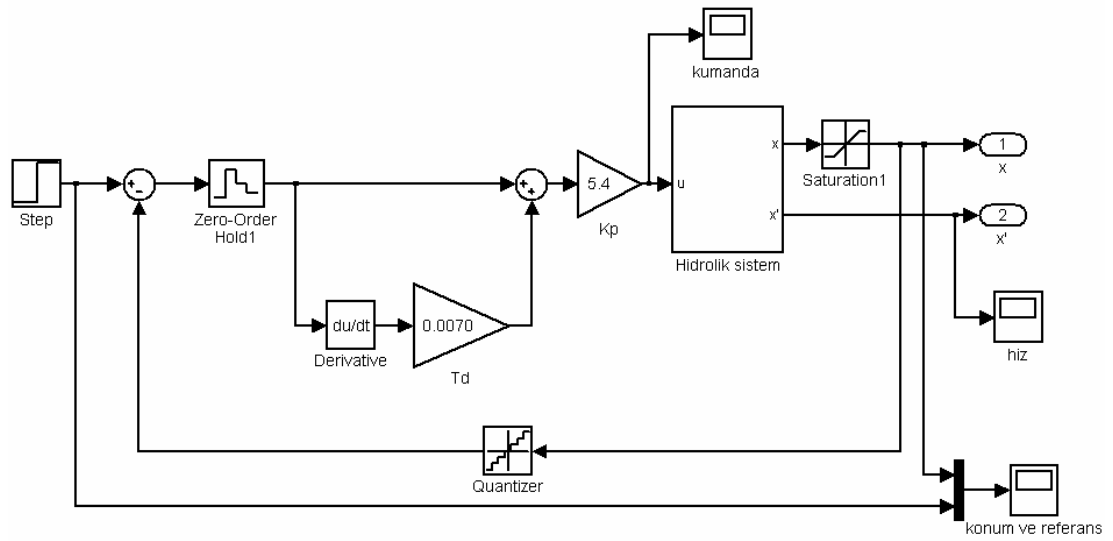
Bulanık mantık için geliştirilen yazılım araçları iki amaç için çok yararlıdır: ilk olarak modelin geçerli olup olmadığının acil geri dönüşünü sağlarlar; ikinci olarak sonuç çıkışı donanım modeline besleme olarak verilebilir. Bazıları yazılımlar geliştirme paketleridir, bazıları ise tamamen eğitim amaçlıdır. FIDE, Cubicalc ve TeachFlzzz farklı fiyat aralıklarında yazılım paketlerindendir.

6. SİMULASYON ÇALIŞMALARI

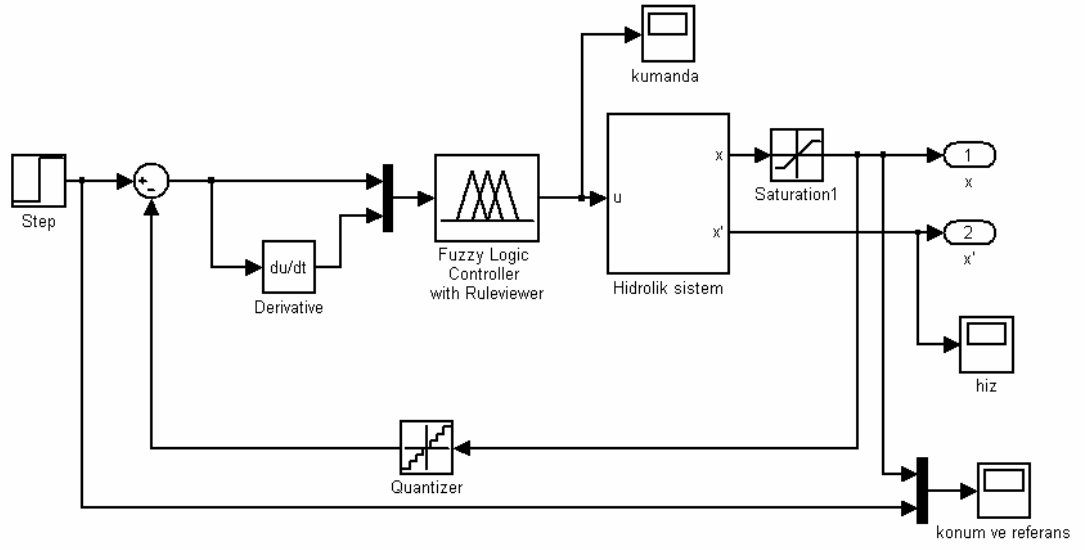
6.1 Giriş

Bu bölümde ilk olarak 2. bölümde elde edilen matematiksel ifadelerden yararlanılarak oluşturulan oransal valf kontrollü silindir sisteminin Simulink modeline PD kontrol ve Bulanık mantık kontrol teknikleri uygulanıp, basamak girişe verdikleri cevaplar incelenmiştir. İkinci olarak da deney düzeneğinde PLC cihazı vasıtası ile gerçek zamanlı PD ve bulanık mantık konum kontrolü gerçekleştirilmiştir.

6.2 Model Simülasyonları

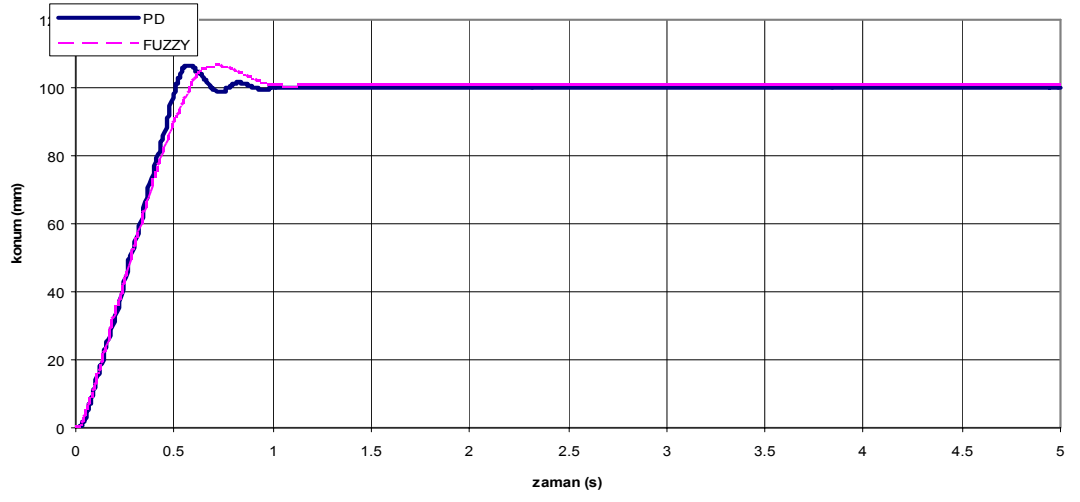


Şekil 6.1 Hidrolik sistem PD kontrol modeli



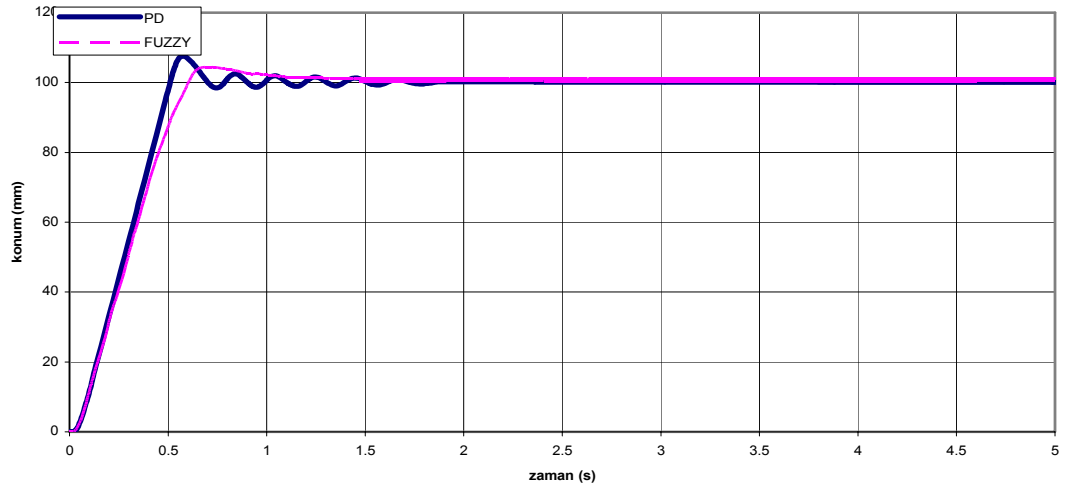
Şekil 6.2 Hidrolik sistem Bulanık mantık kontrol modeli

25 BAR YUKSUZ SİMULASYONLAR



(a)

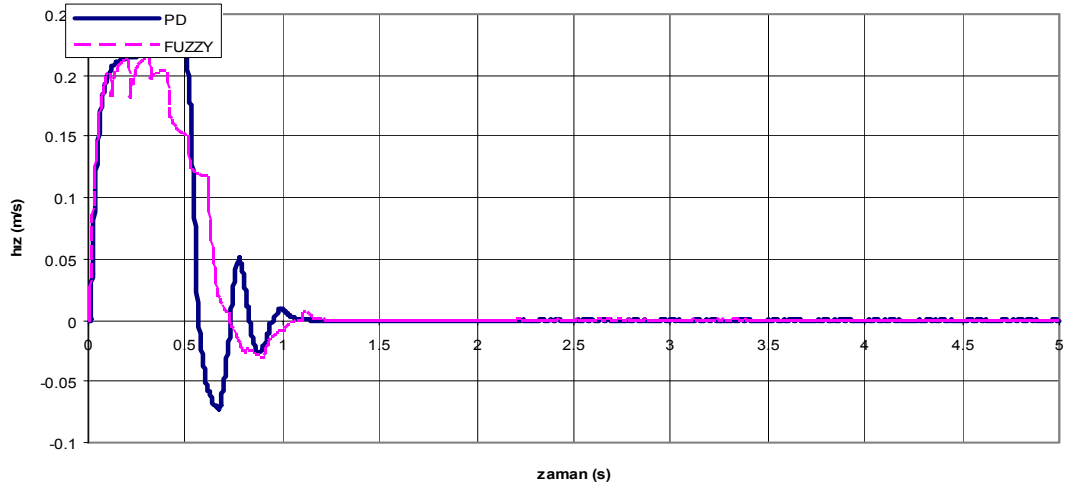
25 BAR YUKLU SİMULASYONLAR



(b)

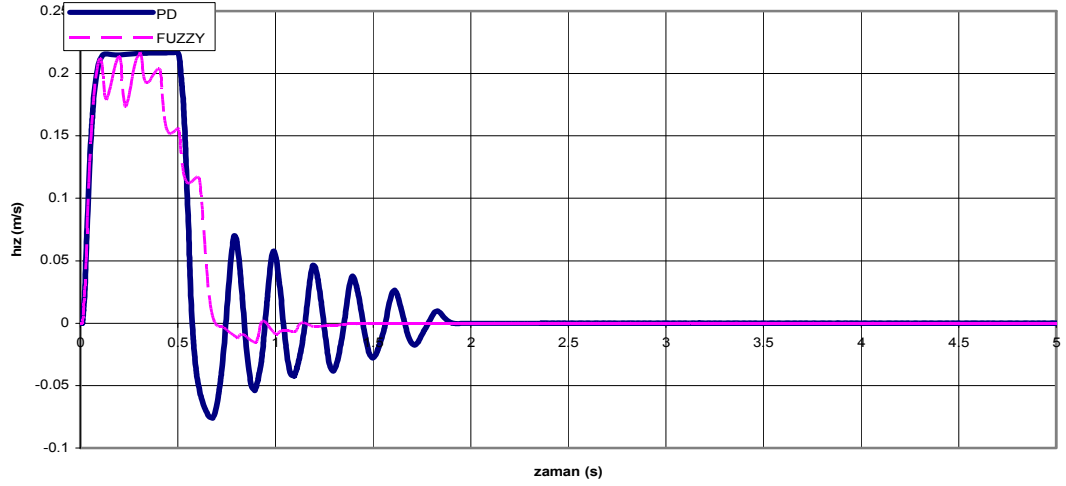
Şekil 6.3 a- 25 bar, 5 kg, b- 25 bar, 25 kg için konum eğrileri

25 BAR YUKSUZ SİMULASYONLAR



(a)

