

**T.C.
MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**PNÖMATİK MOTORUN HIZ KONTROLÜ
İÇİN GENETİK-BULANIK KONTROLÖR TASARIMI**

**Cengiz ŞAFAK
(Teknik Öğretmen)**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRONİK BİLGİSAYAR EĞİTİMİ ANABİLİM DALI
BİLGİSAYAR VE KONTROL EĞİTİMİ PROGRAMI**

**DANIŞMAN
Doç. Dr. A. Fevzi BABA
Yrd. Doç. Dr. Vedat TOPUZ**

İSTANBUL 2005

**T.C.
MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**PNÖMATİK MOTORUN HIZ KONTROLÜ
İÇİN GENETİK-BULANIK KONTROLÖR TASARIMI**

Cengiz ŞAFAK
(Bilgisayar Teknik Öğretmeni)
(141100420020032)

YÜKSEKLİSANS TEZİ

ELEKTRONİK BİLGİSAYAR EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

BİLGİSAYAR VE KONTROL EĞİTİMİ PROGRAMI

DANIŞMAN
Doç. Dr. A. Fevzi BABA
Yrd. Doç. Dr. Vedat TOPUZ

İSTANBUL 2005

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Yapay zeka ve esnek programlamanın kontrol uygulamalarında kullanımı oldukça yaygınlaşmış ve bir tercih nedeni olmuştur. İnsanoğlu gerçekleştirdiği pek çok olayı Doğa üzerindeki gözlemlerinde yola çıkarak yapmıştır.

Yaptığım bu tez çalışmasında pnömatik motorun Yapay Sinir Ağı (YSA) modeli oluşturularak esnek programlama yönteminde bulunan genetik ve bulanık mantık birlikte kullanarak bir pnömatik motordan oluşan sistemin devir kontrolünü yörünge takipli olarak gerçekleştirdim. Yapılan bu çalışmanın pnömatik motor üzerine çalışma yapacak kişiler için bir kaynak niteliğinde faydalı olacağına inanıyorum.

Bana, tez konusunda ve yapılan çalışmaların her aşamasında sabırlı ve değerli vaktini ayırarak yardımcı olan tez danışmanım Doç. Dr. A. Fevzi BABA 'ya, çalışma boyunca göstermiş olduğu sabır, destek ve yardımlarından dolayı ikinci tez danışmanım Yrd. Doç. Dr. Vedat TOPUZ 'a, pnömatik sistemin gerçekleştirilmesinde mekanik, malzeme ve değerli bilgilerini paylaşan Yrd. Doç. Dr. Hüseyin KURT 'a, Yrd. Doç. Dr. Hasan ERDAL 'a, Yrd. Doç. Dr. Recep YENİTEPE 'ye, Ahmet DEMİR 'e, bana sürekli destek olan Arş. Gör. Ulvi BAŞPINAR 'a, Arş. Gör. Önder DEMİR 'e, Arş. Gör. Buket DOĞAN 'a, Arş. Gör. Oğuzhan GÜNDÜZ 'e, uzun süre bana tahammül eden arkadaşlarıma ve aileme teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	SAYFA
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	I
İÇİNDEKİLER	II
ÖZET	V
ABSTRACT	VI
SEMBOL LİSTESİ	VII
KISALTMALAR	VIII
ŞEKİL LİSTESİ	IX
TABLO LİSTESİ	XI
BÖLÜM I GİRİŞ VE AMAÇ	1
BÖLÜM II SİSTEM YAPISI	3
II.1 LİTERATÜR İNCELEMESİ	3
II.2 PNÖMATİK SİSTEM	6
II.2.1 Basınç Ünitesi	8
II.2.2 Debi Oransal Valfı	8
II.2.3 Pnömatik Motor	10
II.2.3.1 Dönel Hareketli Pnömatik Motorlar	11
II.2.3.2 İleri-Geri Hareketli Pnömatik Motorlar	15
II.2.3.4 Pnömatik Motorların Karakteristikleri	15
II.2.4 Kontrolü Yapılan Pnömatik Motor	17
BÖLÜM III ESNEK PROGRAMLAMA	19

III.1 YAPAY SİNİR AĞLARI İLE SİSTEM TANIMLAMA	20
III.1.1 Yapay Sinir Ağları	21
III.1.2 Perceptron	22
III.1.3 Aktivasyon Fonksiyonu	22
III.1.4 Hata Geriye Yayılma Algoritması	23
III.1.5 Yapay Sinir Ağlarında Öğrenme	25
III.1.6 Yapay Sinir Ağı Mimarisinin Seçilmesi	25
III.1.8 İleri Modelleme	26
III.2 BULANIK MANTIK	27
III.2.1 Bulanık Kümeler	27
III.2.2 Bulanık Kontrolörün Temel Yapısı	27
III.2.2.1 Bulanıklaştırma	29
III.2.2.2 Kural Tabanı	31
III.2.2.3 Çıkarım Ünitesi	31
III.2.2.4 Berraklaştırma Birimi	33
III.3 GENETİK ALGORİTMA	34
III.3.1 Genetik Algoritma Operatörleri	36
III.3.1.1 Kodlama	36
III.3.1.2 İlk Popülasyon Oluşturulması	36
III.3.1.3 Popülasyon Büyüklüğü	37
III.3.1.4 Üreme	37
III.3.1.5 Seçim Yöntemleri	37
III.3.1.6 Çaprazlama	39
III.3.1.7 Mutasyon	40
III.4 GENETİK BULANIK KONTROLÖR	41
III.4.1 Bulanık Kontrolör Tasarımında Karşılaşılan Problemler	41
III.4.2 Bulanık Sistemler ile Genetik Algoritma	42
III.4.3 Bulanık Kontrolör Üyelik Değerlerinin Kodlanması ..	42
III.4.4 Genetik Algoritma ile Bulanık Kontrolörün Kural Tabanının Kodlanması	43
III.5 YÖRÜNGE TAKİBİ	44
III.5.1 Sistemde Kullanılan Yörünge Denklemi	45
 BÖLÜM IV GENETİK – BULANIK KONTROLÖR TASARIMI	 47
IV.1 PNÖMATİK SİSTEMİN DONANIMSAL YAPISI	48
IV.2 PNÖMATİK MOTORUN DAVRANIŞININ İNCELENMESİ	49
IV.3 PNÖMATİK SİSTEMİN YAZILIMSAL YAPISI	50
IV.3.1 Bulanık Kontrolör Tasarımı	50
IV.3.2 Pnömatik Sistemin Yapay Sinir Ağı Yardımıyla Modellenmesi	52
IV.3.2.1 Verinin Toplanması	52
IV.3.2.2 Verinin Normalleştirilmesi	53
IV.3.2.3 YSA Mimarisinin Seçilmesi	54
IV.3.2.4 YSA'nın Eğitim	54
IV.3.3 Genetik Algoritma Destekli Bulanık Kontrolör Tasarımı	57
IV.3.3.1 Kullanılan Genetik Operatörler	57
IV.3.3.2 Bulanık Parametrelerin Genetik Olarak Kodlanması	58
IV.3.3.3 Pnömatik Sistem Çıkışının Genetik Algoritma Uygunluk Değerine Dönüştürülmesi	59
IV.3.4 Sistemin Yazılım Yapısı	60

IV.4 EĞİTİM AMAÇLI KULLANIM.....	63
BÖLÜM V DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	69
V.1 BULANIK KONTROLÖR PERFORMANSI.....	69
V.2 GENETİK BULANIK KONTROLÖR PERFORMANSI	90
BÖLÜM VI SONUÇ VE DEĞERLENDİRME.....	111
KAYNAKLAR	115
EK-A DALGAKIRAN KOMPRESÖR ÖZELLİKLERİ.....	119
EK-B PNÖMATİK MOTOR KULLANIM KLAVUZU	121
EK-C PNÖMATİK SİSTEMİN FOTOĞRAFLARI	123
EK-D PROGRAM KOD CD	124
ÖZGEÇMİŞ	125

ÖZET

PNÖMATİK MOTORUN HIZ KONTROLÜ İÇİN GENETİK-BULANIK KONTROLÖR TASARIMI

Yapılan bu çalışmada, esnek programlama olarak bilinen yapay sinir ağları, bulanık kontrolör ve genetik algoritma birbirlerini destekler biçimde pnömatik motor, debi oransal valf ve basınç ünitesinden oluşan bir pnömatik sistemin kontrolü gerçekleştirilmiştir.

Yapay sinir ağı metodu kullanarak pnömatik motorun modellenmesi yapılmıştır. Bulanık kontrolör, pnömatik motorun hız kontrolünü birim basamak ve belirli bir yörünge değerini takip edecek şekilde tasarlanmıştır. Bulanık kontrolöre giriş değişkenleri olarak hız hatası ve hız hata değişimi seçilmiş ve sırasıyla 5 ve 3 adet trapez tipi üyelik fonksiyonu oluşturulmuştur. Sugeno tipi bulanık kontrolörün kural tabanı 15 adet kural ile yapılandırılmıştır.

Pnömatik motor hızını kontrol edebilmek üzere çevrimdışı çalışan bir genetik bulanık kontrolör tasarlanmıştır. Oluşturulan bu bulanık kontrolörün aksiyon değerleri bir kromozom içinde gerçek sayı olarak kodlandı. Kullanılan genetik algoritma, temel genetik algoritma yapısına göre tasarlanmıştır. Bu yapıya ilave olarak turnuva seçim yöntemi, üreme yöntemi, çaprazlama ve mutasyon olasılığı ve elistik model genetik algoritma operatörleri oluşturuldu.

Çevrimdışı çalışmada, genetik algoritma parametrelerinin optimal değerleri belirlenen performans kriterlerine göre bulundu.

Gerçek zamanlı çalışmada bulanık kontrolör, genetik algoritmanın bulduğu aksiyon değerlerini kullanacak şekilde tasarlandı.

Sistemin kontrolünde istenilen referans devir değerine ulaşmasında basamak giriş ve yörünge takip modeli kullanılmıştır.

Gerçek zamanda yapılan deneylerde, genetik – bulanık kontrolörün sistemi bir yörüngeyi takip edecek şekilde kontrol edebildiği görülmüştür.

Eylül, 2005

Cengiz ŞAFAK

ABSTRACT

GENETIC – FUZZY CONTROLLER DESIGN FOR VELOCITY CONTROL OF PNEUMATIC MOTOR

In this study, control of system which include pneumatic motor, proportional direction control valve and pressure unit have been implemented by using neural networks, fuzzy controller and genetic algorithm in a way that supported each other.

Pneumatic motor is modeled by using neural network. Fuzzy controller, Sugeno type, is designed in order to control the speed of pneumatic motor in a way that using unit step and trajectory tracking. Speed error and the changing speed error are chosen as input variables to the fuzzy controllers. For this controller's each of speed error 5 membership and of changing speed error 3 membership function and 15 action weight values are realized for fuzzy database. For error and changing error initial and boundary values of trapeze membership functions are determined.

In order to control the speed of pneumatic motor, a genetic fuzzy controller designed, which is running offline. Action values, which are obtained from fuzzy controller, coded into chromosome as binary numbers. Genetic algorithm use in the system is designed according to basic genetic algorithm. In addition to this structure, tournament selection method, generation interval reproduction method, crossover and mutation method, elastic model are realized.

In offline working, optimal values of genetic algorithms are found according o defined performance criteria. In real time working, fuzzy controller is designed to use action values which are found by genetic algorithm. To get the desired reference cycling value, step input and trajectory tracking methods are being used.

As a result, in real time working, it is observed that genetic fuzzy controller is able to control a system using trajectory tracking successfully.

SEMBOL LİSTESİ

a	: Çıkış Vektörü
W	: Ağırlık matrisi
e	: Hata vektörü
t	: Hedef vektörü
p	: Giriş vektörü
f	: Aktivasyon fonksiyonudur
k	: Giriş Sayısı
m	: Katman Sayısı
s	: Her Bir Katmanın Duyarlık Değeri
α	: Öğrenme Oranı
μ	: Aitlik Derecesi
u_k	: Sayısal Kontrol İşareti
n	: Aktif Kural Sayısı
p_k	: Yaşama Olasılığı
f_k	: Uygunluk Değeri
N	: Popülasyon Büyüklüğü
p_i	: Bireyin Seçilme Olasılığı
q	: Turnuva Büyüklüğü
P_c	: Çaprazlama Olasılığı
py	: Yörünge Değeri
f₀-f₃	: Katsayılar
t	: Zaman
t₀	: Oturma Zamanı
t_{tao}	: Gecikme Zamanı
P_o	: Başlangıç Noktası
P_s	: İstenilen Referans Noktası
x_{min}	: Gerçel Sayının Minimum Değeri
x_{max}	: Gerçel Sayının Maksimum Değeri
L	: Dizi Boyu
Φ	: Uygunluk Değeri
t_{max}	: Yörünge Süresi
Y	: Sistem Çıkışı
R	: İstenen Yörünge Çıkışı

KISALTMALAR

YSA	: Yapay Sinir Ağı
GA	: Genetik Algoritma
SGA	: Simple Genetic Algorithm
BM	: Bulanık Mantıl
BMD	: Bulanık Mantık Denetleyici
FLC	: Fuzzy Logic Controller
GMBD	: Genetik Mantık Bulanık Denetleyici
PID	: Propotioanl Integral Derivative
DOV	: Debi Oransal Valf
rpm	: Rotate per Minute
hp	: Horse Power
SC	: Esnek Programlama
MLP	: Multi Layer Perceptron
GD	: Gradient Descent
ASD	: Approximate Steepest Descent
SL	: Supervised Learning
UL	: Unsupervised Learning
RT	: Rulet Tekerleği
ADC	: Anolog Digital Converter
DAC	: Digital Anolog Converter
DC	: Doğru Akım
HNB	: Hata Negatif Büyük
HNN	: Hata Negatif Yakın
HS	: Hata Sıfır
HPN	: Hata Pozitif Yakın
HPB	: Hata Pozitif Büyük
HDN	: Hata Değişim Negatif
HDS	: Hata Değişim Sıfır
HDP	: Hata Değişim Pozitif
AİK	: Ağırlıklı İkili Kodlama

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>SAYFA NO</u>
Şekil-II.1	Kullanılan pnömatik sistemin blok diyagramı..... 7
Şekil-II.2	Tasarlanan Sistemin Pnömatik gösterimi 7
Şekil-II.3	Debi oransal valfın yapısı..... 9
Şekil-II.4	Valfın fiziksel görünüşü 9
Şekil-II.5	Valfın pnömatik gösterimi..... 9
Şekil-II.6	Debi Oransal Valfın çalışma eğrisi 10
Şekil-II.7	Dönel Pnömatik Motor 11
Şekil-II.8	Piston tipi pnömatik motorundaki hava akışı 12
Şekil-II.9	Motor yan kesit görünüşü..... 12
Şekil-II.10	Pervane tip pnömatik motoru içindeki hava akışı 13
Şekil-II.11	Dişli tip pnömatik motor 14
Şekil-II.12	Pnömatik motorunun performans eğrileri 16
Şekil-II.17	Pnömatik motor ve teknik çizimi..... 18
Şekil-II.18	Kontrol işaretine karşın motor devir grafiği..... 18
Şekil-III.1	Esnek Programlamayı Oluşturan Programlama Teknikleri 19
Şekil-III.2	Tipik bir biyolojik nöron 21
Şekil-III.3	Perceptron..... 22
Şekil-III.4	YSA Aktivasyon Fonksiyonları 23
Şekil-III.5	Üç Katmanlı Perceptron..... 24
Şekil-III.6	YSA ile modellemede kullanılan temel ileri tip blok şema..... 26
Şekil-III.7	Bulanık kontrolörün genel yapısı..... 28
Şekil-III.8	Bulanık kontrolör işlem adımları..... 29
Şekil-III.9	Çeşitli üyelik fonksiyonları..... 30
Şekil-III.10	Mamdani Bulanık modeli 32
Şekil-III.11	Sugano Bulanık Modeli 33
Şekil-III.12	SGA akış diyagramı..... 35
Şekil-III.13	Rulet çemberi 38
Şekil-III.14	Çaprazlama operatörü 40
Şekil-III.15	Mutasyon Operatörü 40
Şekil-III.16	Bulanık veri tabanının bir kromozom içine kodlanması 43
Şekil-III.17	Bulanık Kural tabanının bir kromozom içinde kodlanması 44
Şekil-III.18	Yörünge tasarımı (a) noktadan noktaya (b) yol takibi (c) yörünge takibi 45

Şekil-III.19	Kullanılan yörünge grafiği	46
Şekil-IV.1	Gerçekleştirilen Pnömatik sistemin şematik gösterimi.....	48
Şekil-IV.2	Pnömatik motorun değiş kontrol sinyalleri altında açık çevrim cevabı.....	49
Şekil-IV.3	Kontrolü Yapılacak Pnömatik Sistemin Blok Diyagramı	50
Şekil-IV.4	Hataya ve hata değişimine ait üyelik fonksiyonları	51
Şekil-IV.5	Pnömatik motorunun YSA ile modellenmesi	53
Şekil-IV.6	Kullanılan YSA nın ekran görüntüsü	54
Şekil-IV.7	Eğitim boyunca hata değişim eğrisi.....	55
Şekil-IV.8	Sistem ile YSA nın çıkış grafiği	55
Şekil-IV.9	Sistem çıkışı ile YSA çıkışı (tek adım).....	56
Şekil-IV.10	Genetik Algoritma ile Bulanık Kontrol Parametrelerin Oluşturulması	57
Şekil-IV.11	Genetik Algoritmada Kullanılan Kromozom Yapısı.....	59
Şekil-IV.12	Programın akış diyagramı.....	61
Şekil-IV.13	Programın İlişkisel Diyagramı	62
Şekil-IV.14	Genetik bulanık kontrolör akış diyagramı	64
Şekil-IV.15	YSA Ekran görüntüsü	64
Şekil-IV.16	Genetik algoritma ekran görüntüsü	65
Şekil-IV.17	Bulanık Kontrolör Simülasyon ekran görüntüsü	67
Şekil-IV.18	Bulanık Kontrolör Ekran Görüntüsü	67
Şekil-V.1	750 devir/dakika çalışma	70
Şekil-V.2	1250 devir/dakika çalışma	72
Şekil-V.3	2000 devir/dakika çalışma	73
Şekil-V.4	2750 devir/dakika çalışma	74
Şekil-V.5	Referans geçiş çalışması.....	76
Şekil-V.6	Bozucu etki çalışması	78
Şekil-V.7	Örnekleme zamanının etkisi	79
Şekil-V.8	750 devir/dakika yörüngeli referans çalışması	81
Şekil-V.9	1250 devir/dakika yörüngeli referans çalışması	82
Şekil-V.10	2000 devir/dakika yörüngeli referans çalışması	83
Şekil-V.11	2750 devir/dakika yörüngeli referans çalışması	84
Şekil-V.12	Referans geçiş çalışması.....	86
Şekil-V.13	Örnekleme zamanının etkisi	87
Şekil-V.14	1850 devir/dakika yükselme zamanının etkisi	88
Şekil-V.15	Bozucu etki çalışması	89
Şekil-V.16	750 devir/dakika çalışma	91
Şekil-V.17	1250 devir/dakika çalışma	92
Şekil-V.18	2000 devir/dakika çalışma	94
Şekil-V.19	2750 devir/dakika çalışma	95
Şekil-V.20	Referans geçiş çalışması.....	97
Şekil-V.21	Bozucu etki altında çalışma	98
Şekil-V.22	Örnekleme zamanının etkisi	100
Şekil-V.23	Yörüngeli 750 devir/dakika çalışma	101
Şekil-V.24	Yörüngeli 1250 devir/dakika çalışma	103
Şekil-V.25	2000 devir/dakika çalışma	104
Şekil-V.26	2750 devir/dakika çalışma	105
Şekil-V.27	Yörüngeli referans geçiş çalışması	107
Şekil-V.28	Örnekleme zamanının etkisi	108
Şekil-V.29	Yörüngeli 2000 devir/dakika yükselme zamanı etkisi	109
Şekil-V.30	Yörünge takipli bozucu etki çalışması	110

TABLO LİSTESİ

	<u>SAYFA NO</u>
Tablo-II.1	Tahrik organlarının avantajları ve dezavantajları..... 6
Tablo-II.2	Pnömatik motora ait çalışma verileri 17
Tablo-III.1	Bulanık Mantık, Genteik Algoritmaları ve Yapay Sinir Ağlarının Karşılaştırılması 20
Tablo-III.2	Populasyondaki bireylerin uygunluk değerlerinin bilgisayar ortamında çevrilmesi..... 39
Tablo-III.3	Örnek Kural Tablosu..... 44
Tablo-IV.1	Bulanık Kontrolör kural tabanı..... 51
Tablo-IV.2	Bulanık Kontrolör Aksiyon Ağırlık Değerleri 52
Tablo-IV.3	Pnömatik Motor için örnek YSA veri seti 53
Tablo-IV.4	Genetik Algoritma Tarafından Bulunulan Aksiyon Ağırlık Değerleri 60
Tablo-IV.5	Gerçekleştirilen sistemin örnek olarak ders müfredatlarında kullanılabilirliği..... 64

BÖLÜM – I

GİRİŞ VE AMAÇ

Günümüzde ki endüstriyel çalışmalarda bulanık kontrolörün kullanılması oldukça yaygındır. Sistem modeli gerektirmeyen bulanık kontrolör tasarımıda yaşanan en önemli sorun bulanık kontrolör parametrelerinin belirlenmesidir. Bu sorun pek çok durum deneme yanılma metoduyla çözülmektedir. Bazı uygulamalarda ise, optimizasyon algoritmaları bu bulanık parametreleri bulmak için kullanılmaktadır. Genetik algoritma ise özellikle lineer olmayan problemler için kullanılan bilinen en iyi optimal arama algoritmasıdır. Bu nedenle bu sorunu giderebilmek için genetik optimizasyon algoritmaları kullanılmaktadır. Genetik algoritmaların kullanılması için ise kontrol edilecek sistemin modeline ihtiyaç vardır. Endüstride kullanılan birçok sistemin doğrusal olmayan çalışmalarından veya sistemlerin karmaşıklığından dolayı sistemlerin matematiksel modellerinin klasik yöntemler ile elde edilmesi zordur. Matematiksel olarak modellenmesi zor olan böyle sistemleri modelleyebilmek için yapay sinir ağları kullanılabilir. Kontrolü gerçekleştirilecek sistemler yapay sinir ağları yöntemi kullanılarak modellenmesi mümkündür.

Günümüzdeki robotik uygulamalarda kontrol bir yörünge veya belirli bir yol üzerinde gerçekleştirilmektedir. Bu tip kontrol işlemlerine yörünge takipli kontrol denilmektedir.

Literatürde; yapay sinir ağları, genetik algoritma ve bulanık kontrolörün birbirlerini destekleyici bir şekilde birlikte kullanılmasına esnek programlama

denilmektedir. Yaptığımız bu çalışmada da bu üç yöntem birlikte bir pnömatik motorun hız kontrolünde kullanılacaktır. Bu amaçla, pnömatik motorun hız kontrolü klasik ve yörünge takipli bulanık kontrolör yöntemi ile gerçekleştirilecektir. Pnömatik motorun modeli yapay sinir ağları yardımı ile belirlenecektir. Elde edilen bu YSA modeli, aksiyon ağırlıkları genetik algoritma tarafından bulunan bulanık kontrolör tasarımı kullanılacaktır.

Bölüm-II de literatür taraması yapılarak pnömatik sistemler üzerinde yapılan klasik ve esnek programlama uygulamaları verilmiştir. Ayrıca pnömatik sistemlerin tanımı yapılarak avantajları ve dezavantajları belirtilmiştir. Kompresör, debi oransal valf ve pnömatik motorlar anlatılmıştır. Pnömatik motorların karakteristikleri incelenmiştir.

Bölüm-III Esnek programlamanın tanımı yapılarak sırasıyla yapay sinir ağı, bulanık mantık ve genetik algoritma tanımları ve fonksiyonları verilmiştir.

Bölüm-IV de ise gerçekleştirilen sistemi oluşturan donanım ve yazılım kısımları anlatılmıştır. Kontrolü gerçekleştirilen hava motorunun yapay sinir ağı ile modellenmesi ve genetik algoritma kullanarak bulanık kontrolör tasarımı gerçekleştirilmesi açıklanmıştır.

Bölüm-V de tasarlanan bulanık ve genetik bulanık kontrolörün performansları için gerçekleştirilen deneysel çalışmalar ve elde edilen veriler verilmiştir. Tasarlanan her iki kontrolör ile klasik ve yörünge takipli deneyler yapılmıştır.

Bölüm-VI de elde edilen deneysel sonuçlar ışığı altında değerlendirilmiş ve öneri ve temenniler de bulunulmuştur.

BÖLÜM – II

SİSTEM YAPISI

Bu bölümde öncelikle literatür incelemesi yapılacaktır. Literatür incelemesinde, genetik-bulanık sistemler, YSA ile sistem tanımlama, bulanık kontrolör ile pnömatik motorların kontrolü ayrı ayrı incelenecektir.

İkinci olarak pnömatik sistemler ve özellikle pnömatik motorlar detaylı olarak incelenecektir.

II.1 LİTERATÜR İNCELENMESİ

Literatürde, pnömatik sistemler üzerine yapılmış kontrol çalışmaları ve kontrol aşamasında kullanılan Yapay Sinir Ağları (YSA), Genetik Algoritmalar (GA), Bulanık Mantık Denetleyici (BMD) ve Genetik Bulanık Mantık Denetleyici (GBMD) ile ilgili pek çok araştırma ve çalışma mevcuttur. Endüstriyel uygulamalarda, sistemlerin kontrolünü gerçekleştirmek için matematiksel modele ihtiyaç duyulmaktadır. Gerçekleştirilen pnömatik sistemde kullanılan pnömatik motor ile ilgili matematiksel model bulma çalışmaları mevcuttur.

J. Wang, ve J.Pu makalelerinde pnömatik motorlu bir sistemin modellemesini yapay sinir ağı yardımıyla gerçekleştirmiştir[1].

S. R. Pandian, F. Takemura yapmış oldukları çalışmada pnömatik motorun elektrik motoru yerine kullanabilinirliğini araştırmıştır. Performans karşılaştırması yapabilmek için pnömatik motorun matematiksel modeli çıkartılmıştır [2].

F. Takemura ve S. R. Pandian pnömatik motor ile elektrik motorunu hibrid bir biçimde çalıştırmışlardır. Pnömatik ve elektrik motorunun matematiksel modelleri verilerek gerçekleştirilen kontrolör ile hibrid sistemin basamak ve yörünge takip cevabı incelenmiştir [3].

S. D. Able'in yaptığı çalışma pnömatik pompa ve pnömatik motorlarının nümerik ifadelerinin çıkarılmasıdır. Elde ettiği nümerik ifade ile her iki pnömatik eleman için bir simülasyon gerçekleştirmiştir[4].

Yapılan çalışmalarda pnömatik sistemlerde akıllı kontrol yöntemleri kullanılmıştır.

Kontrolü yapılacak sistemin matematiksel modeli bilinmesi gerekmektedir. Akıllı kontrol yöntemlerinden yapay sinir ağı ile sistemler kimliklendirilebilir. H. R. Özçalık ve A. Küçüktüfekçi yaptıkları çalışmada doğru akım motorunun çok katmanlı yapay sinir ağı ile ileri ve ters yönlü tanımlanması gerçekleştirilmiştir[5].

L. Shi ve N. Sepehri pnömatik pistonun hareketinin kontrolünü yaptıkları çalışmada adaptif yapay sinir ağı tabanlı bulanık kontrolör ile gerçekleştirmişlerdir[6].

S. Chillari, S. Guccione ve G. Muscato pnömatik pistonun çeşitli kontrol yöntemleri ile sinüsoidal harekette kontrol gerçekleştirilmiş ve karşılaştırılmıştır. Kullanılan kontrol yöntemlerinden biri PID kontrolör diğeri ise yapay sinir ağı – bulanık kontrolördür[7].

S. W. Chan ve J. H. Lilly bulanık PD+I öğrenme metodu ile bir ağırlık eklenmiş pnömatik adelenin kontrolünü gerçekleştirmişlerdir[8].

J. Wang, N. Daw genetik algoritma kullanarak pnömatik silindirin sürtünmesi tanımlanmıştır. Yapılan çalışmada, evrim fonksiyonu olarak hatanın ortalama karesi kullanılmıştır[9].

R. Marumo, O. M. Tokhi yaptıkları çalışmada bir pnömatik motorunu kontrolünü gerçekleştirmiştir. Yaptıkları bu çalışmada yapay sinir ağını kullanmışlardır. Böylece kontrol aşamasında sistemin matematiksel modeline ihtiyaç duyulmamıştır[10].

L. Ruihua, S. Weixiang, Y. Qingyu çok bölgeli bulanık kontrolör kullanarak pnömatik sıkıştırma sistemini kontrol etmişlerdir. Yapılan çalışmada hız üç bölgeye ayrılmıştır. Her bir bölge için hata ve hata değişimine göre bulanık kural tabanı oluşturulmuştur. Sistemin hızı yörüngesel olarak kontrol edilebilmiştir[11].

S. Shibata, M. Jindia, A. Shimizu yaptıkları çalışmada pnömatik servo sistemi yapay sinir ağı bulanık kontrolör yardımı ile hız kontrolünü gerçekleştirmişlerdir. Bu

Çalışmada yapay sinir ağı geri yayılım metodu yardımı ile öğrenmiş olduğı bilgilerle bulanık kontrolörün kural tabanını değiştirmektedir[12].

T. Um, Y. Joo, Y. Kong yaptıkları çalışmada genetik algoritma kullanarak modellenmiş sistemin optimizasyonu gerçekleştirmişlerdir. Yapılan optimazasyon çalışmasında dinamik karakteristiğinden daha hızlı ve kararlı olduğı gözlenmiştir[13].

M. O. Tokhi, M. Al-Miskiry, M. Brisland, gerçek zamanlı H köprüsü kullanarak pnömatik motorun kontrolünü gerçekleştirmişlerdir. Motorun yön ve hız kontrolü yapılmıştır[14].

C. P. Tong yapmış olduğı doktora tezinde sistemlerin modellenmesinde ve kontrolünde bulanık kontrolörün ve genetik algoritmanın ortak şekilde kullanılmasını incelemiştir[15].

K. K. Kumblar doktora çalışmasında pasif doğrusal olmayan sistemlerin kontrolünü yapmak için adaptif yapay sinir ağı – bulanık kontrolör gerçekleştirmiştir[16].

R. L. Riche doktora çalışmasında bileşik yapıların optimizasyonunda genetik algoritmanın kullanılmasını incelemiştir[17].

Yapmış olduğumuz çalışma, literatürdeki bu çalışmaları destekler niteliktedir. Fakat ilave olarak esnek programlama tekniklerini bir pnömatik motorun yörünge takipli hız kontrol uygulamasında kullanılması açısından farklılıklar göstermektedir.

II.2 PNÖMATİK SİSTEM

Pnömatik, basınçlı hava ile makinelerin hareket ve kumandasının sağlanması olarak tanımlanır [18]. Pnömatik sistemleri, günümüzde kullanılmakta olan hidrolik ile elektrik sistemleri ile karşılaştırıldığında pek çok avantajları mevcuttur [19]. Bu avantajlar sırasıyla;

- Pnömatik silindirlerin kuvvetleri ve hızları ayarlanabilir,
- Pnömatik silindir ve kompresörler çok yüksek hız ve devirlerde çalışabilir,
- Pnömatik sistemlerde aşırı yük emniyeti vardır,
- Basınçlı hava, hava tanklarında depolanabilir.