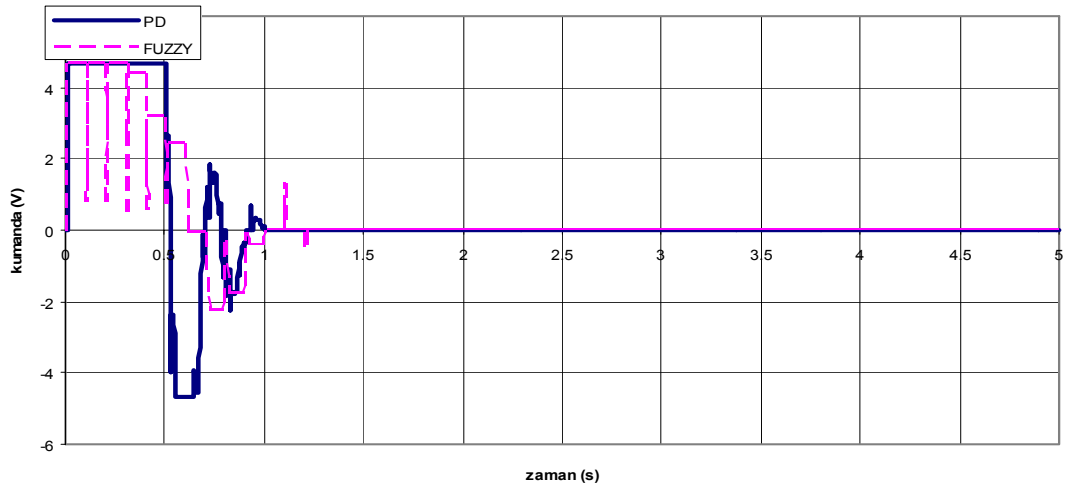
25 BAR YUKLU SİMULASYONLAR



(b)

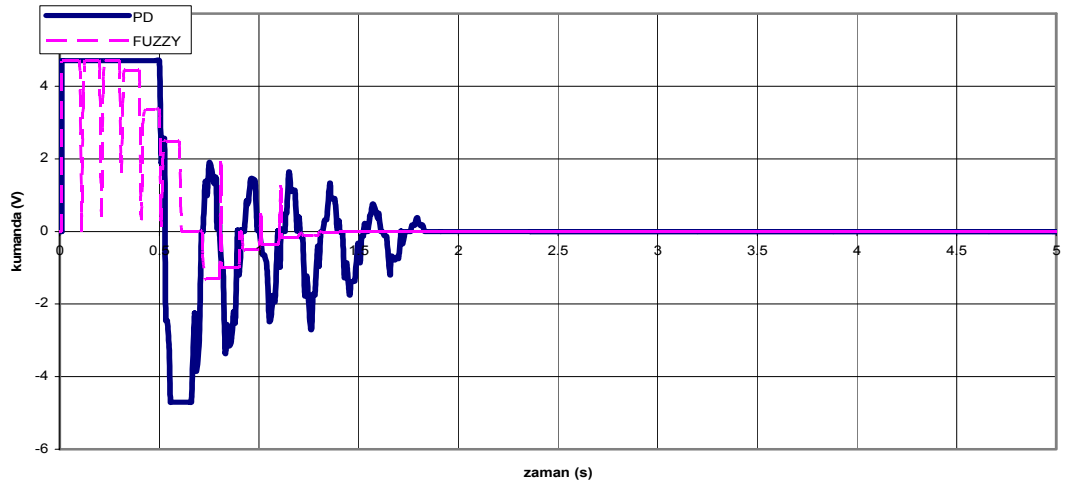
Şekil 6.4 a- 25 bar, 5 kg, b- 25 bar, 25 kg için hız eğrileri

25 BAR YUKSUZ SİMULASYONLAR



(a)

25 BAR YUKLU SİMULASYONLAR



(b)

Şekil 6.5 a- 25 bar, 5 kg, b- 25 bar, 25 kg için kumanda eğrileri

Model simülasyonları için kullanılan sistem parametreleri aşağıda verilmiştir;

$$P_s = 25 \text{ bar}$$

$$P_c = 1 \text{ bar}$$

$$M = 5 \text{ ve } 25 \text{ kg}$$

$$\beta = 6,7 \cdot 10^7 \text{ N/m}^2$$

$$B_v = 2000 \text{ N.sn/m}$$

$$i_{\max} = 5 \text{ mA}$$

$$i_u = 0.01 \text{ mA}$$

$$F = 0$$

$$L_{\max} = 0,168 \text{ m}$$

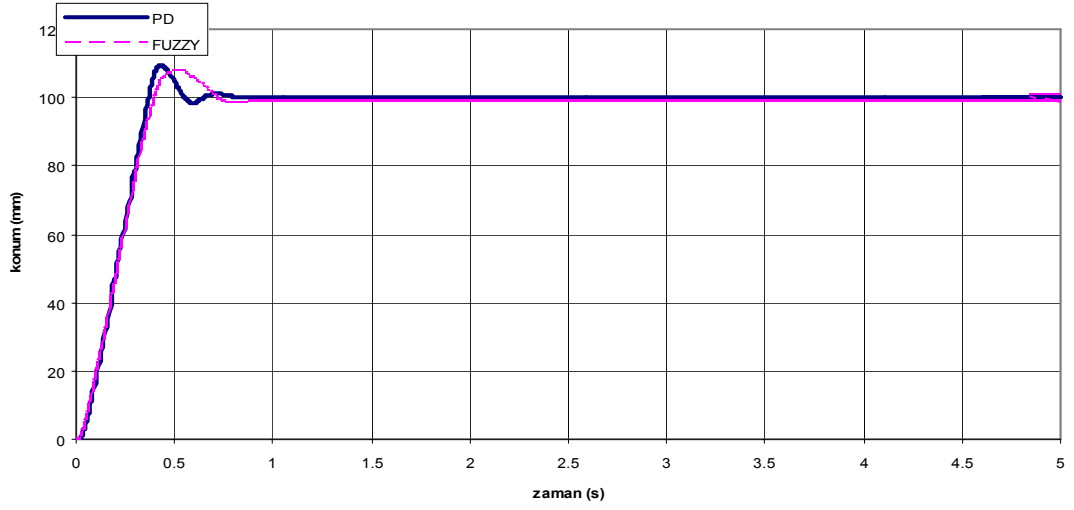
$$k_f = 9,5 \cdot 10^{-9} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} / \text{mA}$$

$$D_1 = 0.04 \text{ m}$$

$$D_2 = 0.02 \text{ m}$$

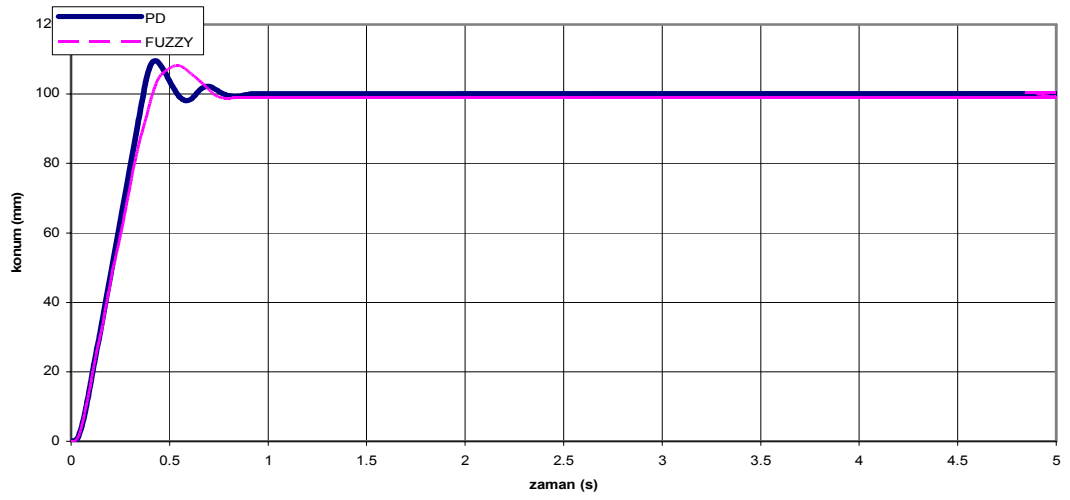
PD kontrol için kontrol katsayıları, $K_p = 5,4 \text{ V/m}$, $\tau_d = 0,0262 \text{ s}$ olarak belirlenmiştir.

50 BAR YUKSUZ SİMULASYONLAR



(a)

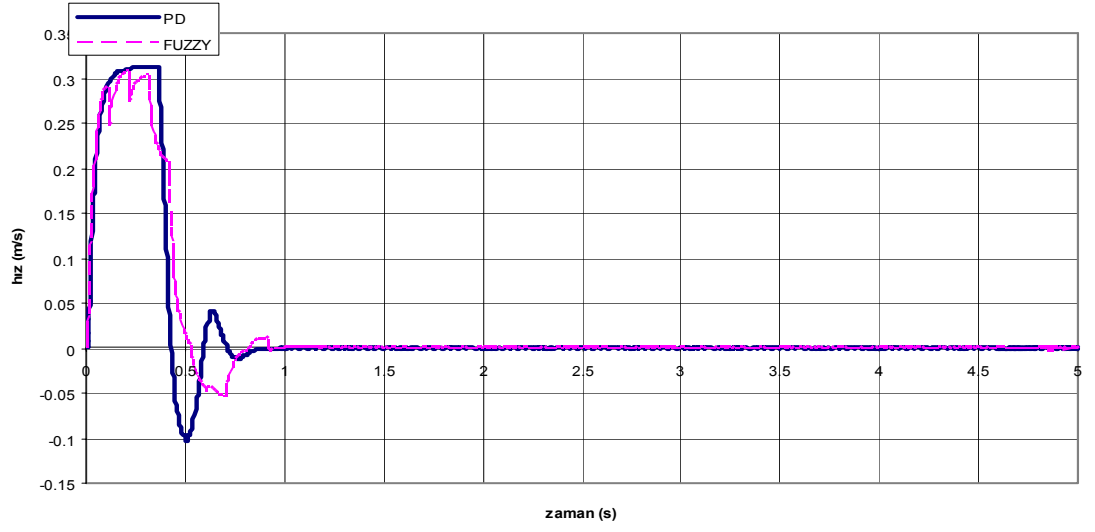
50 BAR YUKLU SİMULASYONLAR



(b)

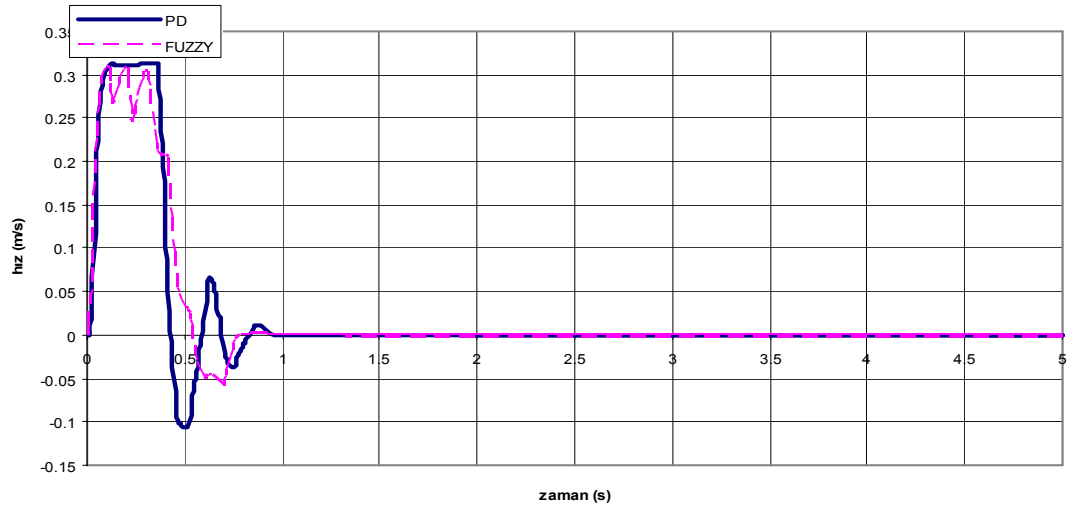
Şekil 6.6 a- 50 bar, 5 kg, b- 50 bar, 25 kg için konum eğrileri

50 BAR YUKSUZ SİMULASYONLAR



(a)

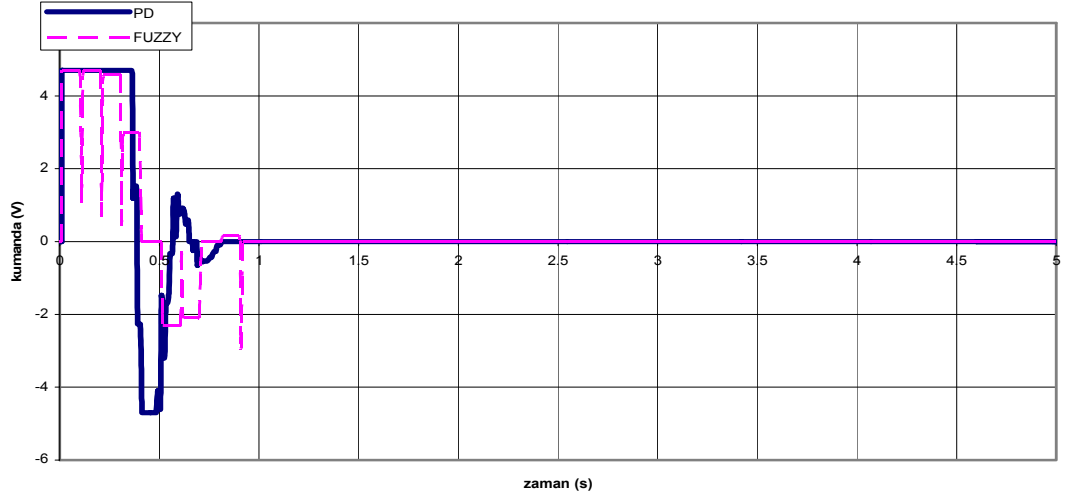
50 BAR YUKLU SİMULASYONLAR



(b)