Aynı zamanda kullanılan pnömatik sistemlerin bazı dezavantajları da mevcuttur [19]. Bunlar:

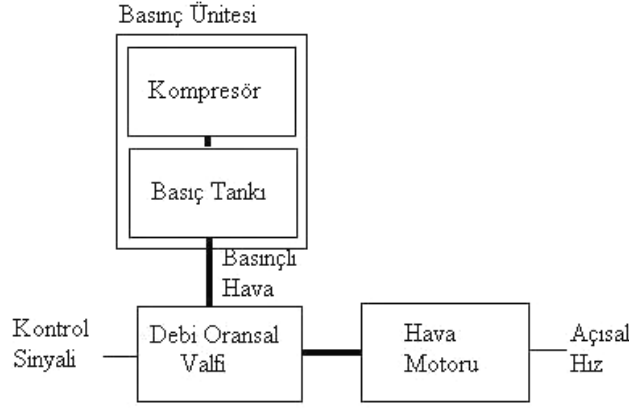
- Basınçlı havanın şartlandırılması (toz ve nemden arındırılarak yağlanması) gerekmektedir,
- Çalışma basıncı 10 bar'dan daha düşük olduğu için, büyük piston kuvvetlerine ulaşmak mümkün değildir,
- Eşit ve sabit piston hızlarını elde etmek mümkün değildir (Havanın sıkıştırılabilir özelliği),
- Tahliye havası gürültü oluşturur.

Pnömatik, hidrolik ve elektrik tahrik organlarının sahip olduğu bu avantaj ve dezavantajlar Tablo-II.1 de verilmiştir.

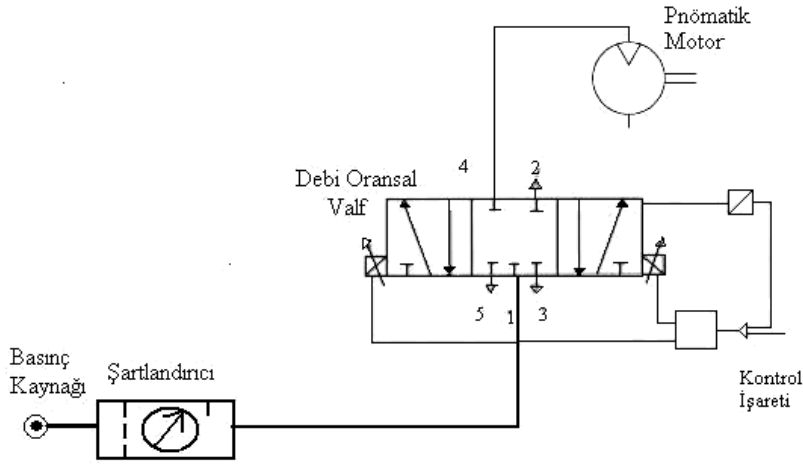
Tablo-II.1 Tahrik organlarının avantajları ve dezavantajları [20].

Tahrik Organı	Avantajlar	Dezavantajlar
Pnömatik Sistemler	• Yüksek güç/ağırlık oranı • Bir arada (kompakt) • Hafif • Güvenli • Hızlı cevap verme zamanı • Ucuz bileşenler	• Güç ve pozisyon kontrolü zor • Gürültülü • Elastiki (Havanın sıkıştırılmasından)
Hidrolik Sistemler	• Yüksek güç / ağırlık oranı • Düşük geri tepme • Çok güçlü • Direkt sürülebilir	• Emniyeti düşük • Pahalı bileşenler • Servo kontrol karmaşık • Gürültülü • Arıza anıda tehlikeli
Elektrik Sistemler	• Hız ve pozisyon kontrolü • Sessiz • Göreceli ucuz	• Düşük güç/ağırlık ve tork/ağırlık oranları • Kıvılcım

Pnömatik bir motorun devir kontrolü için tasarlanan sistemin blok diyagramı Şekil-II.1 de, pnömatik devresi ise Şekil-II.2 de verilmiştir.



Şekil-II.1 Kullanılan pnömatik sistemin blok diyagramı.



Şekil-II.2 Tasarlanan Sistemin Pnömatik gösterimi

Tasarlanan pnömatik sistem; basınç ünitesi, debi oransal valf ve pnömatik motordan oluşmaktadır. Basınç ünitesinde kompresörden alınan hava basınç tankına verilerek sisteme uygulanan basınçlı havadaki ani değişimler giderilmiştir. Debi oransal valfa uygulanan kontrol girişine göre basınç ünitesinden pnömatik motora akan havanın debisi ayarlanmaktadır. Pnömatik motor, uygulanan basınçlı hava miktarına göre dönen bir pnömatik tahrik organıdır. Bu üniteler sırasıyla aşağıda incelenmektedir.

II.2.1 Basınç Ünitesi

Pnömatik sistemler basınçlı hava ile çalışan sistemlerdir. Basınçlı havanın temini kompresör vasıtasıyla sağlanır. Basınç ünitesi basınçlı hava deposu ve kompresörden oluşmaktadır.

Kompresör, bir gazın, karşı bir basınca karşı akışını sağlayan alettir. Mekanik gücü ve hareketi, pnömatik akışkan güce çevirir [21]. İmalat işletmelerinde gerekli olan basınçlı hava temini için pistonlu, diyaframli ve spiral kanallı kompresörler kullanılır. Kompresör emme filtresi aracılığı ile havayı çeker ve bir veya birkaç aşamada havayı sıkıştırır ve soğutucudan geçirerek basınçlı hava tankına gönderir [18].

Basınçlı hava tankı birden fazla görevi yerine getirir. Bunlar;

- Havanın depolanması ve soğutulması
- Oluşan hava neminin dışarı atılması
- Basınç dalgalanmalarının dengelenmesi

Basınçlı hava tankının basıncı, en yüksek değere ulaştığında hava akışının kesilmesi gerekmektedir. Bunun için küçük kompresörlerde kullanılan motor durdurulur (durdurma kumandalı). Büyük kompresörler de ise emme valfı açık bırakılır ve motor çalışmaya devam eder (boşaltma kumandalı, dedantör kumandalı). Kompresör, hava kullanımı nedeniyle basıncın belli bir seviyenin altına düşmesi ile çalıştırma basıncına erişilir ve tekrar çalışmaya başlar. Sıkıştırılan hava ısındığından her bir sıkıştırma kademesinden ve kompresörden sonra soğutulması gerekir. Sıkıştırma ve ardından da soğutma işlemi sonucunda yoğunlaşma meydana gelmektedir ve bunun dışarı atılması gerekir [18].

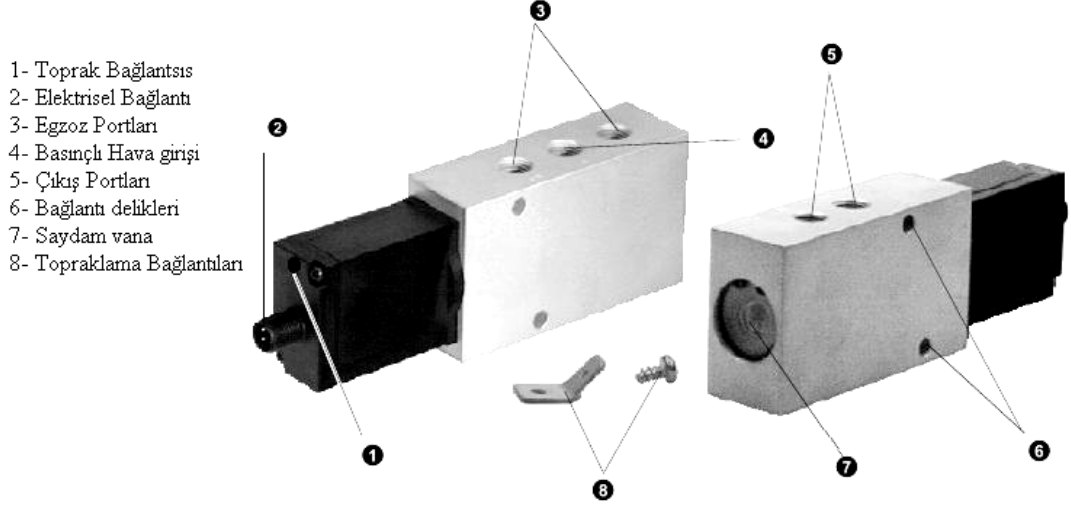
Gerçekleştirdiğimiz sistemde Dalgakıran firmasına ait DKÇ200 tek kademeli pistonlu kompresör kullanılmıştır. Kullanılan kompresöre ait detaylı teknik bilgiler Ek-A da verilmiştir.

II.2.2 Debi Oransal Valf

Gerçekleştirilen sistemde debi oransal valfı pnömatik motorun hızını kontrol edebilmek için kullanılmıştır.

Debi oransal valfları, basınçlı havanın belli bir debi de akışını kontrol etmek üzere kullanılan kontrol valflarıdır. Gerçekleştirdiğimiz sistemde Festo firmasına ait

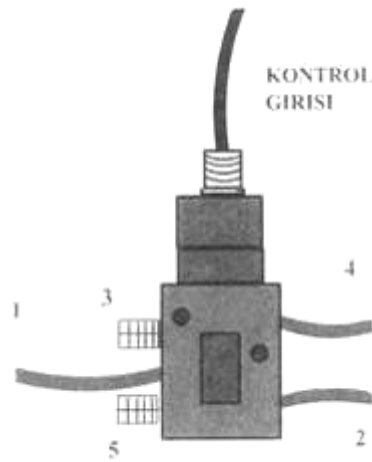
MPYE–5 modeli debi oransal valfı kullanılmıştır. Kullanılan valfın yapısı ve bağlantı noktaları Şekil-II.3 de görülmektedir.



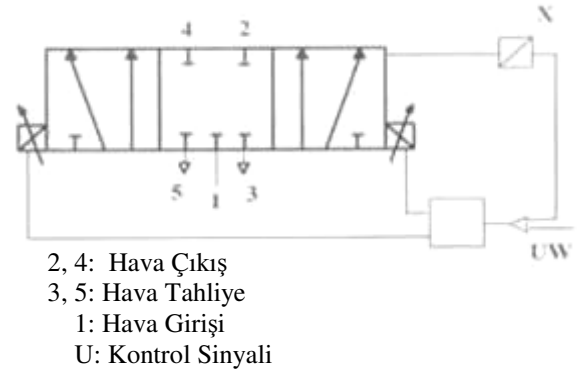
Şekil-II.3 Debi oransal valfın yapısı [22]

MPYE debi oransal valfında, saydam vana ile oransal kontrol gerçekleştirilir. Kullanılan analog elektriksel kontrol sinyali ile MPYE–5 debi oransal valfinin hava çıkış oranı ve hava çıkış yönü kontrol edilebilir [22].

Kullanılan valfın fiziksel gösterimi Şekil-II.4 de, pnömatik gösterimi ise Şekil-II.5 de verilmiştir.



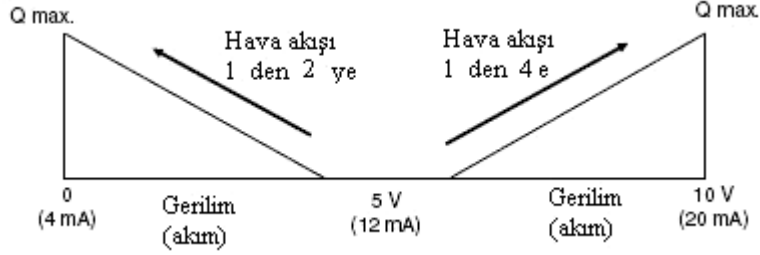
Şekil-II.4 Valfın fiziksel görünüşü



Şekil-II.5 Valfın pnömatik gösterimi [22]

Valfin çalışma gerilimi 24V dur. Kontrol sinyali girişi 0 – 10V veya 4 – 20mA dır. Valfın 2 adet pnömatik portu mevcuttur. Basınçlı hava 1 no'lu girişten girdikten sonra 2 veya 4 no'lu portlardan çıkmaktadır. Kontrol sinyali ile istenilen çıkıştan,

istenilen debi oranında hava akışına izin verilir [23]. Hava akış yönünün 1 den 2 ye doğru olması isteniyorsa, kontrol girişine 5 – 0V arasında bir gerilim uygulanmalıdır. Hava akış yönü 1 den 4 e doğru olması için ise kontrol girişine 5 – 10V arasında bir gerilim uygulanması gerekmektedir. Şekil-II.6 de debi oransal valfin çalışma eğrisi verilmiştir. Şekilden görüldüğü üzere valf 5V civarında çıkış vermemektedir.



Şekil-II.6 Debi Oransal Valfin çalışma eğrisi [22].

II.2.3 Pnömatik Motor

Akışkan motorlar, akışkan enerjiyi mekaniksel enerjiye çevirmektedirler. Pnömatik ve Hidrolik motorlar akışkan motor grubuna girmektedir[24]. 19. yüzyılın ortalarından itibaren basınçlı hava gücü cihazlarda kullanılmaya başlamıştır. Uygulamaların çoğunu kaya kırma ve perçinleme makineleri oluşturmaktadır[19]. Basınçlı pnömatik motorları, döner hareketleri yapan makinelerin yanında pervaneler, el zımpara makinesi ve kaldırma aletlerinde kullanılır[18].

Basınçlı pnömatik motorları, elektrik motorları ile kıyaslandığında bazı avantajları vardır. Bunlar:

- Pnömatik motorları, aynı güçteki diğer tip motorlardan tipik olarak daha hafif ve küçüktürler.
- Pnömatik motorları, güvenli bir şekilde patlayıcı gaz veya kirli atmosfer ile çalışabilir. Herhangi bir şok tehlikesi yoktur.
- Pnömatik motorları, hasar ve ısınma olmadan güvenli bir şekilde çalışır
- Pnömatik motorları, çalışmaya başlamaları ve durmaları hızlıdır.
- Döner tip pnömatik motorların hızları çok değişkendir.
- Hız kontrolü yapılabilir.
- Çevreyi kirletmez

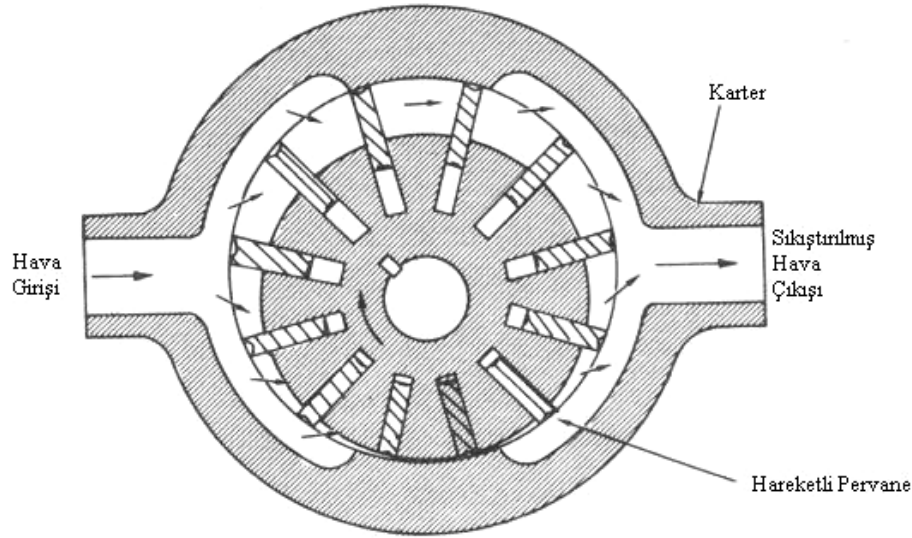
Pnömatik motorlarının dezavantajları ise düşük verimde çalışmaları ve ilk maliyetlerinin yüksek olmasıdır.

Pnömatik motorları iki genel tipe ayırabiliriz. Bunlar;

1. Dönel hareketli pnömatik motorları
2. İleri – Geri hareketli pnömatik motorlarıdır.

II.2.3.1 Dönel Hareketli Pnömatik Motorlar

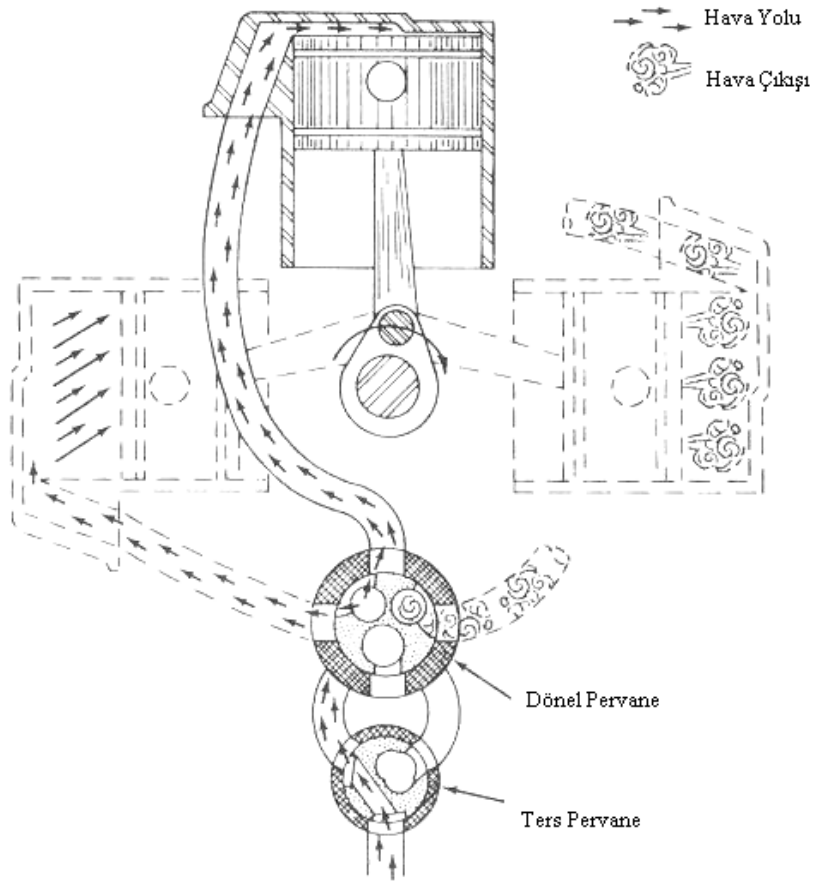
Günümüzde genel olarak piston tipi, dişli tipi ve pervane tipi pnömatik motorlar dönel tip pnömatik motorlar olarak adlandırılır. Dönel üye olan pervane kanatları karterin merkezine yerleştirilir. Basıncı hava, pnömatik motorun girişinden girdiğinde pervane kanatçıkları arasında kalır. Oluşan basınçtan dolayı kanatçıklar hareket etmeye başlar. Böylece basınçlı hava, pnömatik motorun dönen parçalarını sürer. Şekil-II.7 de bu şekilde çalışan dönen tip bir pnömatik motorun şekli verilmiştir [19].



Şekil-II.7 Dönel Pnömatik Motor [19]

Piston Tipi Dönel Pnömatik Motorlar

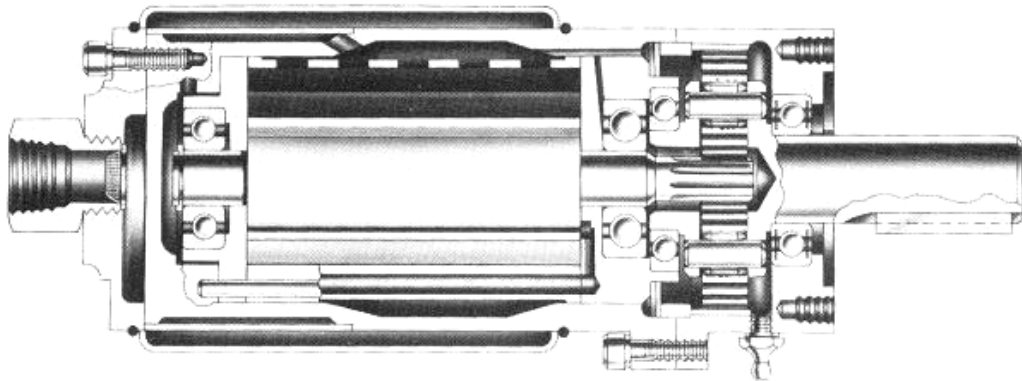
Piston tipi motorlar çoğunlukla yukarı kaldırma ve vinç işlerinde kullanılmaktadırlar. Bu tip motorlar 4 veya 6 silindirin radyal olarak düzenlenmesinden oluşur. Radyal pnömatik motorlar dakikada 5000 devir hızda çalışacak şekilde dizayn edilir. Çıkış güçleri, 1 beygirgücü ile 400 beygirgücü aralığındadır. Bu motorlar, düşük hız gerektiren ve başlangıç torkunun fazla olması istenilen durumlarda kullanılmaktadırlar. Şekil-II.8 de piston tipi bir pnömatik motorunun içindeki hava akışı verilmiştir [19].



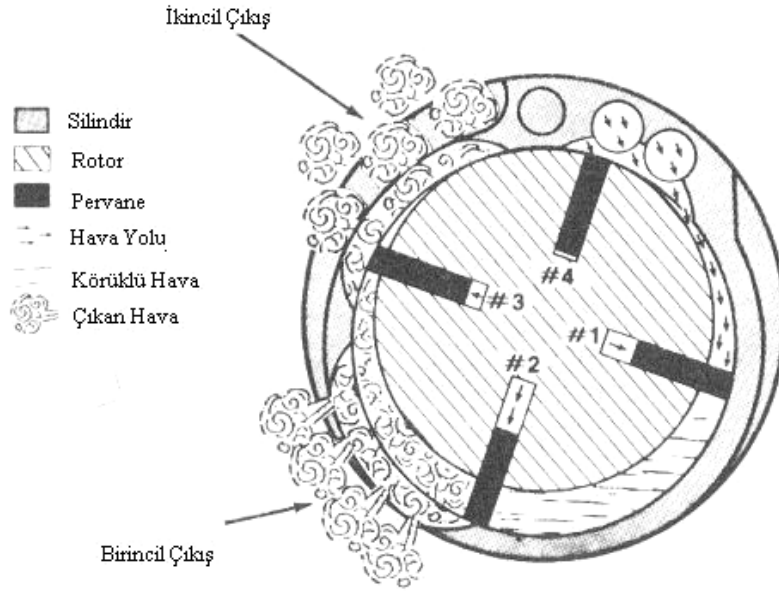
Şekil-II.8 Piston tipi pnömatik motorundaki hava akışı [19]

Pervane Tipi Pnömatik Motorlar

Pervane tipi pnömatik motorlarda, silindrsel tek bir rotor yuvarlak düzeneğe yerleştirilmiştir. 3 ile 10 arası bağlantı pervane kanatçıları radyal yuvalara yerleştirilir. Şekil-II.9 de bu tip bir pnömatik motorunun yan kesit görünüşü, Şekil-II.10 da pnömatik motoru içindeki hava akışı verilmiştir.



Şekil-II.9 Motor yan kesit görünüşü [19].



Şekil-II.10 Pervane tip pnömatik motoru içindeki hava akışı [19].

Basıncılı hava kanatçıklara uygulandığında rotoru döndüren bir dengesizlik ve tork oluşur. Kanatçıkların hareketi ile basıncılı hava pnömatik motorun egzozundan çıkar. Böylece pervane kanatçıklarının dönmeleriyle dönel bir hareket elde edilmiş olur.

Pervane tipi pnömatik motorlarının hızları 60.000 dev/dak 'dan fazla olabilmektedir. Ancak taşınabilir tipteki motorların maksimum hızları 10.000 ile 20.000 dev/dak arasındadır. Bu motorların beygir güçleri 3 beygircüenden azdır. Endüstriyel tip motorlar için başlangıç güçleri 80 beygircüenden fazla olabilmektedir [19].

Basıncılı Pnömatik Paletli Pnömatik Motorlar

Silindirik oyuklu gövde ve hilal şeklinde çalışma hacmini birçok basınç bölmelerine ayıran paletleri içeren bir rotordan oluşur. Basıncılı hava girişinden gövdeye akan hava, gövde içinde eksantrik olarak yerleştirilmiş rotoru, olukların içinde radyal olarak ileri geri hareket eden paletler vasıtasıyla döndürür. Dönme esnasında, basınç bölmeleri genişlediğinde, hava basıncı azalır ve hava çıkış açıklığından boşluğa çıkar. Motor tarafından sağlanan dönme momenti büyüklüğü, hava basıncına ve hava debisi tarafından itilen palet yüzeylerinin alanına bağlıdır [18].

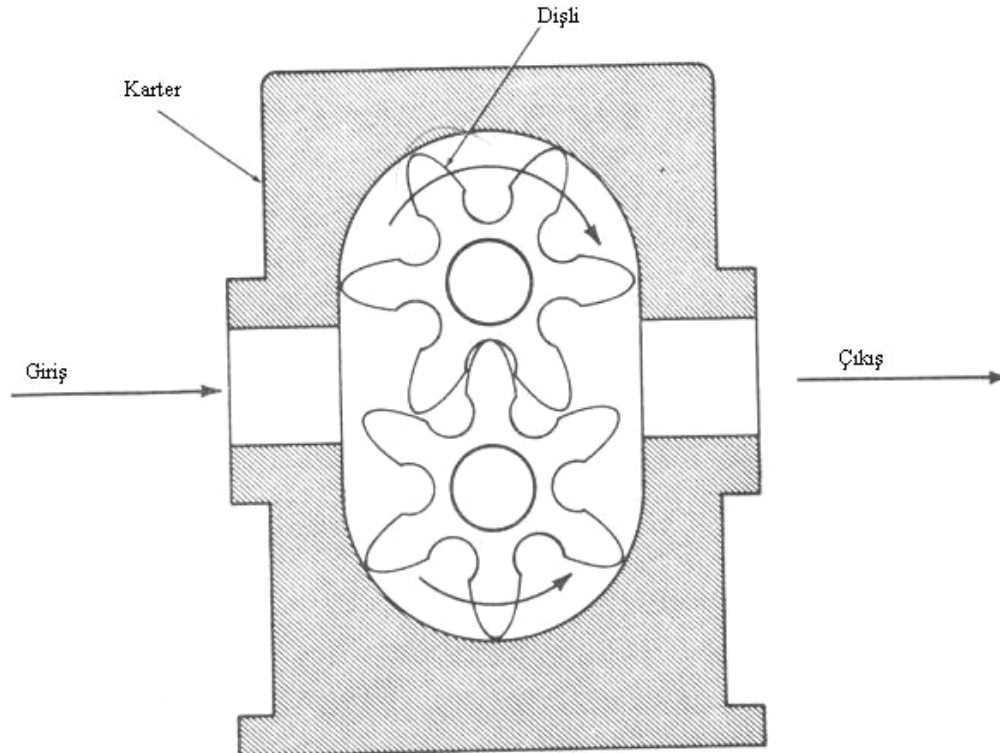
Türbin Tipi Pnömatik Motorlar

Hava türbinleri, tepkime türbin ilkesi veya tepki türbin ilkesi üzerine yapılmışlardır. Tepkime tipinde; hava, rotor diskin yerleştiği yatağın kenarındaki memelerden çıkar. Tepki tipinde, hava direkt olarak şase içindeki sabit memelerden kanatçıklara veya kova biçimdeki diskin kenarına gelir.

Türbin uygulamaları yüksek hızlı ve düşük beygüçlü kalıp taşıyıcılarda kullanılır. Hava miktarına göre türbin motorların torkları, pervane tip veya piston tip pnömatik motorlarından daha azdır. Bundan dolayı türbin tip pnömatik motorların hızları 100.000 dev/dak yaklaşmaktadır. Güçleri düşük güçteki bir pervane tipi pnömatik motorun gücüne eşit olabilir. Güç, torkun hızla çarpımına eşittir [19].

Dişli Tip Pnömatik Motoru

Dişli tipi pnömatik motorun görünüşü Şekil-II.11 de verilmiştir. Dişli örgü parçaları şasenin içinde dönerler. Dişli döndüğünde, hava dişli dişleri ile karter arasında sıkışır ve girişten çıkışa doğru dişlileri iter.



Şekil-II.11 Dişli tip pnömatik motor[19]

II.2.3.2 İleri-Geri Hareketli Pnömatik Motor

İleri-Geri hareket tipli motorlar piston ve silindirin birleşimidir. Bu tip pnömatik motorlar el ile tutulan vurmali, güçlü motorlardır. Vurmali ve eksensel etkili motorların içersinde piston vardır. Bu pistonun silindir içinde bir noktadan diğer bir noktaya hareketi ile ileri geri hareket işi yapılır. Bu tip pnömatik motorlar güçlü taşlama makinelerinde kullanılır [19].

Vurmali Tip İleri-Geri Pnömatik Motorlar

Standart kırmali pnömatik motor tek silindir ve ileri-geri hareket eden pistondan oluşur. Piston, basınç kaynağı beslemesinin sırasıyla etkilemesi sonucu osilasyon hareketi yapar. Pistondan elde edilen kinetik enerji silindir ucundaki çalışma parçasına aktarılır. Aktarılan bu parça örs olarak adlandırılır. Taş kırma işlemlerinde bu tip pnömatik motorlar kullanılır.

Vurmali tip pnömatik motorların çevrim frekansı, basınç değeri değışmedikçe, çalışma sırasında oldukça sabittir[19].

Bizim yapmış olduğumuz çalışmada GAST firmasının 2AM-NCW-7B dönel tip pervane pnömatik motoru kullanılmıştır.

II.2.3.3 Pnömatik Motorların Karakteristikleri

Pozitif yer değıştirmeli pnömatik motorlarının beygirgücü potansiyeli, giriş ile egzoz arasındaki basınç farkı, her devir için hava değışim büyüklüğü ve maksimum hızla ilişkilidir. Pnömatik motorunun gerçek performansını tanımlamak için giriş çıkış portları, pervane kanatçıkları, kaçak, sürtünme kayıpları, kontrol valfına, basınçlı havanın geçtiğı yerlere ve susturucuya düşen basıncın bilinmesi gereklidir.

Türbin tip pnömatik motorların güç potansiyeli büyüktür. Bu potansiyel, basınç farkı, toplam hava akışı ve maksimum hızın bir fonksiyonudur. Pnömatik motorların maksimum çıkış torku, sıfır dönüş hızında dönmedeki torkuna yakındır.

Piston tip pnömatik motorların torku, piston alanının ve krank mili üzerindeki her bir pistona etki eden basıncın bilinmesiyle hesaplanabilir. Teorik olarak tork'u, krank mili üzerindeki piston gücü etkisinin vektörsel toplamı oluşturur.