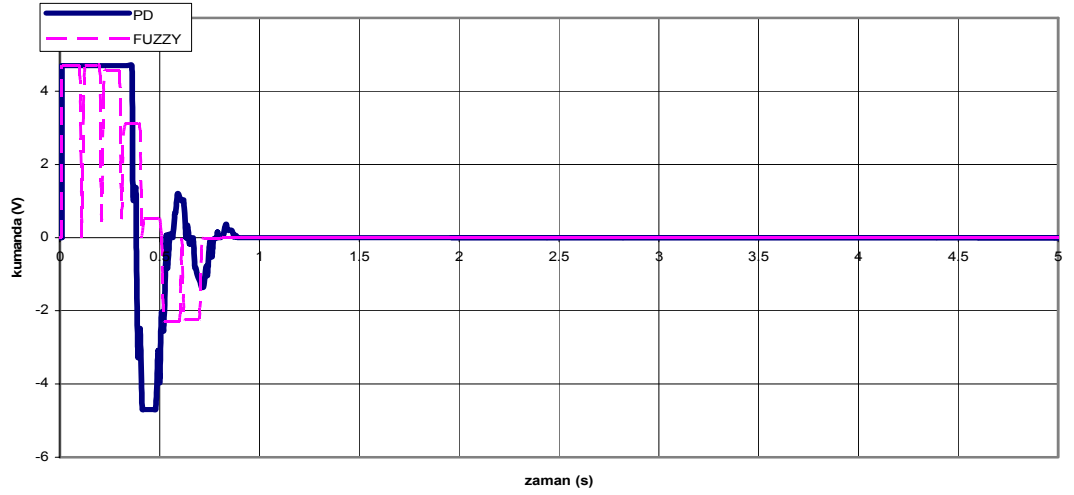
Şekil 6.7 a- 50 bar, 5 kg, b- 50 bar, 25 kg için hız eğrileri

50 BAR YUKSUZ SİMULASYONLAR



(a)

50 BAR YUKLU SİMULASYONLAR



(b)

Şekil 6.8 a- 50 bar, 5 kg, b- 50 bar, 25 kg için kumanda eğrileri

Model simülasyonları için kullanılan sistem parametreleri aşağıda verilmiştir;

$$P_s = 50 \text{ bar}$$

$$P_c = 1 \text{ bar}$$

$$M = 5 \text{ ve } 25 \text{ kg}$$

$$\beta = 6,7 \cdot 10^7 \text{ N/m}^2$$

$$B_v = 2000 \text{ N.sn/m}$$

$$i_{\max} = 5 \text{ mA}$$

$$i_u = 0.01 \text{ mA}$$

$$F = 0$$

$$L_{\max} = 0,168 \text{ m}$$

$$k_f = 9,5 \cdot 10^{-9} \text{ m}^3 \text{s}^{-1} / \text{mA}$$

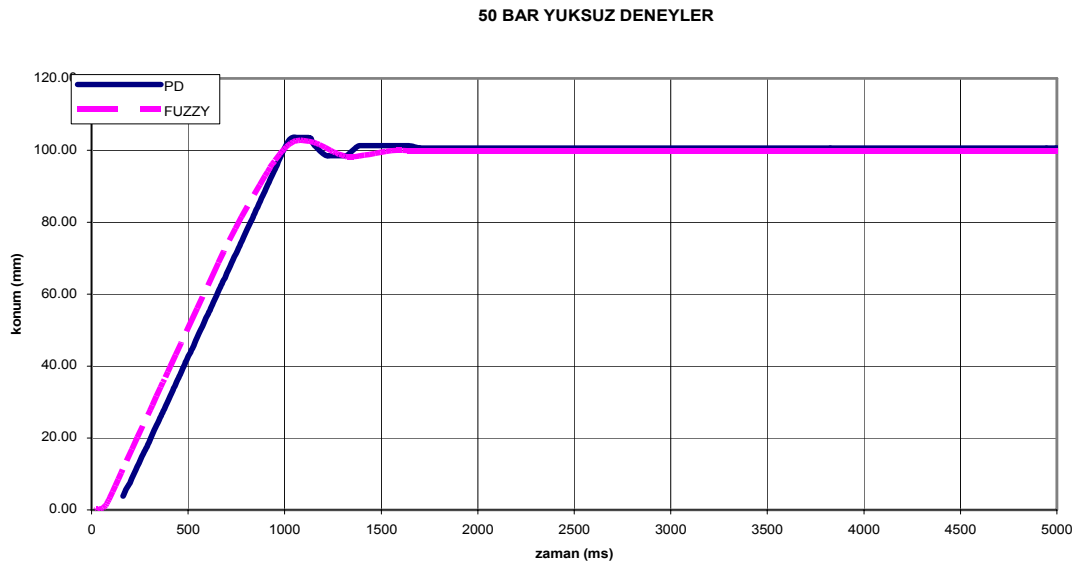
$$D_1 = 0.04 \text{ m}$$

$$D_2 = 0.02 \text{ m}$$

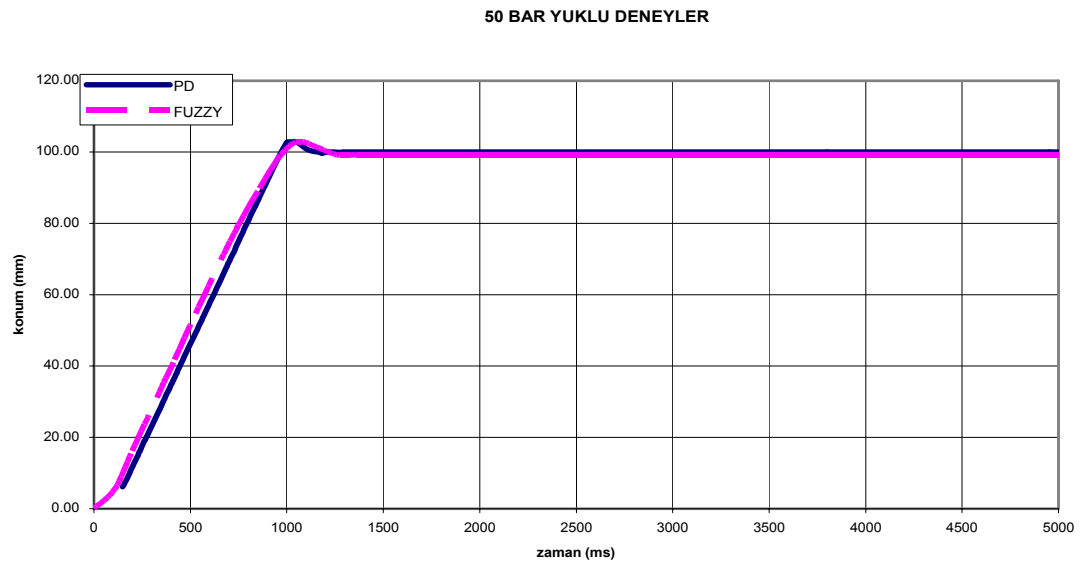
PD kontrol için kontrol katsayıları, $K_p = 4,2 \text{ V/m}$, $\tau_d = 0,0262 \text{ s}$ olarak belirlenmiştir.

6.3 Sistemin Gerçek Zamanlı Kontrolü

Gerçek zamanlı kontrol için deneyler 50 bar ve 25 bar'lık besleme basıncında, 5 kg ve 25 kg'lık değişken yükler altında yapılmıştır. Deney süreleri 5 saniyedir. PD kontrolde kullanılan kontrol katsayıları, $K_p = 5.4 \text{ V/m}$, $\tau_d = 0.0262 \text{ s}$ dir.



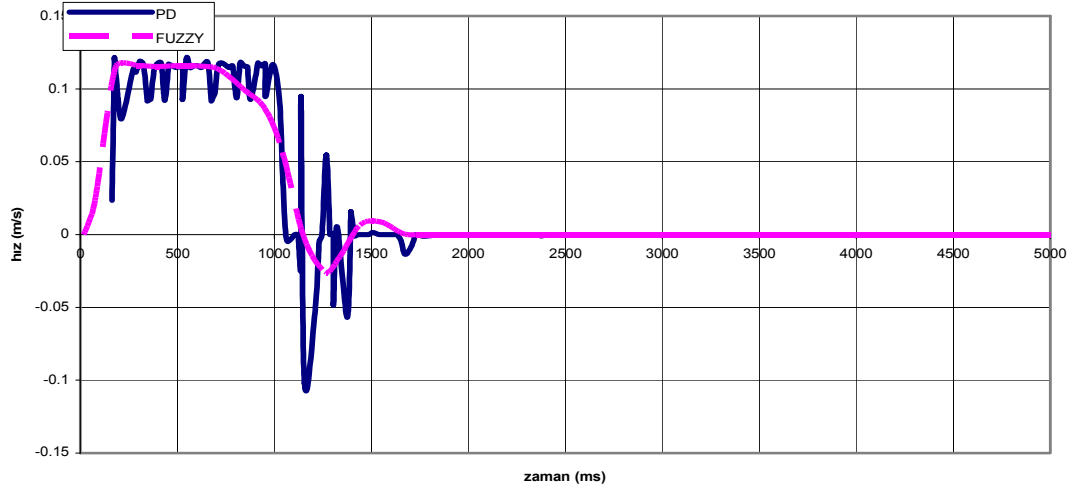
(a)



(b)

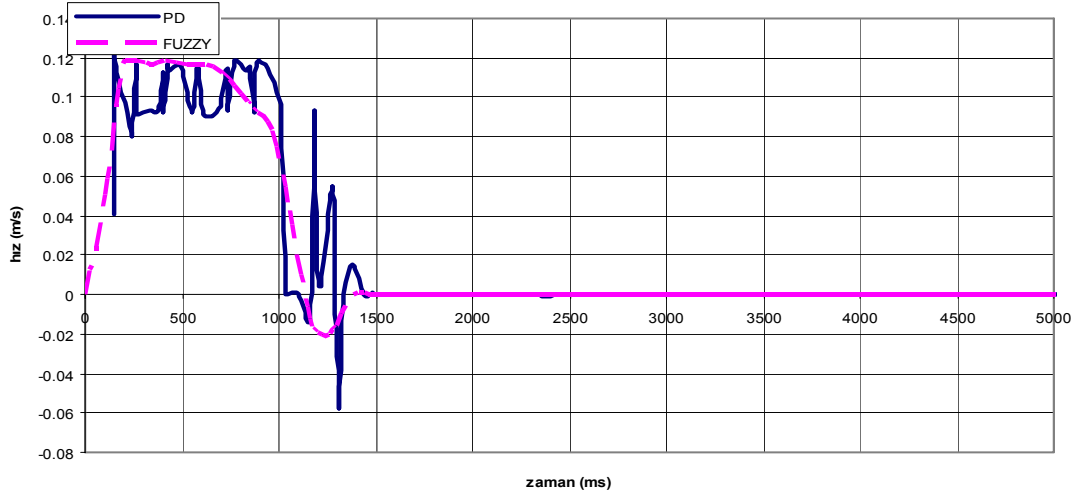
Şekil 6.9 a- 50 bar, 5 kg, b- 50 bar, 25 kg için konum eğrileri

50 BAR YUKSUZ DENEYLER



(a)

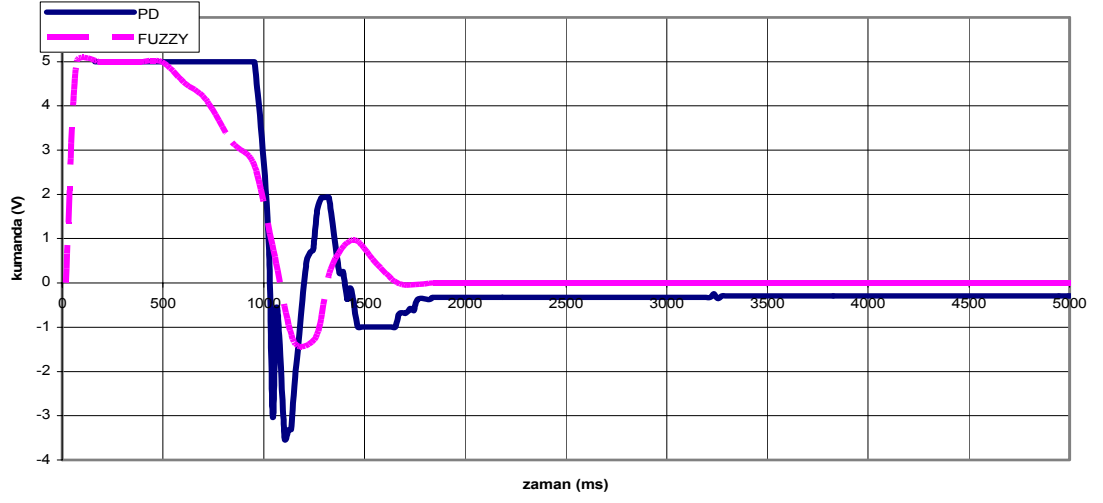
50 BAR YUKLU DENEYLER



(b)