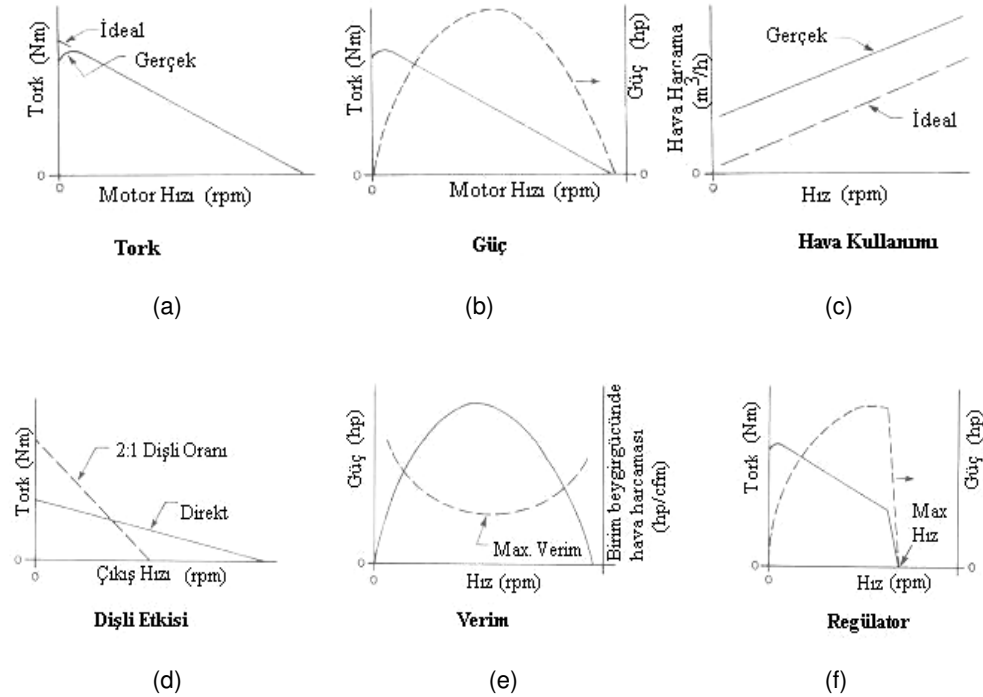
Pervane tipi pnömatik motorların maksimum tork'u, rotorun geometrik şekli, silindir ve uygulanan basınç ile ilişkilidir. Her iki tip pnömatik motorunda da gerçek tork değeri, kayan ve dönen parçaların sürtünmesinden dolayı teorik değerden

azdır. Pervane tipi pnömatik motorun torku, özellikle pervane kanatçıkların rotor oluşu ve silindir duvarına karşı sürtünme değişimine duyarlıdır.

Pnömatik motorun maksimum hızını çalışılan basınç değeri, mekaniksel sürtünme ve rotordan geçen havanın basınç kaybı belirler. Motorun hızı arttıkça tork yaklaşık olarak lineer bir şekilde azalmaktadır.

Çoğu pnömatik motorunun tork eğrisi düz bir eğri gibidir. Çıkış beygircü, tork değerinin hız ile çarpımına eşittir. Motorun durduğu ve maksimum hıza sahip olduğu zamanlarda beygir gücü sıfırdır. Beygircücünün maksimum olduğu an pnömatik motorunun maksimum hızının yarısı kadar bir hızla döndüğü zamandır.

Hava tüketim değeri pnömatik motorun hızı ile ilgilidir. Pnömatik motorlarının verimi hakkında aynı güçteki pnömatik motorların beygircücüne karşılık hava harcama miktarları karşılaştırılmalıdır. Şekil-II.12 de pnömatik motorlara ait performansları gösteren eğriler verilmiştir [19,28].



Şekil-II.12 Pnömatik motorunun performans eğrileri[19].

Şekil-II.12a incelendiğinde pnömatik motorunun torku, motorun hızı arttıkça lineer bir şekilde azaldığı görülmektedir. İdeal çalışmada, pnömatik motorunun durma anında ki tork'u maksimum değerdedir. Pnömatik motor dönmeye başladıktan maksimum hıza ulaşincaya kadar lineer bir azalma olması beklenmektedir. Ancak, Pnömatik motorun ilk dönmeye başladığı anda tork biraz

artar ve hız artıkça Pnömatik motorun torku azalmaktadır. Motorun gücü, tork ile hızın çarpımıdır. Şekil-II.12b de görüldüğü gibi tork-hız değişimine göre pnömatik motorunu güç eğrisi çizilmiştir. Buradan gücün maksimum olduğu nokta yaklaşık olarak pnömatik motorunu maksimum hızının yarısı bir değerde döndüğü zamanda elde edilmektedir.

Şekil-II.12c de hava tüketim eğrisi verilmiştir. İdeal olarak pnömatik motorunun hızı sıfır olduğunda tüketim değeri sıfır ve hız artıkça hava tüketim değerinin doğrusal bir şekilde artmaktadır. Ancak gerçekte pnömatik motorların durma anında da bir hava tüketimi olmaktadır.

Şekil-II.12d de dişli etkisi görülmektedir. Dişli oranı arttırıldığında pnömatik motorun torku artmakta fakat hızı azalmaktadır.

Şekil-II.12e de hız-güç ve hız-güç/hava tüketim hızı ile ilgili olarak verim grafiği verilmiştir.

Şekil-II.12f de regülatör grafiği verilmiştir. Hız arttıkça tork azalmakta buna karşılık maksimum hıza kadar güç artmaktadır. Maksimum hız değerinde tork ve güç değerleri sıfırlanmaktadır.

II.2.4 Kontrolü Yapılan Pnömatik Motorun Özellikleri

Kontrolü gerçekleştirilecek pnömatik motor GAST firmasının ürettiği 2AM-NCW-7B tipi dönel tip pnömatik motordur. Pnömatik motora ait veriler EK – B de verilmiştir. Pnömatik motorunun 4 adet pervane kanatçığı vardır.

Pnömatik motorun gücü ve hızı, pnömatik motora giren basınçlı havanın kontrol edilmesiyle kolaylıkla değiştirilebilir. Pnömatik motorun çıkış gücü, hava basıncına ve hızına göre değişmektedir. Hız ve hava basıncı arttığında pnömatik motorun hava tüketimi artar. Pnömatik motorun yükü arttığında hızı yavaşlayacaktır, böylece pnömatik motorun torkuda artar. Aynı şekilde yük azaldığında hız artacağından tork da azalır. Motor yüklü veya yüksüz olduğunda hızı, hava basıncı azaltılıp veya arttırarak ayarlanabilir [26].

Kullanılan pnömatik motorun performansına ait bilgiler Tablo-II.2 de verilmiştir.

Tablo-II.2 Pnömatik motora ait çalışma verileri [26]

Pnömatik Motor Modeli	Çalışma Verileri							Maksimum Tork		
	Mak. Hız rpm	Çıkış Gücü		Tork		Mak. Hava Harcama		Mak. Hız rpm	lb. in.	Nm
		hp	KW	lb. in.	Nm	cfm	m3/h			
2AM	3000	0.93	0,7	19.50	2,2	30	49,5	350	26.10	3,05

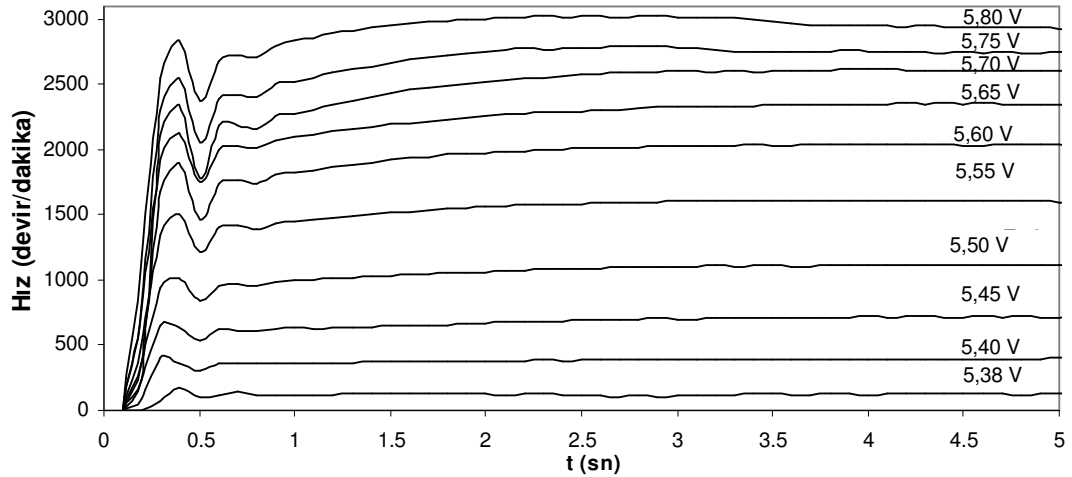
Pnömatik motornun görünüşü ve teknik çizimleri Şekil-II.17 de verilmiştir.



Şekil-II.17 Pnömatik motor ve teknik çizimi[25]

Kullanmış olduğumuz pnömatik motorun farklı hızlardaki dinamik davranışını gözlemlemek için yapmış olduğumuz deney sonuçları Şekil-II.18 de görülmektedir.

Burada pnömatik motor sabit 6 Bar basınç ile çalıştırılmıştır. Kullanmış olduğumuz debi oransal valf'e farklı kontrol işaretleri (gerilim değerleri) uygulanarak motorun 500 ile 3000 devir/dakika arasındaki hızlarındaki davranışı gözlenmiştir.

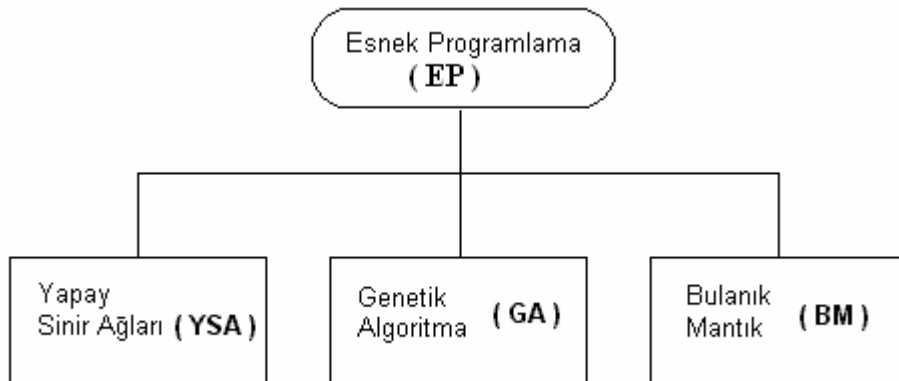


Şekil-II.18 Kontrol işaretine karşın motor devir grafiği

BÖLÜM – III

ESNEK PROGRAMLAMA

Yapay sinir ağları, bulanık mantık ve evrim algoritmalarının birlikte, birbirlerini destekler şekilde kullanılması esnek programlamayı oluşturmaktadır. Bu yöntemlerde, genetik algoritma doğal genetiği, yapay sinir ağları insanın sinir ve öğrenme yapısını, bulanık mantık ise insanın düşünme biçimini modelleyerek çözüm üretilmesi sağlanması amaçlanmıştır. Şekil-III.1 de esnek programlamayı oluşturan yöntemler görülmektedir [27].



Şekil-III.1 Esnek Programlamayı Oluşturan Programlama Teknikleri[27]

Esnek programlamayı oluşturan bu yöntemlerin genel özelliklerinin karşılaştırılması Tablo-III.1 den görülebilir. Bu tablodan görüldüğü gibi, bulanık mantık ve genetik algoritmalarının birlikte kullanılması oldukça mantıklıdır.

Tablo-III.1 Bulanık Mantık, Genetik Algoritmaları ve Yapay Sinir Ağlarının Karşılaştırılması [27].

Özellik	Bulanık Mantık	Yapay Sinir Ağları	Genetik Algoritma
Matematik Model	Ortalama	Zor	Zor
Öğrenme Kabiliyeti	Kötü	İyi	Ortalama
Uzman Bilginin Kullanılması	İyi	Kötü	Kötü
Doğrusal Olmama	İyi	İyi	İyi
Optimizasyon Kabiliyeti	Kötü	Ortalama	İyi
Hata Toleransı	İyi	İyi	İyi
Belirsizlik Toleransı	İyi	İyi	İyi
Gerçek Zamanda İşlem	İyi	Ortalama	Kötü

Yaptığımız bu çalışmada, bu üç yöntemde kullanılmıştır. Birinci aşamada pnömatik motorunun modeli YSA ile bulunmuştur. İkinci aşamada ise çevrim dışı çalışma modelinde, pnömatik motorun YSA modeli kullanılarak genetik algoritma yardımı ile bulanık kontrolörün aksiyon ağırlık değerlerinin optimal değerleri bulunmuştur. Üçüncü ve son aşamada ise bulunan bu aksiyon ağırlık değerleri kullanılarak bulanık kontrolör ile gerçek zamanda pnömatik motorun yörünge takipli hız kontrolü gerçekleştirilmiştir.

III.1 YAPAY SİNİR AĞLARI İLE SİSTEM TANIMLAMA

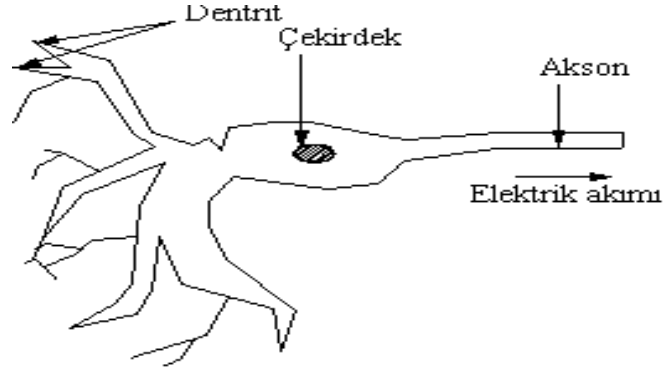
Genel olarak, sistem modelinin elde edilmesi veya sistemin kimliklendirilmesi; giriş, çıkış ve durum değişkenlerinin ölçülmesi tabanında fiziksel sistemin yapısının öğrenilmesi anlamına gelir. Bir sistemin modeli, matematiksel ifade, giriş – çıkış veri bilgisi veya dilsel kurallar kullanılarak belirtilebilir. Matematiksel ifade; klasik yaklaşımdır ve sistemi temsil eden bir matematiksel model kullanılır. Giriş – çıkış veri bilgisi ise yeterli sayıda örneklenmiş değer içeren veri kümesidir. Dilsel kurallar; giriş – çıkış ilişkisi belirleyen eğer – ise dilsel ifadelerinden oluşan kurallar kümesidir [28].

Yapay sinir ağları (YSA) ile giriş-çıkış veri kümesi doğrusal ve/veya doğrusal olmayan sistemlerin modellenmesinde kullanılabilir. Yapmış olduğumuz çalışmada

da 3 katmanlı bir YSA modeli kullanılarak pnömatik motorun modellenmesi gerçekleştirilmiştir.

III.1.1 Yapay Sinir Ağları

En genel anlamda sinir ağları, insan beynindeki nöronlara benzer olarak meydana getirilen yapay nöronların değişik bağlantı geometrisi ile birbirlerine bağlanmasıyla oluşan karmaşık sistemlerdir. Şekil-III.2 de bir biyolojik sinir hücresi görülmektedir. Biyolojik nöron, bir çekirdek, gövde ve iki türlü uzantıdan oluşmaktadır. Bunlardan kısa ve dallanmış olan Dentrit giriş bilgilerini alır, uzun ve tek olan akson ise çıkış bilgilerini diğer nöronlara taşır. Akson ve Dentritin birleşim yerine Sinaps adı verilir. Bunlar nöronlardan aldığı sinyalleri değerlendirirler ve eşik değeri üzerinde bir giriş varsa bir sonraki hücreye iletirler.



Şekil-III.2 Tipik bir biyolojik nöron [29]

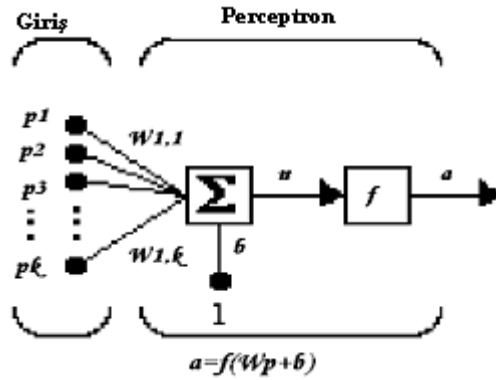
Her nöron gelen sinyalin seviyesine göre açık ya da kapalı duruma geçerek basit bir tetikleyici görev üstlenir. Bu işlemleri yaparken nöronlar giriş bilgilerini ağırlandırarak bunları lineer toplar ve bir eşik, lineer veya non-lineer bir fonksiyonda işleyerek çıktısını verir. Bu çıktıyı hücreye bağlantısı olan diğer nöronlar giriş bilgileri olarak alırlar.

Bilim adamları insan beynindeki nöronların çalışmaları ile çok uzun zamandan beri ilgilenmişlerdir. Yapay sinir ağları (YSA) biyolojik sinir sisteminin modellenmesi olarak görülebilir. YSA' lar oldukça paralel bir yapıya sahiptirler ve öğrenme yeteneklerini kullanarak adaptasyon ve genelleme özellikleri gösterirler. YSA' ların bu özellikleri kullanılarak kontrol, modelleme, tanıma ve tahmin gibi çok farklı uygulamalarda özellikle son yıllarda kullanım alanı bulmuştur.

Pek çok tip YSA modeli mevcuttur. Hatanın geriye yayılımı (Backpropagation) algoritmasını kullanan Çok Katmanlı Perceptron (Multi Layer Perceptron MLP) gibi bazıları özellikle çok popüler olmuştur [29].

III.1.2 Perceptron

İlk olarak tek katmandan oluşan ve basit bir aktivasyon fonksiyonuna sahip olan Perceptron gerçekleştirilmiştir. Tipik bir perceptron Şekil-III.3 de görülmektedir. Burada giriş değerleri, her bir girişe ait ağırlıklar ile çarpıldıktan sonra toplanıp bir aktivasyon fonksiyonundan geçerek çıkışa verilir. Bu işlem Denklem-III.1 ile gösterilmiştir. Bu ağ modelinde Perceptron öğrenme kuralı ile ağırlıklar ayarlanmalıdır. Bu öğrenme kuralında ağırlıklar Denklem-III.2 ve Denklem-III.3 de gösterildiği gibi istenen çıkış ile ağ çıkışı karşılaştırılarak ağırlıklar ayarlanır [29].



Şekil-III.3 Perceptron [29]

$$a = f(Wp + b) \quad (III-1)$$

$$W^{new} = W^{old} + ep \quad (III-2)$$

$$e = (t - a) \quad (III-3)$$

Burada a= Çıkış vektörü, W=Ağırlık matrisi, b=eşik değeri
e=Hata vektörü, t=Hedef vektörü, p= Giriş vektörü, f =Aktivasyon fonksiyonudur.

III.1.3 Aktivasyon Fonksiyonu

Bir yapay sinir ağının davranışı ağırlıklarının ve aktivasyon fonksiyonunun değerine bağlıdır. Aktivasyon fonksiyonları temel olarak 3 gruba ayrılabilir. Bunlar lineer aktivasyon fonksiyonları, eşik aktivasyon fonksiyonları ve sigmoid aktivasyon

fonksiyonlarıdır. Lineer aktivasyon fonksiyonlarında çıkış, giriş değerinin belli bir oranı kadardır. Eşik aktivasyon fonksiyonlarında çıkış, giriş değerinin belirlenen bir eşik değerinin altında veya üstünde olduğuna göre belirlenen iki değerden birini alır. Sigmoid aktivasyon fonksiyonlarında çıkışla giriş arasında sürekli olan fakat lineer olmayan bir bağıntı bulunur. Bazı çok kullanılan bu aktivasyon fonksiyonları Şekil-III.4 de görülmektedir [29].

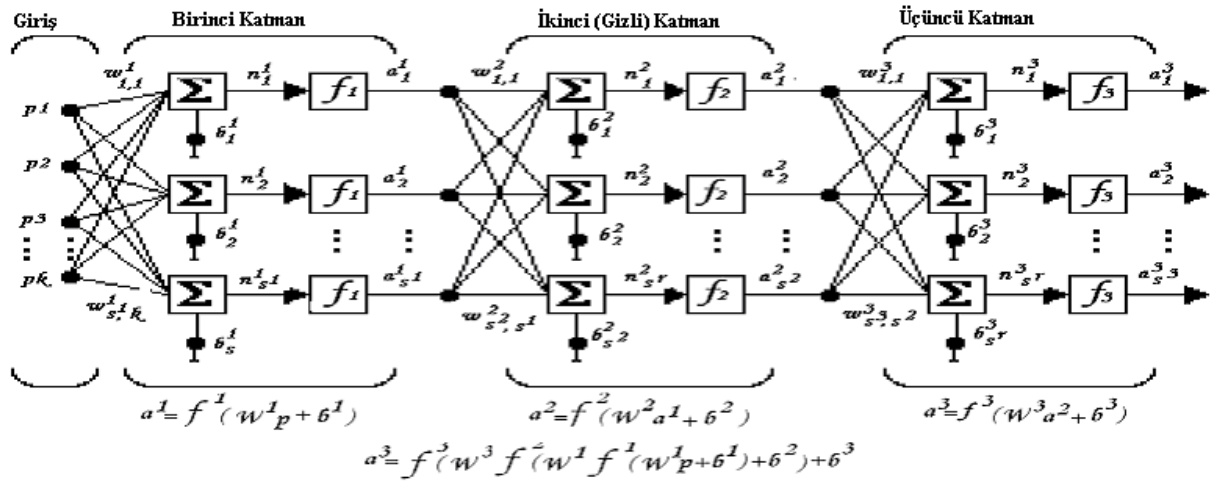


$$a_i = k * n_i \quad a_i = +1 \text{ Eğer } x \geq 0; a_i = -1 \text{ Eğer } x < 0 \quad a_i = 1/(1 + e^{-x})$$

Şekil-III.4 YSA Aktivasyon Fonksiyonları [29]

III.1.4 Hata Geriye Yayılma Algoritması

Hata geriye yayılma algoritması, Şekil-III.5 de görüldüğü gibi çok katmanlı ileri yönlü Yapay Sinir Ağları (YSA) yapılarında ağırlıkları ayarlamak için çok sık kullanılan bir yöntemdir. İleri yönde çıkışın bulunması ve oluşan hatanın geri doğru yayılması ve ağırlıkların ayarlanması gibi üç temel aşamadan oluşur. İleri yönde çıkış katmanındaki değerler, tek bir perceptron'da tanımlandığı şekilde ve Denklem-III.4 de verildiği gibi hesaplanır. Hatanın geriye doğru yayılması aşamasında, çıkış ile hedef arasında oluşan hatanın her bir katmanda türevi alınarak her bir perceptrona ait duyarlılıklar Denklem-III.5 de tanımlandığı gibi bulunur. Bu işlem En Dik İniş Algoritması (Gradient Descent) olarak tanımlanır. Üçüncü adımda ağırlıklar Yaklaşık En Dik İniş Algoritması (Approximate Steepest Descent) kullanılarak Denklem-III.6 da verildiği gibi hesaplanır. Bu işlemler sonunda hata her bir adımda azalır [29].



Şekil-III.5 Üç Katmanlı Perceptron [29]

İleri Yön Değerleri

(III-4)

$$a^0 = p \quad ; \text{giriş katmanı için}$$

$$a^{m+1} = f^{m+1}(W^{m+1} a^m) \quad ; m=0,2,\dots, M-1 \text{ için}$$

$$a = a^M \quad ; \text{çıkış katmanı için}$$

Burada k=giriş sayısı, m=katman sayısıdır.

Hatanın Geriye Yayılması

(III-5)

$$s^M = -2F^M(n^M)(t - a) \quad ; \text{çıkış katmanı için}$$

$$s^m = F^M(n^M)(w^{m+1})^T s^{m+1} \quad ; m=M-1,\dots,2, 1 \text{ için}$$

Burada s= her bir katmanın duyarlılık değerleri, F= her bir katmanın için aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$f^m(n_j^m) = \frac{\partial f^m(n_j^m)}{\partial n_j^m} \quad \text{olmak üzere}$$

$$F^M(n^M) = \begin{bmatrix} f^m(n_1^m) & 0 & \dots & 0 \\ 0 & f^m(n_2^m) & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & f^m(n_{s^m}^m) \end{bmatrix}$$

$W^m(k+1) = W^m(k) - \alpha s^M (a^{m-1})^T$ Burada α öğrenme oranıdır.

III.1.5 Yapay Sinir Ağlarında Öğrenme

YSA 'larda Eğitici Öğrenme (Supervised Learning) ve Eğitici Öğrenme (Unsupervised Learning) gibi iki temel öğrenme algoritması vardır. Eğitici Öğrenme yönteminde YSA 'nın çıkışının belli bir değere yakınsaması beklenir. Bu tür öğrenme yöntemi özellikle sınıflandırma problemlerinin çözümünde kullanılır. YSA uygulamalarının pek çoğunda Eğitici Öğrenme yöntemi kullanılmaktadır. Bu yöntemde YSA 'nın çıkışı istenilen bir çıkış ile karşılaştırılarak bir hata üretilir. Perceptron 'ların ağırlıkları ki ilk önce rastgele olarak ayarlanmışlardır, bu hata değerini azaltacak şekilde Hatanın Geriye Yayılması algoritmasında tanımlandığı şekilde ayarlanır. Bu işlem hatanın değeri kabul edilebilir bir değere gelinceye kadar adım adım tekrarlanır.

Eğitici öğrenme yönteminde YSA kullanılmaya başlanmadan önce yukarıda tanımlandığı gibi eğitilmelidir. Bu eğitim için giriş ve çıkış data değerlerinden oluşan eğitim setleri oluşturulmalıdır. Bu eğitim aşaması bazı durumlarda oldukça uzun zaman alır. Bu eğitim aşaması, hata istenilen bir seviyeye gelene kadar devam edilir. Bu durumda eğitim durdurulur ve ağırlıklar uygulama için kullanılmak üzere saklanır [29].

Pnömatik motorun modellenmesinde, eğitim setinin oluşturulması için motorun kontrolsüz durumdaki davranışını gösteren deneyler yapılmıştır. Bu amaçla motora farklı gerilim değerleri uygulayıp çıkış değerleri kayıt edilmiştir. Seçilen YSA modeline göre gerçekleştirilen YSA simülatörümüz oluşturulan bu data seti kullanılarak 100 adım çalıştırılmış, hatanın değişiminde bir değişim olmadığı durumda eğitim işlemi durdurulmuştur.

III.1.6 Yapay Sinir Ağı Mimarisinin Seçilmesi

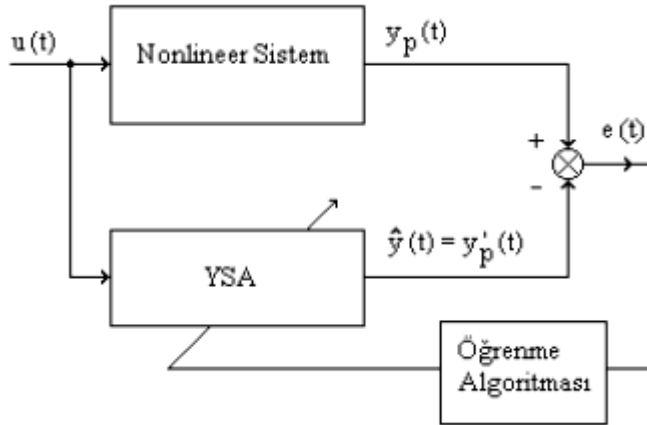
YSA uygulamalarında katman sayısının ve her bir katmandaki nöron sayısının seçilmesi YSA 'nın performansına oldukça etki yapar. Fakat bu parametrelerin değerinin belli bir YSA modeli ve uygulama için ne olacağının yanıtı yoktur. Bu parametrelerin seçilmesi için pek çok araştırmacının uyduğu iki temel kural vardır. Birinci kural; data setindeki giriş-çıkış değerleri arasındaki ilişki karmaşılaştıkça gizli

katmandaki nöron sayısı artırılmalıdır. İkinci kural; eğer modellenen sistem pek çok parçalara ayrılabilirse, gizli katman sayısı artırılmalıdır [29].

Pnömatik motorun modellenmesinde motorun davranışının oldukça lineer olmayan yapı gösterdiği görülmüştür. Yukarıda verilen kurallar göz önüne alınarak gizli katmandaki nöron sayılarını seçmek için farklı deneyler yapılmıştır. Bilgisayar gücü ve elde edilen sonuç hata değeri açısından incelendiğinde, 3 katmandan oluşan ve gizli katmandaki nöron sayısının 50 olduğu bir YSA yapısının en uygun olduğu görülmüştür. Her bir katmandaki aktivasyon fonksiyonu olarak sigmoid fonksiyon kullanılmıştır. Hava motorunun modellenmesi ve burada kullandığımız YSA yapısı Bölüm IV 'de detaylı olarak açıklanmıştır.

III.1.7 İleri Modelleme

Zamanla değişen, ayrık zamanlı dinamik bir sistemin giriş ve çıkış sırasıyla u ve y_p olarak gösterilir. Eğer kimliklendirilmiş model aynı sistem girişi u ile çalıştırılıyorsa; modelin ürettiği çıkış $\hat{y} = y_p'$ nün y_p ye yaklaşması gerekmektedir. Şekil-III.6 da bu metoda ait blok şema görülmektedir.



Şekil-III.6 YSA ile modellemede kullanılan temel ileri tip blok şema [5]

III.2 BULANIK MANTIK

Bulanık küme teorisi ilk olarak 1965 L. A. Zadeh tarafından ortaya atılmıştır. Polonyalı mantıkçı Jan Lucasiewicz 1920 'li yıllarda önermelerin ikili mantığı 0 ve 1 değerleri arasında, kesirli değerlerde alabileceği mantık ilkelerini açıkladı. Bulanık mantık bir kontrolör olarak Mamdani ve Assilian tarafından bir buhar makinesinin, buhar basıncı ve motor hızının kontrolünde kullanılmıştır.

Günümüzde bulanık mantığın uygulandığı pek çok alan mevcuttur. Kontrolü yapılan sistemlerin ortak özelliği, sistemlerin doğrusal olmaması veya sistemin matematiksel modelinin çok karmaşık veya hiç elde edilememesidir [27].

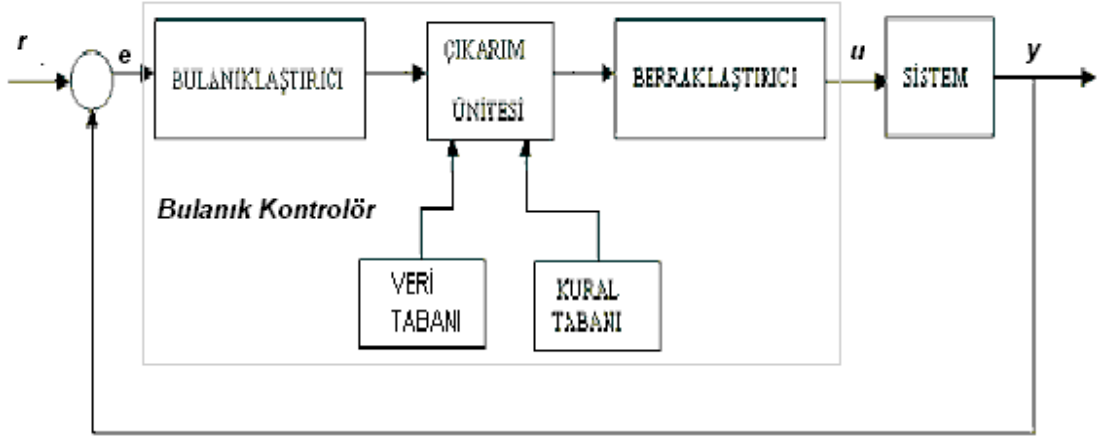
Bulanık mantık, bulanık üyelik kavramı kullanarak insanın düşünme biçimi modellemeye çalışır ve dilsel değişkenler kullanır. Bulanık kontrolör, özellikle geleneksel sayısal tekniklerle analizi çok karmaşık olan sistemlerde ya da elde edilebilir bilgi kaynakları sayısal olmayan veya kesin olmayan sistemlerde çok etkindir [30].