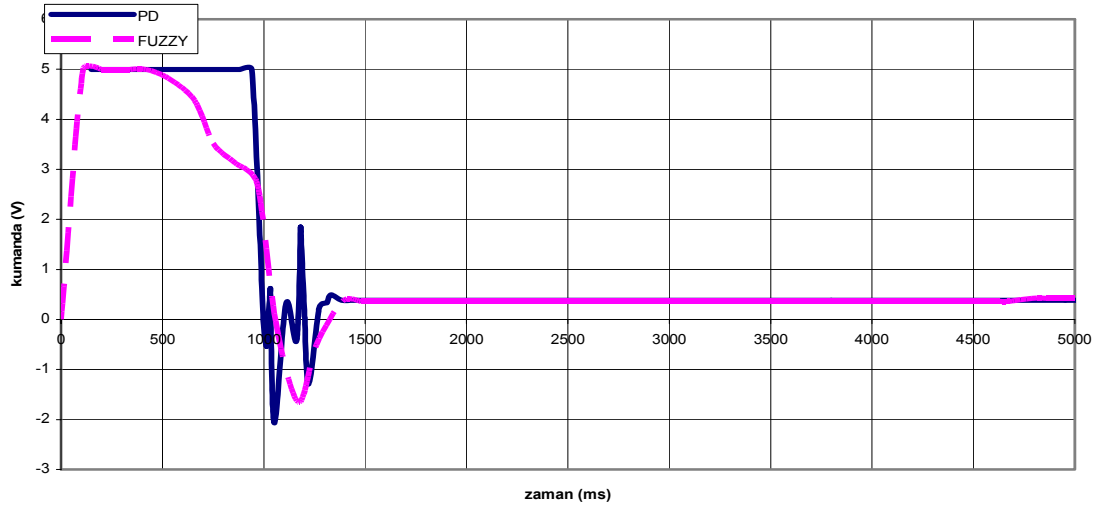
Şekil 6.10 a- 50 bar, 5 kg, b- 50 bar, 25 kg için hız eğrileri

50 BAR YUKSUZ DENEYLER



(a)

50 BAR YUKLU DENEYLER



(b)

Şekil 6.11 a- 50 bar, 5 kg, b- 50 bar, 25 kg için kumanda eğrileri

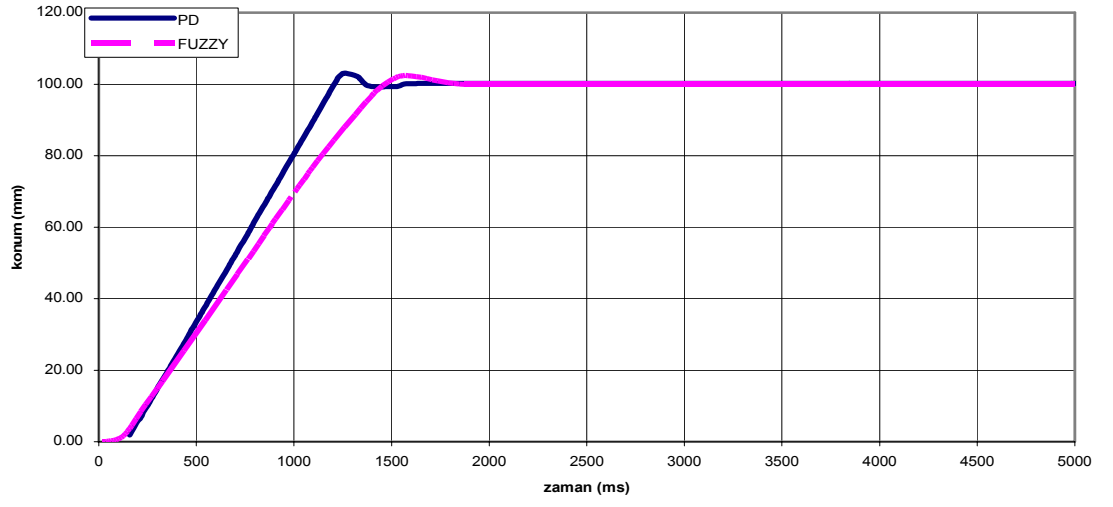
Şekil 6.9, Şekil 6.10, Şekil 6.11 de sisteme PD ve Bulanık mantık kontrol teknikleri uygulandığında 50 bar basınç, 5 ve 25 kg'lık değişken yükler altındaki birim basamak cevapları incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar Tablo 6.1 de verilmiştir.

Tablo 6.1 50 bar için PD ve Bulanık mantık kontrol sonuçları

Kontrol Tipi	Basınç ve yük durumu	En büyük aşım (mm)	Maksimum aşma (mm)	Maksimum aşma zamanı (sn)	Erişme zamanı (sn)	%2 ile yerleşme (sn)
PD	50bar, 5kg	103.66	3.66	1.045	0.992	1.156
	50bar, 25kg	102.82	2.82	1.013	0.970	1.109
Bulanık Mantık	50bar, 5kg	102.38	2.38	1.043	1.000	1.333
	50bar, 25kg	102.90	2.90	1.059	0.990	1.110

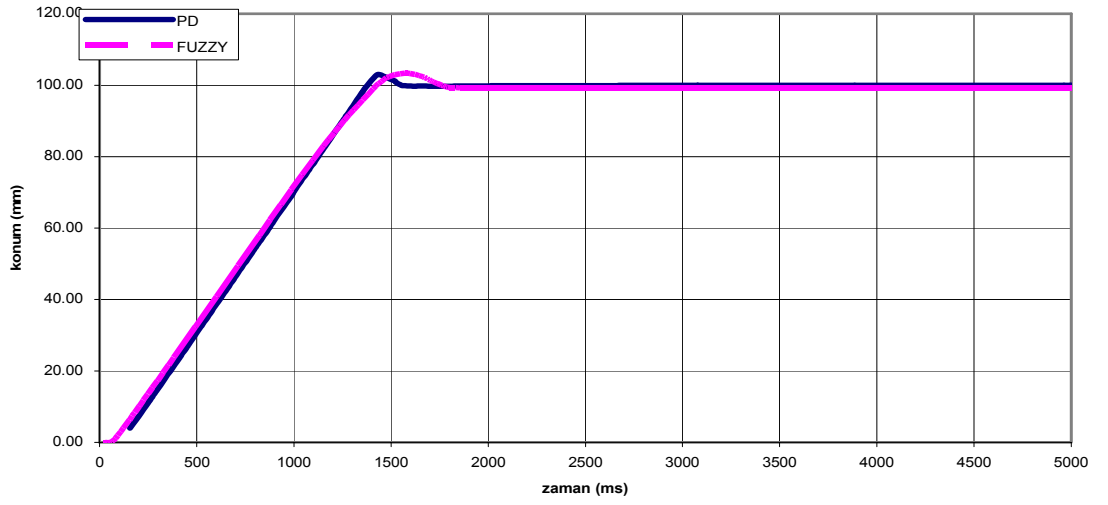
Bu sonuçlar 50 bar, 5 kg için incelendiğinde Bulanık mantık kontrol'ün yerleşme zamanları ve maksimum aşma zamanı açısından PD kontrolle aynı değerde olduğu, maksimum aşma değerinin ise daha iyi olduğu görülmektedir. Sistem yükünün arttırılmasıyla her iki kontrol sisteminde aynı maksimum aşma oluşurken, PD kontrol'ün maksimum aşma zamanı ve yerleşme zamanları bakımından daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

25 BAR YUKSUZ DENEYLER



(a)

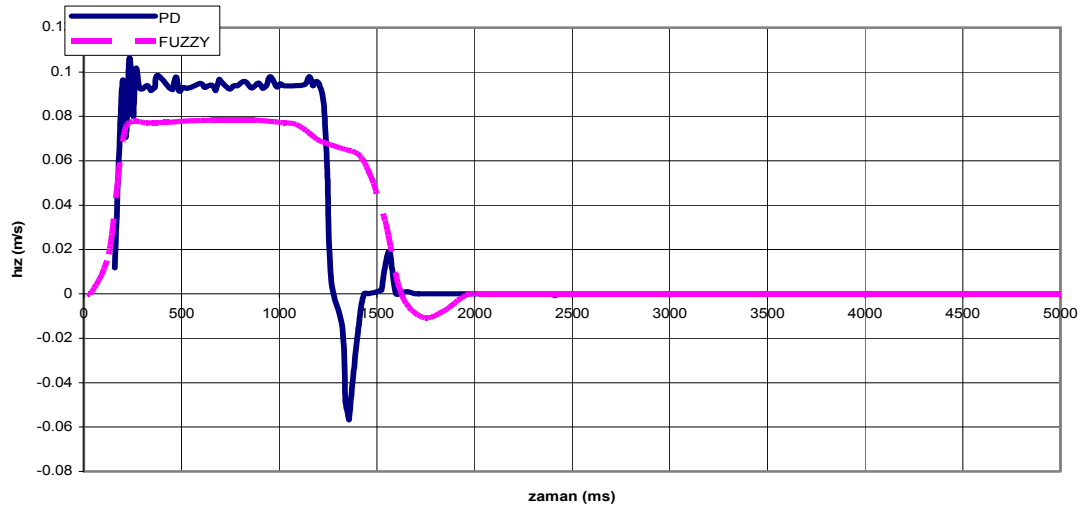
25 BAR YUKLU DENEYLER



(b)

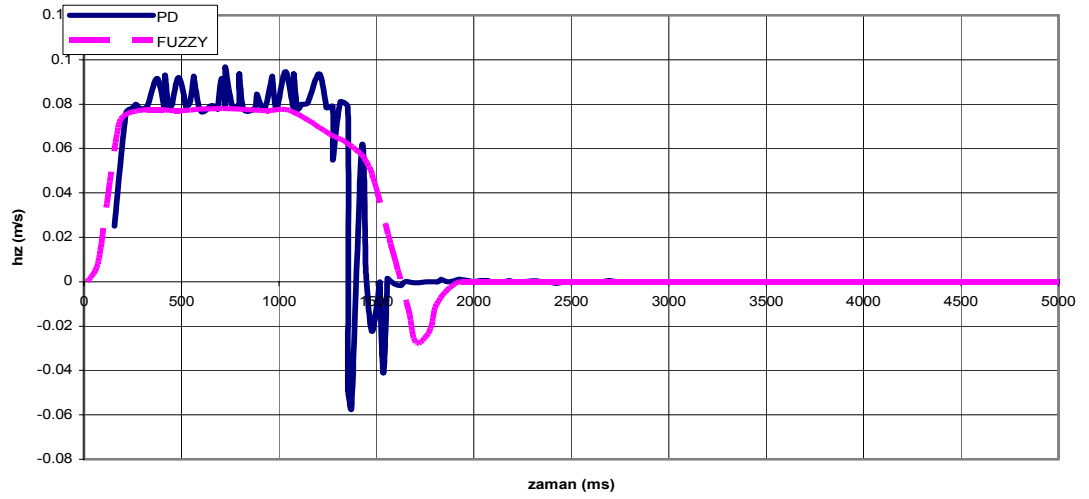
Şekil 6.12 a- 25 bar, 5 kg, b- 25 bar, 25 kg için konum eğrileri

25 BAR YUKSUZ DENEYLER



(a)

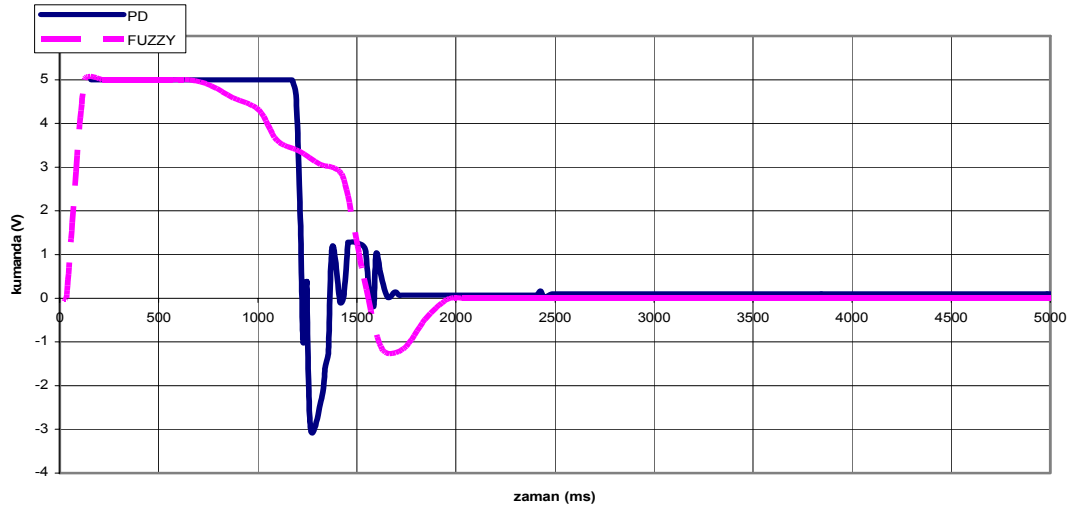
25 BAR YUKLU DENEYLER



(b)