III.2.1 Bulanık Kümeler

Bir bulanık kümede, kümedeki bir elemanın kümeye aitlik derecesi (μ), 0 ile 1 arasında verilir [31]. Böylece bir elemanın kısmi bir üyeliğinden söz edebiliriz. Klasik kümelerde bir eleman ya o kümenin bir elemanıdır ya da o kümenin bir elemanı değildir. Bulanık kümede ise bir eleman bir kümeye aitlik derecesi kadar o kümenin elemanı olacaktır. Eğer aitlik derecesi 1 ise, bu eleman bulunduğu kümeye tam üyedir, aitlik derecesi 0 ise, bulunduğu kümeye üye değildir; ancak aitlik derecesi bu iki değer arasında olursa o elemanı için yüzdesel veya oransal bir üyelikten bahsedebiliriz [27].

III.2.2 Bulanık Kontrolörün Temel Yapısı

Bulanık kontrol sistemleri, kural tabanlı (rule-based) sistemlerdir. Bu kontrol sistemlerinin amacı, sistemi kontrol eden uzman kişinin yerine bulanık kural tabanlı bir sistem yerleştirmektir. Şekil-III.7 de bu dört birimden oluşmuş bir bulanık mantık kontrolörün yapısı görülmektedir [32].



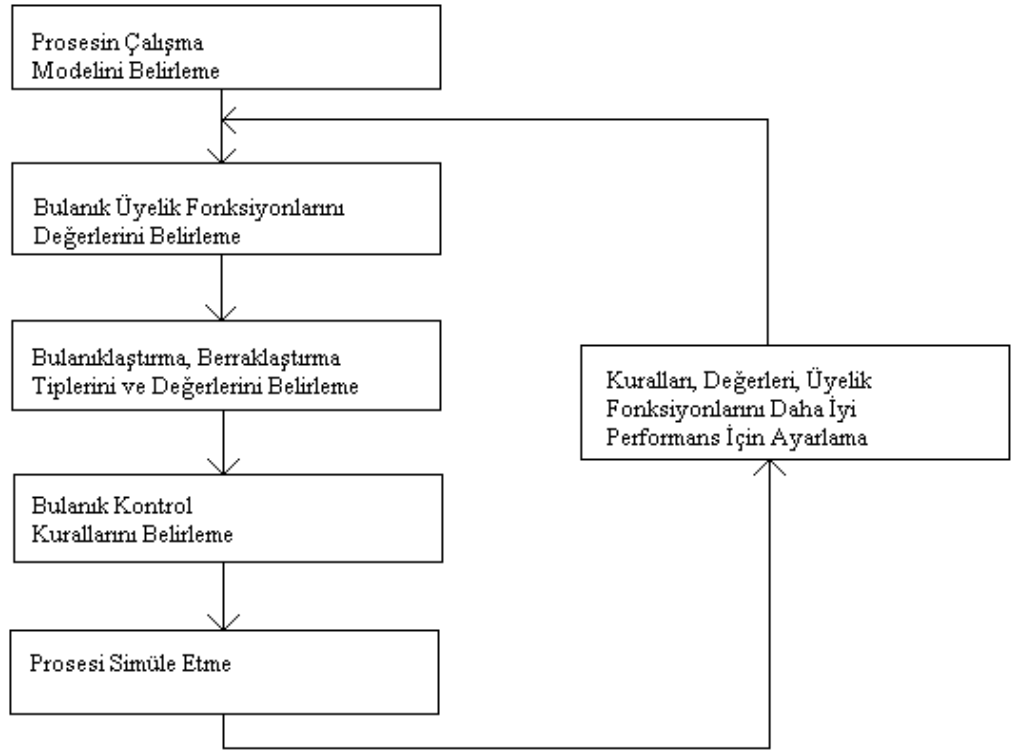
Şekil-III.7 Bulanık kontrolörün genel yapısı [27]

Bulanık kontrolör, algılayıcılardan gelen bilgileri, bulanık üyelik fonksiyonlarını kullanarak dilsel değişkenlere çevirir. Bu işleme bulanıklaştırma denir. Bu işlemden sonra kural tabanı ve veri tabanı içeren çıkarım ünitesinde, bulanık “Eğer....Öyle İse...” (If – Then) kurallarına göre değerlendirilerek mantıksal çıkarımlar, bulanık çıkışlar elde edilir. Elde edilen bulanık çıkış değerleri, berraklaştırma yöntemlerinden biri kullanılarak kesin bir sayısal değere çevrilir. Elde edilen bu sayısal değer kontrol işaretini oluşturur ve sisteme uygulanır [33].

Bulanık kontrolör genel olarak 4 ana bölümden oluşmaktadır.

- 1- Bulanıklaştırma birimi
- 2- Bulanık kural ve veri tabanı
- 3- Çıkarım ünitesi
- 4- Berraklaştırma birimi

Bulanık kontrolör tasarım işlemi genellikle bir deneme yanılma döngüsünden oluşur ve bu işlem için gerekli adımlar Şekil-III.8 de verilmiştir [27].



Şekil-III.8 Bulanık kontrolör işlem adımları

Yukarıdaki verilen işlem adımlarını maddeleştirirsek, bulanık kontrolör tasarlariken aşağıdaki maddelere dikkat edilmelidir.

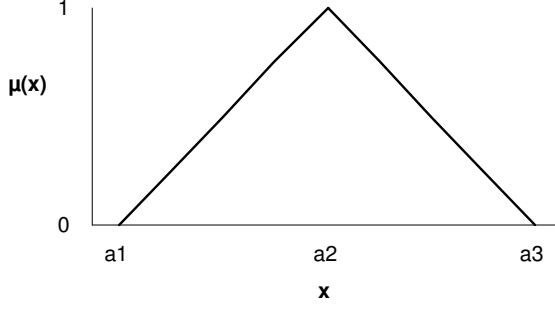
- a- Kontrol edilecek sistemin çalışma modeli belirlenir.
- b- Bulanık üyelik tipleri ve sınır değerleri belirlenir.
- c- Üyelik fonksiyonları belirlenir.
- d- Uzman kişi bilgisine göre bulanık kurallar oluşturulur.

Bulanık kontrolör tasarımı, kabul edilebilir bir performansı elde etmek için sonuçları ardışık değişikliği ve sistem davranışı ve sistem davranışını analize dayanan sezgisel deneme ve yanılma yaklaşımını gerektirir.

III.2.2.1 Bulanıklaştırma

Algılayıcılardan gelen sayısal bilgiyi, dilsel değişkenlere çevrildiği birimdir [33]. Kesin olmayan ölçümleri ifade eden her giriş için, bulanıklaştırma işlemi tanımlanır [27]. Bulanıklaştırma küme içersindeki tanımlanan dilsel ifadeler ile ölçülen bulanık olmayan girişlerini haritalama işlemidir ve haritalanmış veriyi uygun dilsel terimleri üyelik değerlerine çevirir [15].

Üyelik değerleri, sistemin bulanık değişkenlerini ifade etmek üzere kullanılan ve genellikle biçimsel tanımlamalardır. Üyelik fonksiyonlarının şekli üçgen, trapez veya n. dereceden fonksiyonlar olabilir. Kullanılacak üyelik fonksiyonu ve sayısı, tasarımcının kontrol edeceği sistem ile ilgili isteklerine ve tecrübesine bağlıdır. Kullanılabilecek üyelik fonksiyon tanımlamaları Şekil-III.9 da verilmiştir.



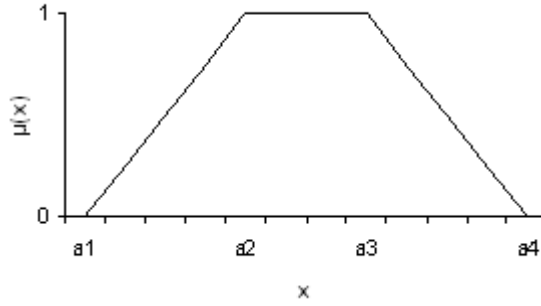
(a) Üçgen üyelik fonksiyonu

ÜÇGEN

$$\mu(x) = 0, x < a_1$$

$$\mu(x) = \frac{x - a_1}{a_2 - a_1}, a_1 \leq x \leq a_2$$

$$\mu(x) = \frac{a_3 - x}{a_3 - a_2}, a_2 \leq x \leq a_3$$



(b) Trapez üyelik fonksiyonu

TRAPEZ

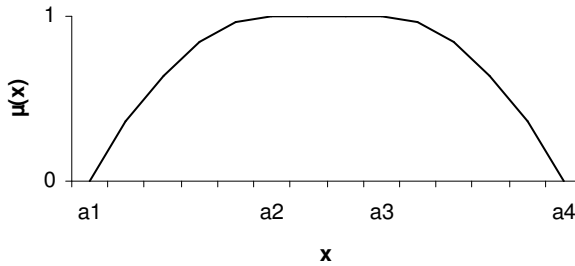
$$\mu(x) = 0, x < a_1$$

$$\mu(x) = \frac{x - a_1}{a_2 - a_1}, a_1 \leq x \leq a_2$$

$$\mu(x) = 1, a_2 \leq x \leq a_3$$

$$\mu(x) = \frac{a_4 - x}{a_4 - a_3}, a_3 \leq x \leq a_4$$

$$\mu(x) = 0, a_4 > 0$$



(c) 2. dereceden üyelik fonksiyonu

2.DERECEDEN

$$\mu(x) = 0, x \leq a_1 \text{ ve } a_4 \leq x$$

$$\mu(x) = \frac{-(x - a_1)^2}{(a_2 - a_1)^2} + \frac{2(x - a_1)}{(a_2 - a_1)}, a_1 \leq x \leq a_2$$

$$\mu(x) = 1, a_2 \leq x \leq a_3$$

$$\mu(x) = \frac{-(x - a_4)^2}{(a_3 - a_4)^2} + \frac{2(x - a_4)}{(a_3 - a_4)}, a_3 \leq x \leq a_4$$

Şekil-III.9 Çeşitli üyelik fonksiyonları

III.2.2.2 Kural Tabanı

Kural tabanı, bulanık kontrolör davranışı belirleyen kontrol kurallarını içerir. Uzman kişinin bilgi ve tecrübelerinden yararlanılarak oluşturulmuş, bulanık kontrolörün davranışları belirleyen kontrol kurallarıdır [33].

Kural tabanı *eğer... ise...* (if... then) biçiminde oluşturulmuş dilsel tanımlamalardır. Kurallardaki “*eğer*” terimi giriş değişkenlerinin bulanık ifadeleri, “*ise*” terimi her kurula ait kontrol davranışının sayısal değerlerini içermektedir. Örnek bir kural aşağıdaki gibi gösterilebilir.

Eğer Hata = sıfır ve hata değişimi = sıfır ise kontrol sinyali = 0.

Bu ifadede robot kolunun bulunduğu konumda istenilen referansa göre hata ve hata değişimi bulanıklaştırılacak giriş değişkeni, kontrol sinyali ifadesi ise kurula ait kontrol davranışdır.

Kural tabanının oluşturulmasında kullanılan beş değişik yöntem aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır [33].

1. Uzman kişinin bilgi ve tecrübesine göre bulanık model oluşturulur.
2. Sistem çalıştırılarak davranışları gözlenir. Gözlenen davranışlara göre bulanık model oluşturulur.
3. Sistemin matematik modelinden hareketle bulanık model oluşturulur.
4. Kurallar kontrolör tarafından öğretilir.
5. Kurallar genetik algoritma gibi bir optimizasyon algoritması kullanılarak üretilir.

III.2.2.3 Çıkarım Ünitesi

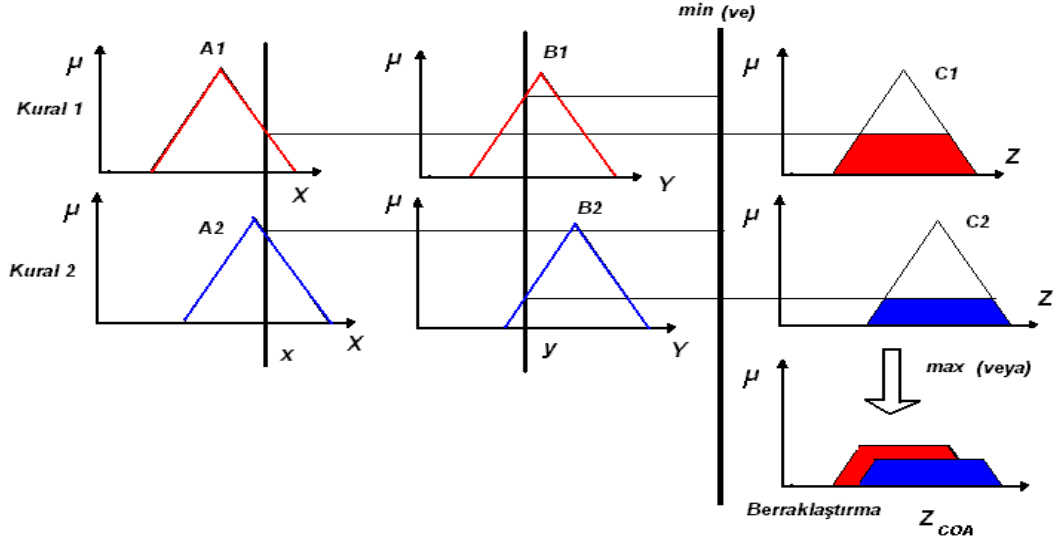
Bu ünitenin amacı, giriş değişkenlerini, ilgili bulanık kurallar ile birleştirerek bulanık kontrol işaretinin bulunmasıdır. Farklı çıkarım modelleri bulunmaktadır, fakat günümüzde birçok uygulamada Mamdani Bulanık Modeli ile Sugano Bulanık Modeli kullanılmaktadır.

Mamdani Bulanık Modeli

İlk oluşturulan bulanık çıkarım modelidir. Mamdani bulanık modelinde çıkarım işlemi, A, B ve C bulanık üyelik değerleri olmak üzere;

“Eğer $x=A1$ ve $y=B1$ ise $z=C1$ ”

formunda yazılabilir. Bu modele göre oluşturulan ve minimum (ve), maksimum (veya) çıkarım operatörlerinin kullanıldığı ile bir çıkarım ünitesi Şekil-III.10 da görülmektedir [27].