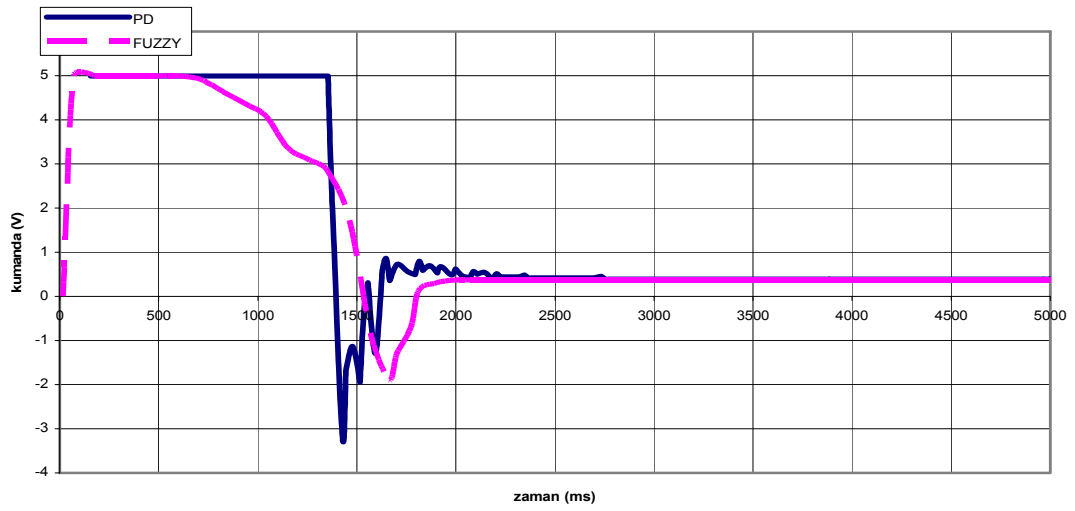
Şekil 6.13 a- 25 bar, 5 kg, b- 25 bar, 25 kg için hız eğrileri

25 BAR YUKSUZ DENEYLER



(a)

25 BAR YUKLU DENEYLER



(b)

Şekil 6.14 a- 25 bar, 5 kg, b- 25 bar 25kg için kumanda eğrileri

Şekil 6.12, Şekil 6.13, Şekil 6.14 de sisteme PD ve Bulanık mantık kontrol teknikleri uygulandığında 25 bar basınç, 5 ve 25 kg'lık değişken yükler altındaki birim basamak cevapları incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar Tablo 6.2 de verilmiştir.

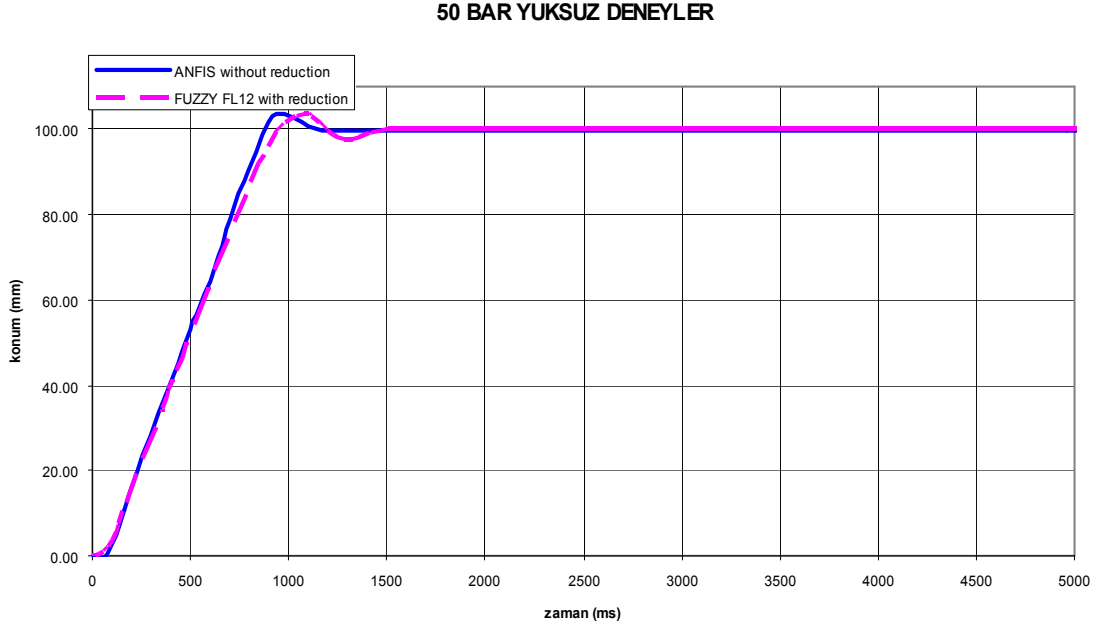
Tablo 6.2 25 bar için PD ve Bulanık mantık kontrol sonuçları

Kontrol Tipi	Basınç ve yük durumu	En büyük aşım (mm)	Maksimum aşma (mm)	Maksimum aşma zamanı (sn)	Erişme zamanı (sn)	%2 ile yerleşme (sn)
PD	25bar, 5kg	103.08	3.08	1.266	1.200	1.330
	25bar, 25kg	102.92	2.92	1.445	1.390	1.485
Bulanık Mantık	25bar, 5kg	102.10	2.10	1.536	1.480	1.626
	25bar, 25kg	103.44	3.44	1.573	1.440	1.675

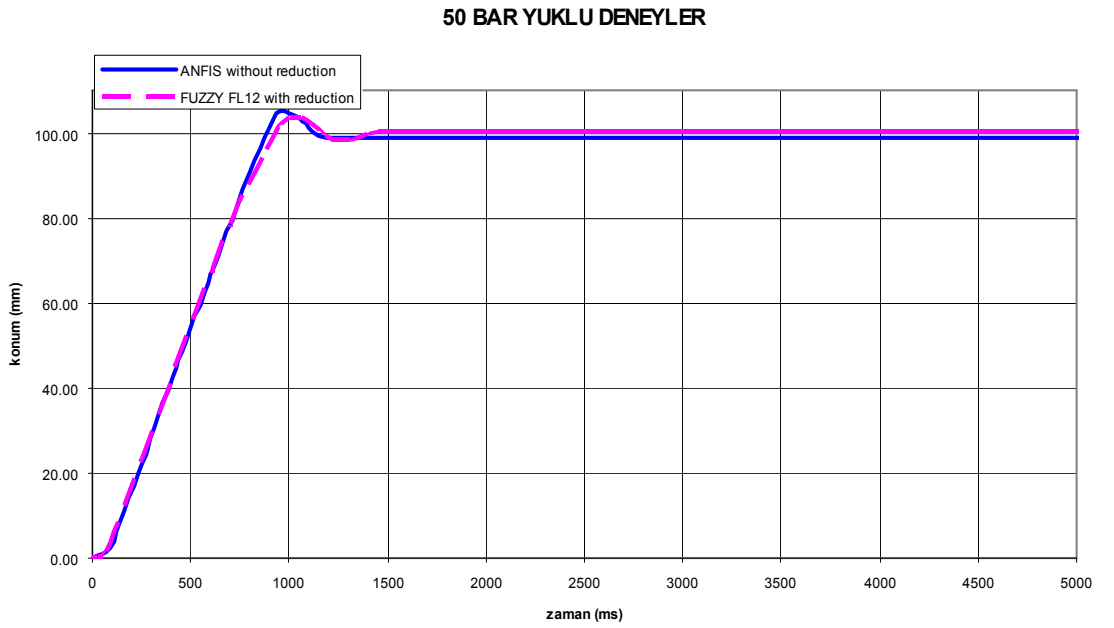
Bu tablodan da görüldüğü gibi 25 bar, 5 kg için Bulanık mantık kontrolün, PD kontrole göre maksimum aşım göre daha iyi sonuçlar verdiği görülmektedir, ancak maksimum aşma zamanı olarak daha yavaş kalmaktadır. Sistemin yükü 25 kg'a çıkarıldığında bulanık mantık kontrolün maksimum aşmasının PD kontrolden daha fazla olduğu, maksimum aşma zamanı ve yerleşme zamanları bakımından ise PD kontrolle yakın sonuçlar olduğu görülmüştür.

6.4 Sistemin Gerçek Zamanlı Kontrolü (ANFIS ve Bulanık Mantık)

ANFIS ve Bulanık mantık gerçek zamanlı kontrol için deneyler 50 bar ve 25 bar'lık besleme basıncında, 5 kg ve 25 kg'lık değişken yükler altında yapılmıştır. Deney süreleri 5 saniyedir.



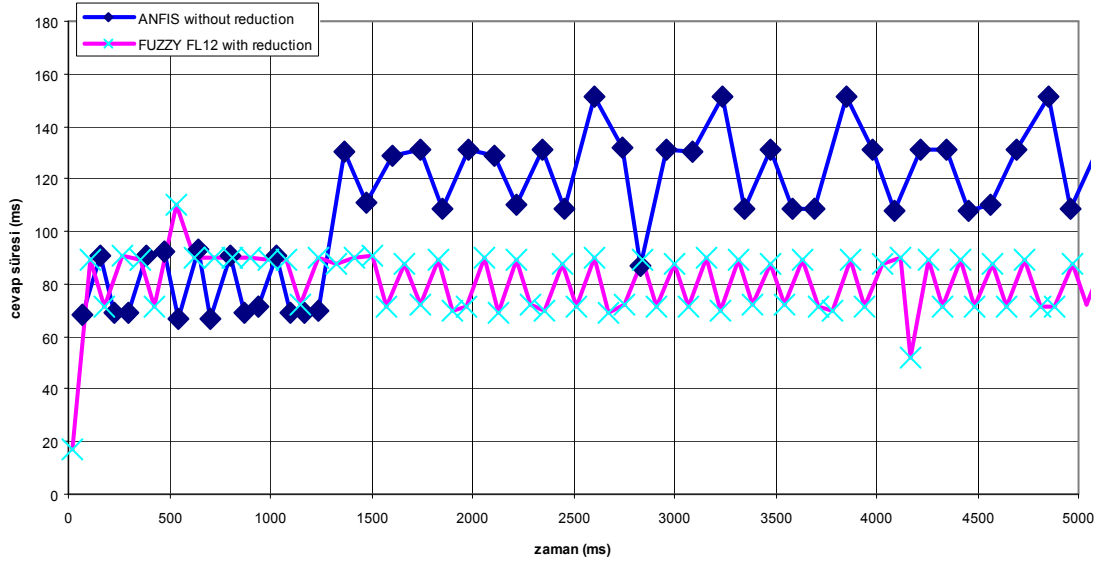
(a)



(b)

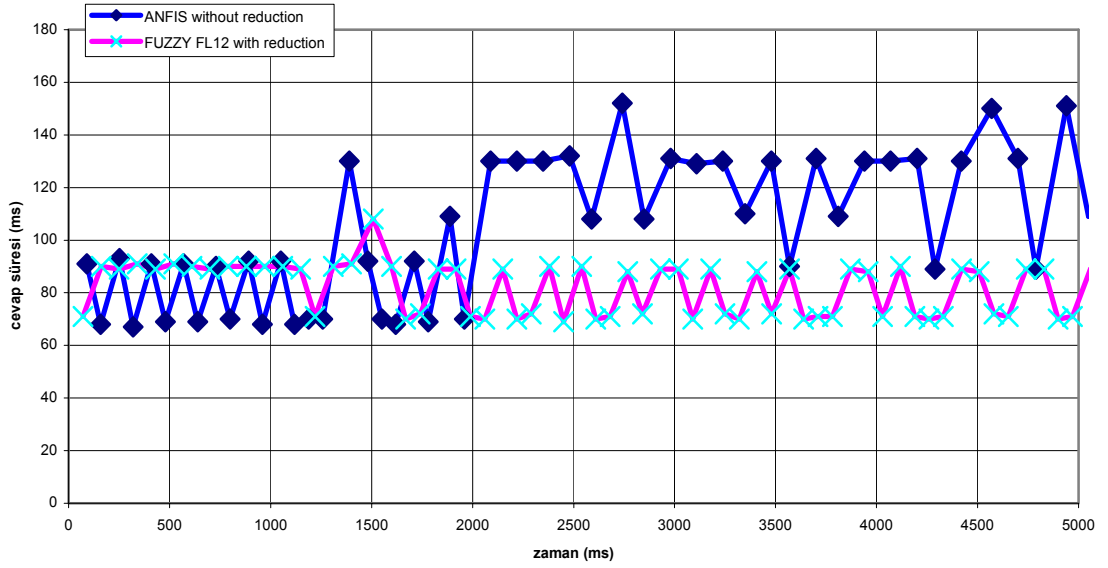
Şekil 6.15 a- 50 bar, 5 kg, b- 50 bar, 25 kg için konum eğrileri

50 BAR YUKSUZ DENEYLER



(a)

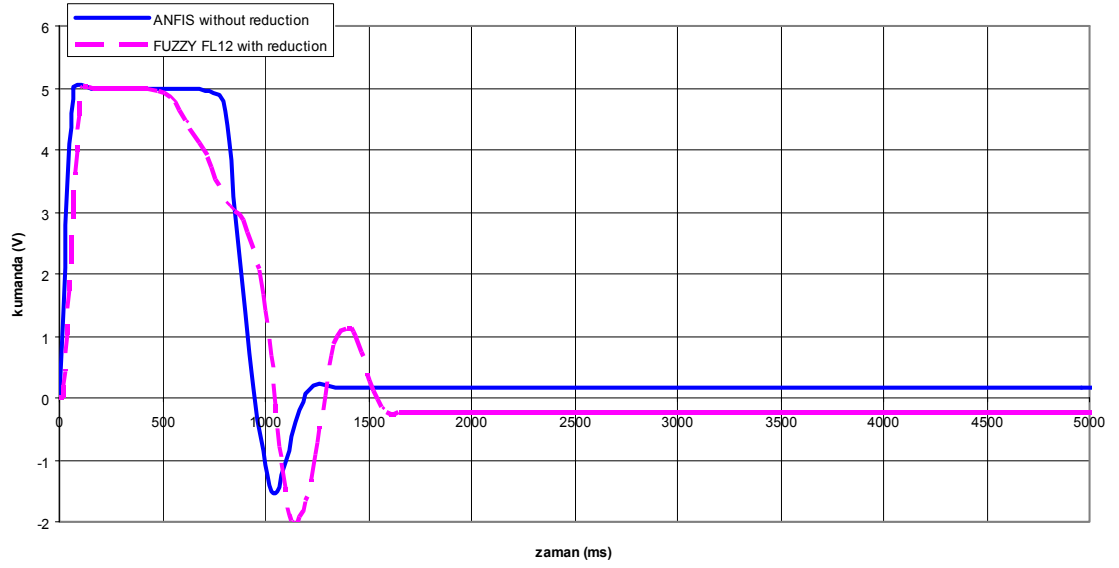
50 BAR YUKLU DENEYLER



(b)

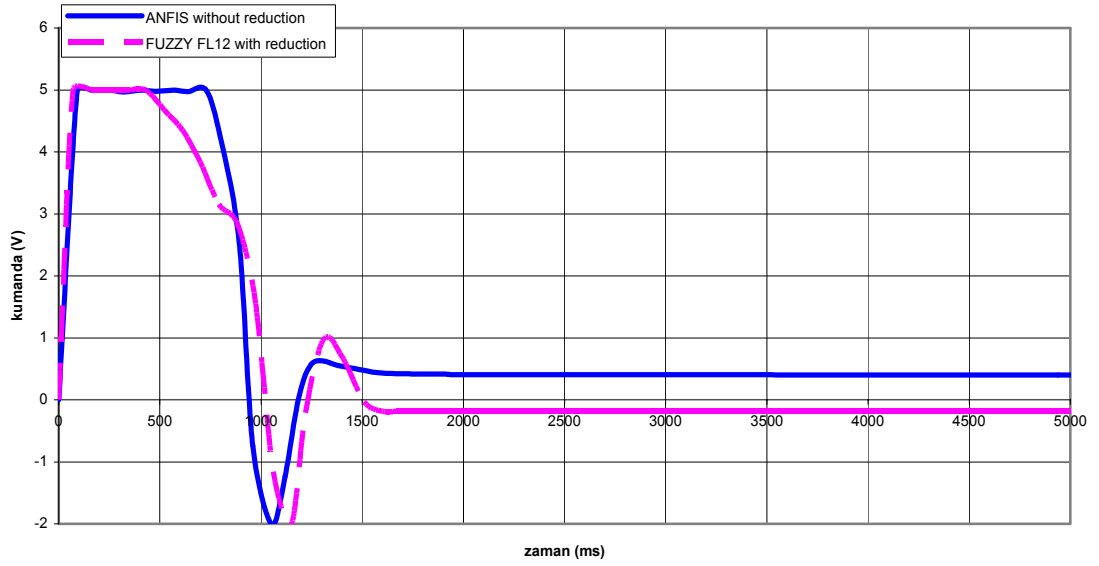
Şekil 6.16 a- 50 bar, 5 kg, b- 50 bar, 25 kg için kontrolör karar verme süresi eğrileri

50 BAR YUKSUZ DENEYLER



(a)

50 BAR YUKLU DENEYLER



(b)

Şekil 6.17 a- 50 bar, 5 kg, b- 50 bar, 25 kg için kumanda eğrileri

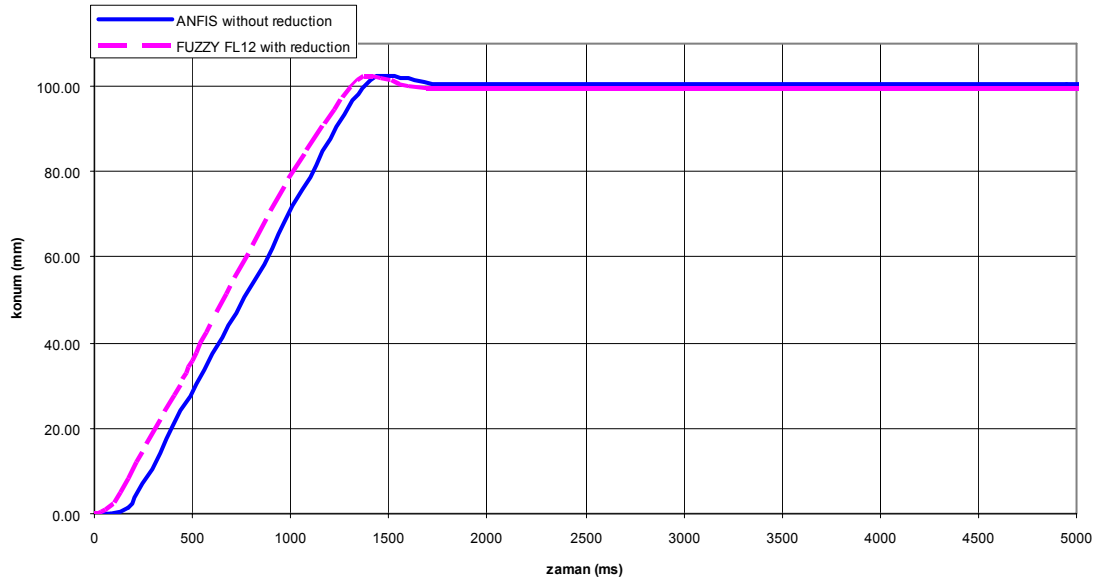
Şekil 6.15, Şekil 6.16, Şekil 6.17 de sisteme ANFIS ve Bulanık mantık kontrol teknikleri uygulandığında 50 bar basınç, 5 ve 25 kg'lık değişken yükler altındaki birim basamak cevapları incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar Tablo 6.3 de verilmiştir.

Tablo 6.3 50 bar için ANFIS ve Bulanık mantık kontrol sonuçları

Kontrol Tipi	Basınç ve yük durumu	En büyük aşım (mm)	Maksimum aşma (mm)	Maksimum aşma zamanı (sn)	Erişme zamanı (sn)	%2 ile yerleşme (sn)
ANFIS	50bar, 5kg	103.66	3.66	0.938	0.900	1.040
	50bar, 25kg	105.28	5.28	0.959	0.880	1.070
Bulanık Mantık	50bar, 5kg	103.74	3.74	1.076	0.965	1.110
	50bar, 25kg	103.66	3.66	1.060	0.955	1.120

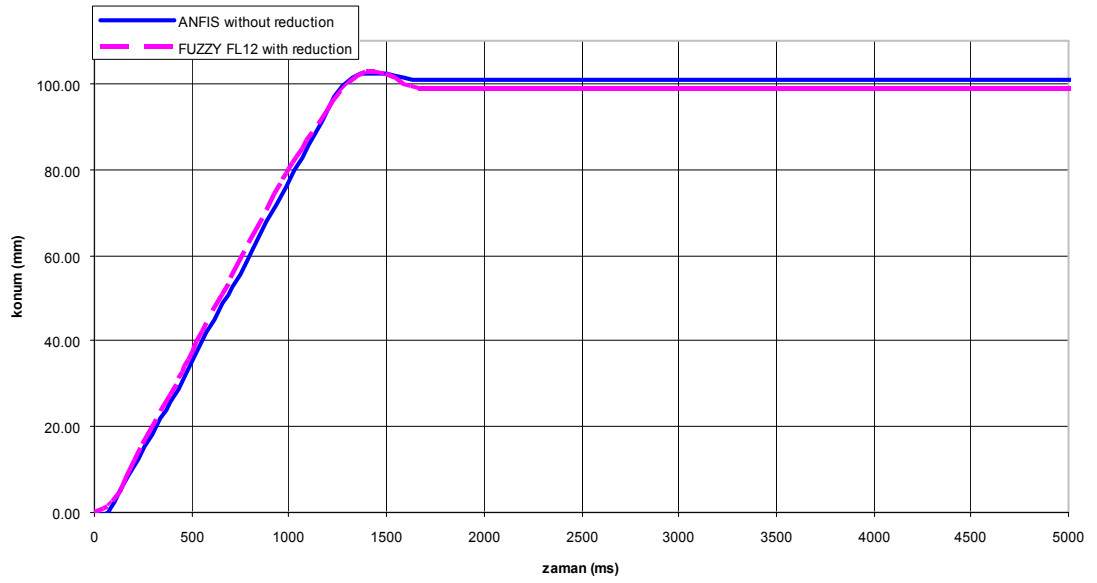
Bu sonuçlar 50 bar, 5 kg için incelendiğinde ANFIS kontrol'ün yerleşme zamanları açısından Bulanık kontrolden daha iyi değerde olduğu, maksimum aşma değerinin Bulanık kontrol ile aynı değerde olduğu görülmektedir. Sistem yükünün arttırılmasıyla ANFIS kontrol sisteminde daha fazla maksimum aşma oluşurken, ANFIS kontrol'ün yerleşme zamanları bakımından daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

25 BAR YUKSUZ DENEYLER



(a)

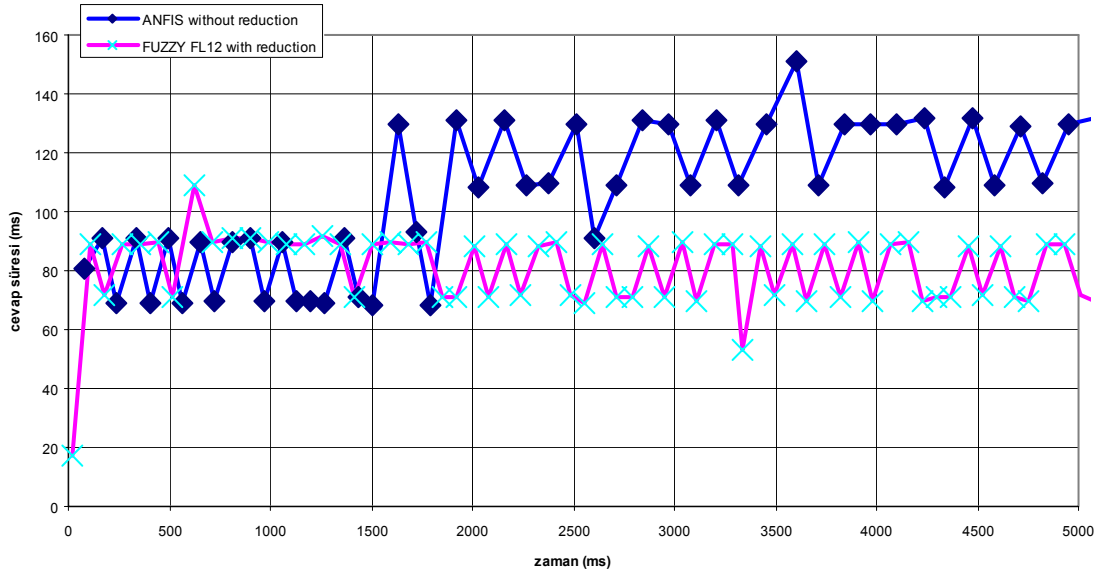
25 BAR YUKLU DENEYLER



(b)

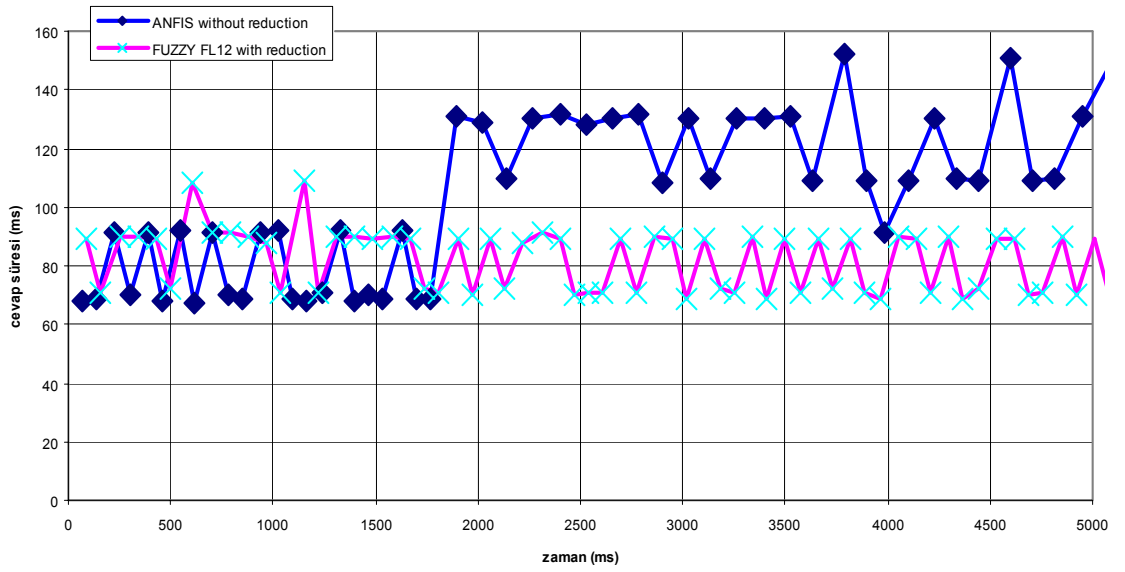
Şekil 6.18 a- 25 bar, 5 kg, b- 25 bar, 25 kg için konum eğrileri

25 BAR YUKSUZ DENEYLER



(a)

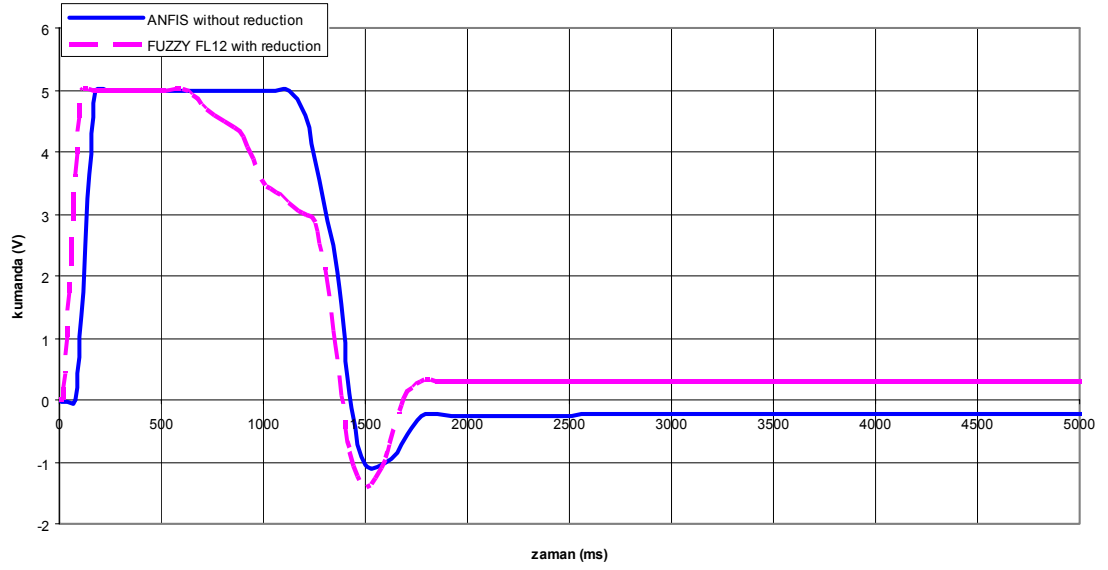
25 BAR YUKSUZ DENEYLER



(b)

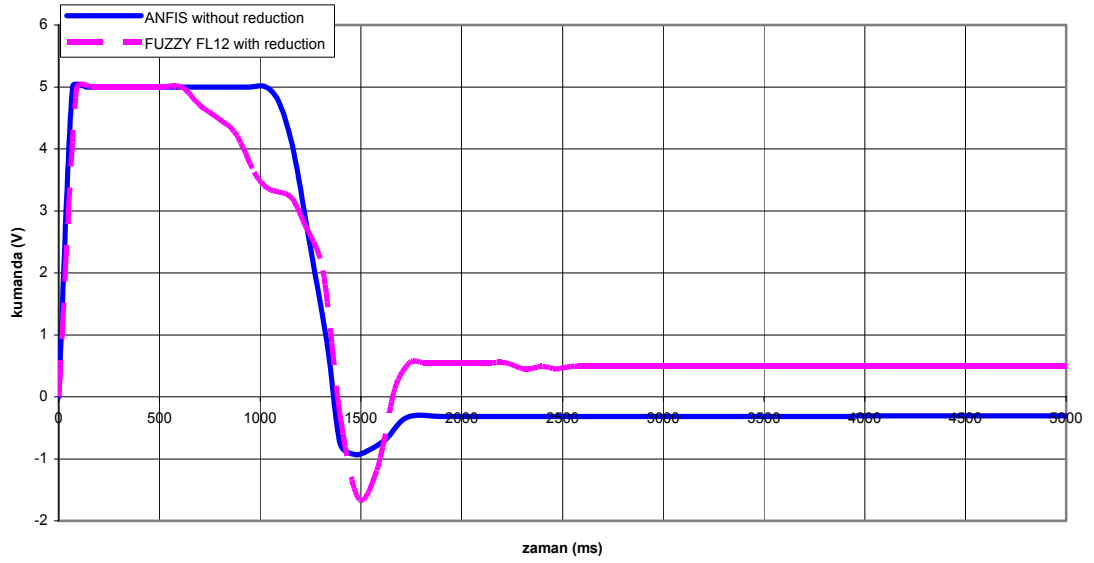
Şekil 6.19 a- 25 bar, 5 kg, b- 25 bar, 25 kg için kontrolör karar verme süresi eğrileri

25 BAR YUKSUZ DENEYLER



(a)

25 BAR YUKLU DENEYLER



(b)

Şekil 6.20 a- 25 bar, 5 kg, b- 25 bar 25kg için kumanda eğrileri

Şekil 6.18, Şekil 6.19, Şekil 6.20 de sisteme ANFIS ve Bulanık mantık kontrol teknikleri uygulandığında 25 bar basınç, 5 ve 25 kg'lık değişken yükler altındaki birim basamak cevapları incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar Tablo 6.4 de verilmiştir.

Tablo 6.4 25 bar için ANFIS ve Bulanık mantık kontrol sonuçları

Kontrol Tipi	Basınç ve yük durumu	En büyük aşım (mm)	Maksimum aşma (mm)	Maksimum aşma zamanı (sn)	Erişme zamanı (sn)	%2 ile yerleşme (sn)
ANFIS	25bar, 5kg	102.46	2.46	1.433	1.395	1.535
	25bar, 25kg	102.34	2.34	1.397	1.300	1.500
Bulanık Mantık	25bar, 5kg	102.54	2.54	1.418	1.310	1.460
	25bar, 25kg	102.96	2.96	1.400	1.300	1.510

Bu tablodan da görüldüğü gibi 25 bar, 5 kg için ANFIS kontrolün, Bulanık mantık kontrole göre maksimum aşım değerlerinde daha iyi sonuçlar verdiği görülmektedir, ancak maksimum aşma zamanı olarak aynı değerlerde kalmaktadır. Sistemin yükü 25 kg'a çıkarıldığında bulanık mantık kontrolün maksimum aşmasının ANFIS kontrolden daha fazla olduğu, maksimum aşma zamanı ve yerleşme zamanları bakımından ise ANFIS kontrolle yakın sonuçlar olduğu görülmüştür.

7. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

7.1 Giriş

Bu çalışmada elektro hidrolik bir sistemin PLC ve SCADA programı kullanılarak gerçek zamanlı konum kontrolü gerçekleştirilmiştir. PD kontrol ve Bulanık mantık kontrol teknikleri kullanılarak hidrolik sisteme 25 ve 50 barlık besleme basınçlarında, 5 ve 25 kg.lık değişken yükler uygulanarak, sistemin birim basamak cevapları incelenmiştir. Ayrıca hidrolik sistemin matematiksel ifadelerinden elde edilen Simulink modeline PD ve Bulanık mantık kontrol teknikleri uygulanarak, hidrolik sistem incelenmiştir.

7.2 Model İle Yapılan Kontrol Sonuçları

Model üzerinde yapılan simülasyonlar sonucunda PD kontrol'ün bulanık mantık kontrol'e göre daha hızlı olduğu görülmüştür. Ancak, yük uygulandığında düşük basınçta PD kontrol'ün %2 ile yerleşme zamanının arttığı görülmektedir. Bulanık mantık kontrol ise, yük uygulandığında daha az %2 ile yerleşme zamanı göstermektedir. Simülasyon sonuçlarına göre model gerçek sisteme göre daha hızlıdır. Bu, simülasyon parametreleri ile gerçek sistem parametrelerinin tam olarak aynı olmamasından kaynaklanmaktadır.

7.3 Gerçek Zamanlı Kontrol Sonuçları

Tablo 7.1 50 bar için PD ve Bulanık mantık kontrol sonuçları

Kontrol Tipi	Basınç ve yük durumu	En büyük aşım (mm)	Maksimum aşma (mm)	Maksimum aşma zamanı (sn)	Erişme zamanı (sn)	%2 ile yerleşme (sn)
PD	50bar, 5kg	103.66	3.66	1.045	0.992	1.156
	50bar, 25kg	102.82	2.82	1.013	0.970	1.109
Bulanık Mantık	50bar, 5kg	102.38	2.38	1.043	1.000	1.333
	50bar, 25kg	102.90	2.90	1.059	0.990	1.110

Tablo 7.1 50 bar, 5 kg için incelendiğinde Bulanık mantık kontrol'ün yerleşme zamanları ve maksimum aşma zamanı açısından PD kontrolle aynı değerde olduğu, maksimum aşma değerinin ise daha iyi olduğu görülmektedir. Sistem yükünün artırılmasıyla her iki kontrol sisteminde aynı maksimum aşma oluşurken, PD kontrol'ün maksimum aşma zamanı ve yerleşme zamanları bakımından daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

Tablo 7.2 25 bar için PD ve Bulanık mantık kontrol sonuçları

Kontrol Tipi	Basınç ve yük durumu	En büyük aşım (mm)	Maksimum aşma (mm)	Maksimum aşma zamanı (sn)	Erişme zamanı (sn)	%2 ile yerleşme (sn)
PD	25bar, 5kg	103.08	3.08	1.266	1.200	1.330
	25bar, 25kg	102.92	2.92	1.445	1.390	1.485
Bulanık Mantık	25bar, 5kg	102.10	2.10	1.536	1.480	1.626
	25bar, 25kg	103.44	3.44	1.573	1.440	1.675

Tablo 7.2'e bakıldığında 25 bar, 5 kg için Bulanık mantık kontrol'ün, PD kontrole göre maksimum aşma göre daha iyi sonuçlar verdiği görülmektedir, ancak maksimum aşma zamanı olarak daha yavaş kalmaktadır. Sistemin yükü 25 kg'a çıkarıldığında Bulanık mantık kontrol'ün maksimum aşmasının PD kontrolden daha

fazla olduğu, maksimum aşma zamanı ve yerleşme zamanları bakımından ise PD kontrolle yakın sonuçlar olduğu görülmüştür.

25 bar basınç yüksüz koşullarda PD kontrolün çok hızlı olduğu dikkati çekmektedir. Besleme basıncının 25 bar'a düşürülmesiyle, PD kontrolün ve bulanık mantık kontrolörün maksimum aşma değerlerinde farklı yükler için neredeyse hiçbir değişim olmamıştır.

Elde edilen tablolara bakıldığında, genel olarak bulanık mantık kontrolün PD kontrole göre daha üstün bir performans sergilemediği görülmektedir. Bunun bir sebebi, PLC cihazında çalışan bulanık mantık kontrolör yazılımının 100 ms. de bir karar verebilmesi olabilir. PLC'deki ilk bulanık mantık yazılımının karar verme süresi 400 ms. olmasına rağmen 3 veya 4 kararda referans değerine başarılı sayılabilecek yerleşmeler gerçekleştirmiştir. Yeni bulanık mantık programlama algoritması ile karar verme süresi 100 ms. değerlerine indirilmiştir. Daha hızlı karar verebilen bir bulanık mantık kontrolör ile daha iyi sonuçlar elde edilmesi mümkündür. Bulanık mantık kontrolör algoritmasında ve deney verileri kayıt algoritmasında yapılan revizyonlar sonrasında bulanık mantık kontrolörde en son 80 ms karar verme süresi görülmüştür.

Tablo 7.3 Harcanan kumanda enerjisi miktarları

Basınç ve yük durumu	PD kumanda enerjisi (W.sn)	Bulanık mantık kumanda enerjisi (W.sn)	Enerji tüketimi
50bar, 5kg	2.35	1.37	PD ~ %71.63 daha fazla
50bar, 25kg	2.35	2.39	PD ~ %1.81 daha az
25 bar, 5kg	2.14	1.91	PD ~ %11.93 daha fazla
25bar, 25kg	3.05	2.87	PD ~ %6.51 daha fazla

Tablo 7.3 incelendiğinde PD kontrol tekniğinin, Bulanık mantık kontrol tekniğine göre 50 bar, 25 kg durumu haricinde daha fazla kumanda enerjisi harcadığı görülmektedir. 50 bar, 5 kg durumunda ise PD kontrol enerji harcaması %71.63 ile

çok yüksek bir değerdedir, çünkü ayrıık zamanlı yazılan PD kontrol formülünde bulunan u_b ve oransal valfte bir ölü bölge bulunmaktadır.

Yük artışıyla birlikte Bulanık mantık kontrol'ün enerji tüketiminin arttığı ve PD kontrol'ün enerji tüketiminin ise çok az arttığı görölmektedir. Basınç düşümünün ise Bulanık mantık kontrol'ün enerji tüketim miktarını arttırdığı görölmüştür. Basınç düşümü ile PD kontroldeki enerji tüketimi değerlendirmesinde ise değerlerin farklı olduğu görölmektedir, çünkü 25 bar ve 50 bar durumları için PD kontroldeki farklı PD kontrol katsayıları kullanılmıştır.

Elde edilen tablolara bakıldığında, genel olarak Bulanık mantık kontrolün PD kontrol'e göre daha üstün bir performans sergilediğı ve daha az kumanda enerjisi harcadığı görölmektedir.

ANFIS ve Bulanık kontrol karşılaştırıldığında ise, 25 bar için erişme zamanları ve yerleşme zamanları aynı olmasına rağmen maksimum aşım değerinde ANFIS kontrolün Bulanık mantık kontrole göre daha iyi sonuçlar verdiği görölmektedir. ANFIS ve Bulanık kontrol 50 bar basınç değeri için karşılaştırıldığında ise ANFIS kontrolün erişme zamanı ve yerleşme süresi açısından da daha iyi sonuçlar verdiği görölmektedir.

ANFIS kontrolör, Bulanık mantık kontrolöre göre daha hızlı erişme ve daha az maksimum aşma özelliğı göstermektedir. Bunun nedeni ise, Bulanık kontrol programı yazılırken hesaplamada kolaylık olması açısından çıkış üyelik fonksiyonları sabit değerler ve durulaştırma tekniğı olarak ağırlık ortalaması kullanılmaktadır. ANFIS' in eğitimi yapılırken aynı bulanık kontrolörün çıkış üyelik fonksiyonları üçgen fonksiyonlar ve durulaştırma metodu olarak ağırlık merkezi kullanılmıştır. Sonuç olarak; ANFIS ile eğitilen bulanık mantık kontrolör daha hassas sonuçlar verebilmektedir, oysaki bu hassas kontrolörün bulanık mantık kontrolör olarak programda yazılması kontrolör karar verme süresini oldukça büyütecektir ve

hızlı sistemlerde kontrolü olanaksız kılacaktır.

Deney sırasında oluşan verilerin bilgisayarda gerçek zamanlı olarak kaydı, bilgisayar ve PLC arasındaki düşük bağlantı hızından dolayı gerçekleştirilememiştir. Deney sırasında elde edilen veriler, PLC içerisindeki hafıza alanında depolanmıştır, deneyden sonra SCADA programı ile bilgisayarda açılan dosyasına kayıt edilmiştir.

Akademik çalışmalarda deney verilerinin kaydı yüksek hassasiyette elde edilmek istenmektedir. Uzun süreli deneylerin verilerinin kaydı PLC’de gerçekleştirilemez, çünkü PLC cihazlarının hafıza kapasitesi bilgisayarlar ile karşılaştırılamayacak kadar düşüktür. Daha yüksek iletişim hızı ile deney verilerinin bilgisayarda gerçek zamanlı kaydı ise PLC Network modülleri ile mümkündür. Ancak bu modüller fiyat açısından oldukça pahalıdır. Dünya üzerinde akademik olarak PLC’de bulanık mantık, adaptif kontrol vb. ileri kontrol teknikleri “soft-PLC” olarak adlandırılan yapı ile gerçekleştirilmektedir. General Motor’un başlatmış olduğu PLC pazarı, yine GM firması ile soft-PLC’ye geçiş yapmaya başlamıştır. Soft-PLC’nin en büyük avantajı, normal PC’leri PLC gibi kullanabilmektir.

Ayrıca, akademik olarak PLC’de bulanık mantık, yapay sinir ağları vb. yöntemler için yazılan programlar yavaş sistemler için çalıştırılmaktadır [23]. Ancak hidrolik sistem gibi hızlı sistemlerde, daha hızlı karar verebilen bir kontrol mekanizmasına ihtiyaç vardır. Deneyler sırasında ulaşılan yeni bulanık mantık algoritması yaklaşımında; giriş değeri olan hata ve hatanın türevi yalnızca ikişer üyelik fonksiyonu aktif yapmaktadır ve bulanık mantık kural tablosu ne kadar büyük olursa olsun 4 kural aktif olmaktadır. Bu sayede, yazılan program algoritmasında üyelik fonksiyonları ve kural tablosunu program döngüleri ile tamamen hesaplanmasına gerek kalmamaktadır. Bu yaklaşım, sadece PLC’de değil PIC, mikroişlemci gibi yazılım çalıştırılan devrelerde daha büyük kapasiteli bulanık mantık kontrolörlerin çalıştırılmasına olanak sağlamaktadır. PIC benzeri devrelerde yazılan daha hassas

bulanık mantık kontrolör, bunun ticari ürünlerde kullanım olanağını daha da arttırması mümkündür.

Bu tez ile dünyada PLC pazarındaki son gelişmelere, endüstride bulanık mantık kontrolör uygulamaları ve avantajlarına değinilmiştir. Ayrıca, PLC'lerin geleceğı hakkında da önemli bilgilere ulaşılmıştır.

KAYNAKLAR

- [1] **Kutlu, K.**, 1988. Hidrolik sistemlerde ikili konum kontrolü ve mikroişlemci uygulaması, *Doktora Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [2] **İstif, İ.**, 2003. Oransal valf ve hidrolik sistemden oluşan bir sistemin tanınması ve konum kontrolü, *Doktora Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [3] **Kandemir, İ.**, 2005. Elektrohidrolik bir sistemin Matlab Real Time Workshop ile gerçek zamanda kontrolü, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [4] **Büyüksavcı, M.**, 1999. Elektrohidrolik bir servo sistemin PD, bulanık mantık ve kayan rejimli konum kontrolü, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [5] **Chen P.C., Shih M.C.**, 1991. An Experimental study on the position of a hydraulic cylinder using a fuzzy logic controller. *JSME International Journal*, series III, vol. 34, No: 4.
- [6] **Kutlu, K. ve Güner H.**, 1990. Hidrolik Bir Servo Sistemde PD, PID ve Fuzzy kontrol yaklaşımlarının deneysel incelenmesi, *İ.T.Ü. Dergisi*, **48**, Sayı 4, 33-42.
- [7] **Norvelle, F. D.**, 2000. Electrohydraulic Control Systems. Prentice Hall Inc. Upper Saddle River, New Jersey.
- [8] **Şaka, S.**, 1999. Bulanık kontrol ve uygulamaları, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [9] **Sepehri, N., Lawrance, P.D.**, 1998. Fuzzy logic control of a teleoperated log loader machine, *Proc. IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems*, Victoria, B.C., Canada, October, 1571-1577
- [10] **Corbet, T., Sepehri, N., Lawrance, P.D.**, 1996. Fuzzy control of a class of hydraulically actuated industrial robots, *IEEE Transactions On Control Systems Technology*, Vol.4, No.4, July.

- [11] **Jantzen, J.**, 1998. Design of Fuzzy Controllers, *Tech. Report* no 98-E 864. Technical University of Denmark, Department Of Automation, Denmark.
- [12] **Esposito, A.**, 1994. Fluid Power With Applications, 3rd edition. Prentice-Hall International Inc.
- [13] **Cundiff, J.S.**, 2002. Fluid Power Circuits and Controls, Fundamentals and Applications. CRC Press LLC.
- [14] **Mamdani, E. H.**, 1974. Application of Fuzzy Algorithms for Control of Simple Dynamic Plant, *IEEE Proceedings*, pp. 121-133.
- [15] **Gebhardt, J., Altrock, C.V.**, 1996. Recent Successful Fuzzy Logic Applications in Industrial Automation, *the Fifth IEEE International Conference on Fuzzy Systems*.
- [16] **From website of “Electronics Now”**, 1996. Fuzzy Estimation Tutorial.
- [17] **Ogata, K.**, 2002. Modern Control Engineering, 4th edition. Prentice-Hall Inc., Upper Saddle River, New Jersey.
- [18] **Özdaş, N., Dinibütin, A.T., Kuzucu A.**, 1998. Otomatik Kontrol, İ.T.Ü Matbaası, Gümüşsuyu, İstanbul.
- [19] **De Silva, C.W.**, 1989. Control Sensors and Actuators. Prentice-Hall, New Jersey.
- [20] **Altrock, C. V.**, 1999. Fuzzy Logic merges with bang-bang, PID, www.findarticles.com, Copyright Instrument Society of America May 1999 Provided by ProQuest Information and Learning Company.
- [21] **De Silva, C.W., Rahbari, R.**, 2000. Fuzzy Logic Control of a Hydraulic System, *IEEE Transactions On Control Systems Technology*.
- [22] **Eryılmaz, B.**, 2000. Improved Nonlinear Modeling and Control of Electro-Hydraulic Systems, *Doktora Tezi*, Northeastern University, Mechanical Engineering, Boston, Massachusetts.
- [23] **Karasakal, O., Yeşil, E., Güzelkaya, M., Eksin, İ.**, 2005. Implementation of a New Self-Tuning Fuzzy PID Controller on PLC. *Turk J. Elec. Engin.*, Vol.13, No: 2.
- [24] **Kıvanç, Z.**, 1999. Adaptive Fuzzy Controller of a Thermal System and an Induction Motor Using Existing PLCs, *Yüksek Lisans Tezi*, Boğaziçi Üniversitesi, Elektrik ve Elektronik Mühendisliği, İstanbul.
- [25] **Thomas, M. B.**, 2003. Advanced Servo Control of a Pneumatic Actuator, *Doktora Tezi*, The Ohio State University.

- [26] **Mohan, A.**, 2004. A Fuzzy Controller Developed in RSLOGIX 5000 Using Ladder Logic and Function Blocks Implemented on a Control Logix PLC, *Yüksek Lisans Tezi*, University of Missouri, Columbia.
- [27] **J. E. Bobrow, K. Lum**, 1995. Adaptive, high band-width control of a hydraulic actuator. *In Proceedings of the 1995 American Control Conference*, sayfa 71-75, Seattle, WA.
- [28] **Garett A. Sohl, James E. Bobrow**, 1997. Experiments and simulations on the nonlinear control of a hydraulic servosystem. *In Proceedings of the 1997 American Control Conference*, sayfa 631-635, Albuquerque, New Mexico.
- [29] **Andrew Alleyne, J. Karl Hedrick**, 1995. Nonlinear adaptive control of active suspensions. *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, 3(1):94-101.
- [30] **Gert-Wim van der Linden and Peter Valk**, 1994. Digital control of an experimental hydraulic manipulator. *In Proceedings of the 1994 American Control Conference*, sayfa 2455-2459, Baltimore, MD.
- [31] **Herbert E. Meritt**, 1967. *Hydraulic Control Systems*, John Wiley & Sons, New York, NY.
- [32] **Gang Tao, Petar V. Kokotovic**, 1994. Adaptive control of plants with unknown dead-zones. *IEEE Transactions on Automatic Control*, AC-39(1):59-68.
- [33] **Gang Tao, Petar V. Kokotovic**, 1996. *Adaptive Control of Systems with Actuator and Sensor Nonlinearities*. John Wiley & Sons, New York, NY.
- [34] **Hızal, N. A.**, 2002. Digital Measurements & Control Class Notes. İ.T.Ü., İstanbul.
- [35] **Astrom Karl, J., Hagglund, T.**, 1994. PID Controllers, 2nd Edition, Instrument Society of America, NC.
- [36] **Zadeh, L. A.**, 1965. Fuzzy Sets, *Information and Control*, Vol. 8, pp. 338-353.
- [37] **Jyh-Shing, R. J., Chuen-Tsal, S., Mizutani, E.**, 1997. Neuro-Fuzzy and Soft Computing, Prentice Hall, New York.
- [38] **Sugeno, M., Kang, G. T.**, 1988. Structure identification of fuzzy model. *Fuzzy sets and Systems*, 28:15-33.
- [39] **Takagi, T., Sugeno, M.**, Temmuz 1983. Derivation of fuzzy control rules from human operator's control actions. *Proceedings of the IFAC Symposium on Fuzzy information, Knowledge Representation and*

Decision Analysis, 55-60.

- [40] **Takagi, T., Sugeno, M.**, 1985. Fuzzy identification of systems and its applications to modeling and control. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 15:116-132.
- [41] **Technical Specifications for DIP-01**, 1985. Abex-Denison Plc.
- [42] **Technical Data for FP2-Hardware**, 2004. Nais-Panasonic Company.

ÖZGEÇMİŞ

Ahmet KABAKÇI 1980 yılında Bursa’da doğdu. 1998 yılında Bursa Hürriyet Anadolu Teknik Lisesi, Otomatik Kumanda bölümünden okul birinciliği ile mezun oldu. Aynı yıl Yıldız Teknik Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümüne girdi. 2003 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünden mezun oldu. Lisans öğrenimi sırasında 3. sınıftan itibaren Yıldız Teknik Üniversitesi Yıldız kampusu içerisinde bulunan KOSGEB’e bağlı bir şirkette 2 yıl süre ile Ar-ge bölümünde çalıştı, ayrıca plastik sektörüne yönelik bazı makinelerin PLC programlarını yazdı. 2004 yılında ise özellikle askeri sektöre yönelik çalışan bir şirkette Teknik Müdür olarak 2 sene çalıştı. 2003-2004 eğitim öğretim yılı bahar döneminde İstanbul Teknik Üniversitesi Sistem Dinamiği ve Kontrol bölümünde yüksek lisans öğrenimine başladı.