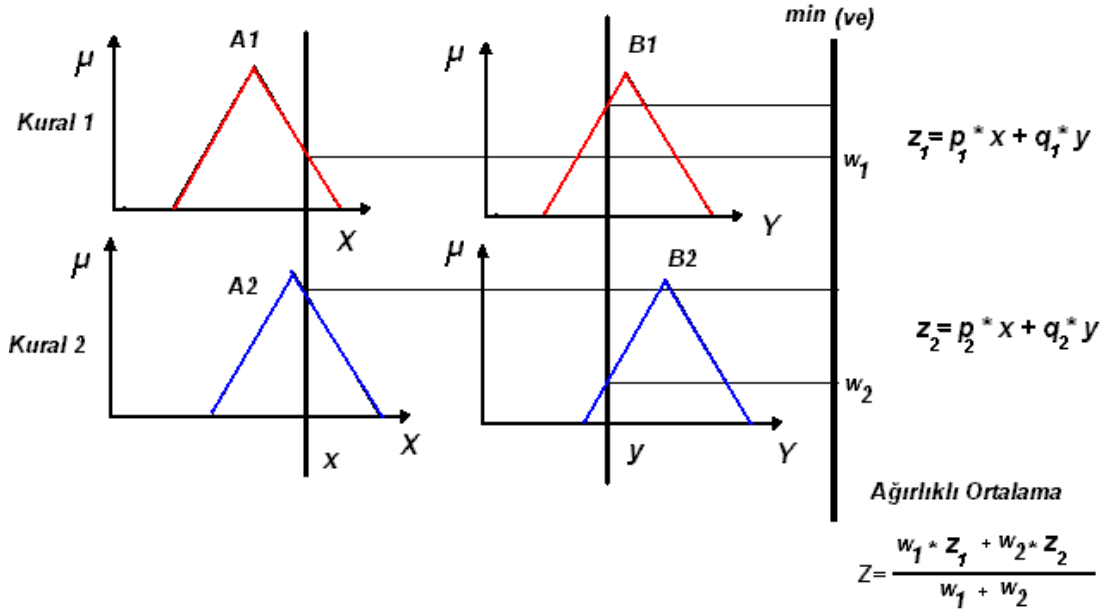
Şekil-III.10 Mamdani Bulanık modeli [27]

Sugano Bulanık Modeli

Bu model, Sugano tarafından giriş çıkış veri bilgilerine dayanan bir sistemde bulanık kontrolör tasarlamak amacıyla geliştirilmiştir. Bu modelde çıkarım işlemi, A, B bulanık üyelik değerleri, Z gerçel değer ve $f(x,y)$ arasında bir fonksiyon olmak üzere;

“Eğer $x=A1$ ve $y=B1$ ise $z=f(x,y)$ ”

formunda yazılabilir. Bu modele göre oluşturulan maksimum (veya) çıkarım operatörlerinin kullanıldığı ile bir çıkarım ünitesi Şekil-III.11 de görülmektedir. Burada p ve q sırasıyla A ve B bulanık kümelerinin ağırlık değerleri, W_1 , W_2 her bir kurala ait ağırlık değerleridir [27].



Şekil-III.11 Sugano Bulanık Modeli [27]

III.2.2.4 Berraklaştırma Birimi

Mamdani bulanık modelinde elde edilmiş bulanık kontrol sinyalinin, kontrol edilen sisteme uygulayabilmek için, sayısal değere dönüştürülmesi gerekmektedir. Berraklaştırma işlemi için yaygın olarak kullanılan üç metot vardır. Bunlar:

1. Maksimum Berraklaştırma Metodu: Aktif olan kuralların en büyük üyelik derecesi, sayısal kontrol işareti olarak alınır.
2. Maksimum Ortalama Metodu: Aktif olan kurallardan elde edilen maksimum kontrol işaretinin ortalaması, kontrol işareti olarak alınır.

$$u_k = \sum_{i=1}^n \frac{w_i}{n} \quad (\text{III.7})$$

Burada w_i , $\mu(w_i)$ üyelik fonksiyonunun maksimum seviyeye ulaştığı değeri, u_k , sayısal kontrol işaretini ve n 'de aktif kural sayısını göstermektedir.

3. Alan Merkezi Metodu: Bu metot alan ağırlık merkezi yöntemi olarak da bilinmektedir. Uygulamalarda en yaygın olarak kullanılan metottur. Aktif kuralların bulanık çıkışlarına ilişkin üyelik fonksiyonu değerleri ile gerçekleştirme oranı çarpılarak toplanır. Elde edilen değer, üyelik fonksiyonu değerinin toplamına bölünmesi ile sayısal kontrol işareti bulunur. Ağırlık merkezi yöntemi matematiksel ifadesi aşağıdaki gibidir.

$$u_k = \frac{\sum_{i=1}^n w_i \cdot \mu(w_i)}{\sum_{i=1}^n \mu(w_i)} \quad (III.8)$$

Burada, $\mu(w_i)$ üyelik fonksiyonunu, n kural sayısını göstermektedir.

III.3 GENETİK ALGORİTMA

Genetik algoritma, doğal evrim sürecine benzetilir. Bir evrim süreci, olası çözüm uzayında, popülasyonu oluşturan kromozomlar içinde en uygun kromozomu arayıp bulma işlemidir. Bir evrim sürecinde, doğal evrimde kullanılan üreme, çaprazlama, mutasyon operatörleri kullanılır.

Üreme işlemi, uygunluk değerlerine bakılarak stokastik (olasılık, türel) yöntemlerle seçilen bireylerden yeni bir popülasyon oluşturma işlemidir. Bu işlem sayesinde ilerleyen nesillerde daha yüksek uygunluk değerlerine sahip bireylerin oluşmasına neden olur [27].

Çaprazlama işlemi, rasgele seçilen iki bireyin kromozomlarının çaprazlanarak yeni bir gen dizisi oluşturma işlemidir. Bir bireyi oluşturan dizilerin değişik kısımlarından yerleri değiştirirsek yeni bir birey üretimi sağlanabilir. Bu şekilde oluşturulan bir birey, popülasyon içerisinde bulunan uygunluk değeri “zayıf” olan bir gen ile değiştirilebilir. Çaprazlama, genetik algoritmada en önemli operatördür. Elde edilen yeni genler çeşitliliği ve çözüm için yeni uygunluk değerlerinde en iyi genlerin oluşmasında etkindir.

Mutasyon işlemi, popülasyon içerisinde yer alan genin yapısının bir noktada çevresel etkenler, dışarıdan zorlama ile veya rasgele bir şekilde değişmesidir. Mutasyon işlemi sayesinde popülasyon içerisinde yeni bir karakterde gen oluşabilir. Bu sayede çözümün belli bir noktaya takılması önlenir.

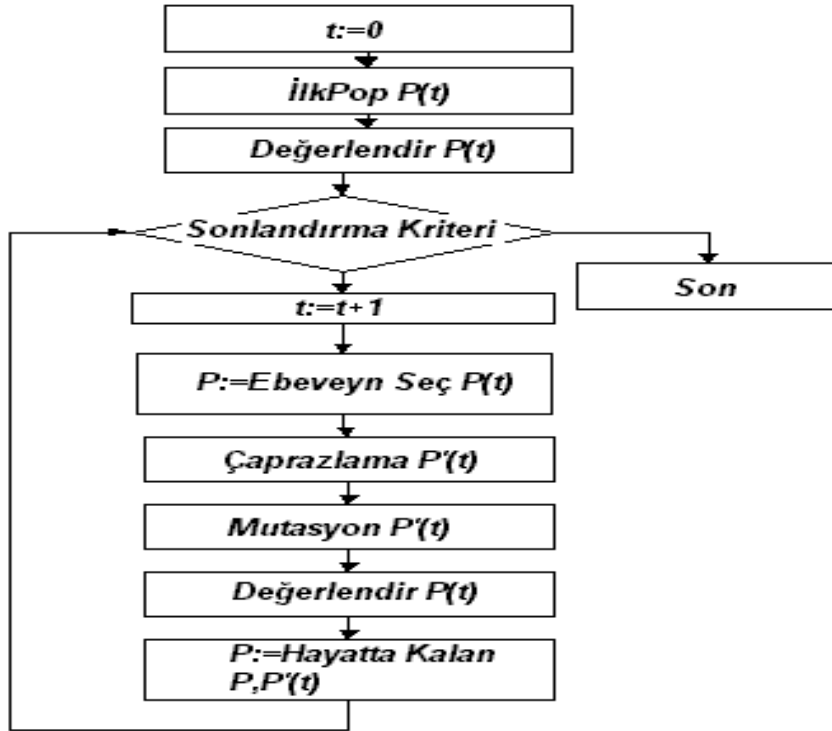
Genel olarak GA, çözüm bilgisinin hiç olmadığı veya çok az olduğu bir durumda aramaya başlar. Çözüm ise çevresel etkilere ve genetik operatörlere bağlıdır. GA, çözümü aramaya paralel bir şekilde, birbirinden bağımsız noktalardan başlar. Genetik algoritma ile geleneksel optimizasyon teknikleri arasında çok önemli farklar vardır. Bu farklar:

- Genetik algoritma optimize edilecek olan parametrelerin kendileri ile değil, kodlanmış diziler üzerinde çalışır.
- GA, bir popülasyon içerisinde arama yapar.

- GA problemin çözümünü, belirlenen çözüm uzayında aramak için uygunluk fonksiyonu kullanır.
- GA, sonuca ulaşmak için stokastik yöntemler kullanır.

Genetik algoritma, mühendislik, bilim, ekonomi gibi çok değişik alanlardaki problemler için bir optimizasyon aracı olarak son yıllarda büyük önem kazanmıştır. GA 'nın uygulama alanlarında bazıları, haberleşme şebekeleri tasarımı, elektronik devre tasarımı, gaz boruları şebeke optimizasyonu, görüntü ve ses tanıma, veri tabanı sorgulama optimizasyonu, uçak tasarımı, fiziksel sistemlerin kontrolü ve optimal kontrol problemleridir [34,35].

Basit bir genetik algoritmanın yapısı aşağıda görülmektedir. Bu yapı, Temel Genetik Algoritma (Simple Genetic Algorithm-SGA) olarak tanımlanır. Günümüzde kullanılan birçok genetik algoritmanın temelini oluşturmaktadır. Bu algoritma D. E. Goldberg tarafından tanımlanmıştır. Bu algoritma diğer ardışıl genetik algoritma türleri için birer referans olmuştur. SGA 'da ikili kodlama biçimi, rulet tekerliği seçim yöntemi, bütünüyle yer değiştirme üreme yöntemi, tek noktadan çaprazlama ve bit mutasyon operatörleri kullanılmıştır [36]. Şekil-III.12 de SGA akış diyagramı [27] verilmiştir.



Şekil-III.12 Temel Genetik Algoritma (SGA) akış diyagramı

Genetik algoritmada, başlangıç popülasyonu genellikle rasgele oluşturulur. Bu popülasyon üzerinde seçim, çaprazlama ve mutasyon genetik operatörleri çalışır. İstenilen çözüm için bu operatörlerin hepsi popülasyondaki her bir gene uygulanır ve sonuçlara ulaşıncaya kadar bir çok generasyon gerekebilir.

Seçim işlemi, eski popülasyondaki bir bireyin, uygunluk değerine bağlı olarak yeni oluşturulacak popülasyon içersine dahil edilme işlemidir. Çaprazlama operatörü, seçim işleminden sonra oluşan yeni popülasyon üzerine uygulanarak yeni bireyler elde etmek için iki bireyin bazı parçalarının birleştirme işlemidir. Mutasyon işlemi, bir popülasyon içersinde bulunan bir bireyin tek bir gen 'i mutasyon olma olasılığına göre rasgele değiştirmedir. Mutasyon olasılığı genellikle küçüktür.

Bir problemin çözümünde genetik algoritma parametrelerinin seçimi, istenilen performansı doğrudan etkilemektedir. Bu yüzden bu parametrelerin doğru seçilmesi gerekmektedir. Genetik algoritma parametreleri genel olarak, popülasyon büyüklüğü, mutasyon olasılığı, çaprazlama olasılığı ve seçim operatörüdür.

III.3.1 Genetik Algoritma Operatörleri

III.3.1.1 Kodlama

Genetik algoritma 'yı diğer arama metodlarından ayıran en önemli özellik, genetik algoritma 'nın parametreler yerine parametrelerin kodlanmış şekli ile işlem yapmasıdır. Bu nedenle, genetik algoritma uygulamasında ilk adım, çözülecek problemin çözüm uzayını en uygun biçimde temsil edecek kodlama yönteminin seçilmesidir.

Genetik algoritma genel olarak, ikili (binary) kodlama biçimini kullanır. Bu kodlama biçiminde, bütün parametreler ikili kodlanmış bir dizi şeklinde değerlendirilir. Literatürde Gray, tamsayı, gerçel sayı veya ağaç biçimleri kullanan genetik algoritma türleri olduğu gibi, farklı sembolik alfabeler kullanan genetik algoritma çalışmaları mevcuttur [37,38].

III.3.1.2 İlk Popülasyonun Oluşturulması

Genetik algoritma, en uygun çözümü bulmak için birden çok noktadan aramaya başlamaktadır. Bunun için başlangıç değerlerini oluşturmak önemlidir. Oluşturulmuş olan ilk popülasyon genellikle rasgele bir şekildedir. Ancak önceden elde edilmiş bilgiye dayalı veya sezgisel olarak da üretilebilmektedir [39].

III.3.1.3 Popülasyon Büyüklüğü

Genetik algoritma uygulamalarında önemli unsurlarından biri popülasyon büyüklüğüne karar verilmesidir. Popülasyon az sayıdaki bireylerden oluşturulmuş ise, yeteri kadar bilgi olmaması sınırlı bir çözüm getirecektir. Bu durumda bulunan sonuç en uygun sonuç olamayacaktır. Ancak popülasyondaki birey sayısının çok fazla olması da kaynak ve zaman problemini beraberinde getirecektir.

III.3.1.4 Üreme

Üreme, yeni generasyonu oluşturacak bireylerin popülasyon içersinden seçilmesidir. Bu operatör, bireyle özdeş nitelikteki yeni bireyleri üretmektedir. Bireylerin üretilmesinde Bütünüyle yer değiştirme, Generasyon aralığı ve Kararlı durum yöntemleri kullanılmaktadır [36, 40].

Bütünüyle Yer Değiştirme yönteminde eski nesildeki tüm bireyler yeni kuşaktaki bireylerle yer değiştirir. Birey 'i meydana getirecek ebeveyn seçiminde ebeveynin uygunluk değeri önemlidir. Eğer uygunluk değeri yüksek ise popülasyon içersindeki bireyin bir ebeveyn olma olasılığı daha fazladır. Yeni birey seçilince, genetik operatörler birey 'i şekillendirmeye başlar. Yapılan işlemler, birey sayısının popülasyon büyüklüğüne eşit oluncaya kadar devam eder. Bu yöntemde karşımıza çıkabilecek en önemli problem ise en yüksek uygunluk değerine sahip olan bireylerin genlerini bir sonraki kuşağa geçiremeden yok olma ihtimalidir [27].

III.3.1.5 Seçim Yöntemleri

Doğadaki yaşama bakıldığında şu ilkeyi çok rahat görebiliriz. “En iyi olan yaşar”. Doğada en iyi olan, en güçlü olan ve en kuvvetli olan hayatta kalır ve soyunu sürdürebilir. Genetik algoritmada bu amacı popülasyon içersindeki bireyleri, yüksek uygunluk derecesindeki bireylerden oluşturmaktır. Genetik algoritmada seçim yöntemleri 3 grupta toplanır [37, 41]. Bunlar:

- 1- Uygunluk Değeri Orantılı Seçim Yöntemleri (Fitness Proportionate Selection)
- 2- Turnuva Seçim Yöntemi (Tournament Selection)
- 3- Sıralı Seçim Yöntemi (Rank Selection)

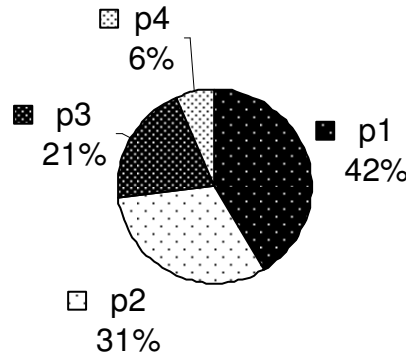
Rulet Tekniği Seçim Yöntemi

Bu seçim yöntemi uygunluk değeri orantılı seçim yöntemine girmektedir. Bu seçim yönteminde, bireyin beklenen seçim olasılığını, bireyin uygunluk değerinin generasyonun toplam uygunluk değerine bölümü belirler. Yöntem, genel olarak rulet oyununa benzetilir. Generasyondaki bireylerin toplam uygunluk değeri rulet tekerleğinin büyüklüğünü verir ve her bir birey rulet tekerleğinde uygunluk değeri kadar yer kaplar [42].

Genetik algoritma ile oluşturulan bir popülasyonda 4 birey olsun. Bu bireylerin uygunluk değerleri sırasıyla f_k ; 20, 15, 10 ve 5 ($k=1,2,3,4$) olsun. Her bir birey için seçilme olasılığı ve ya yaşama olasılığı, p_k aşağıdaki formülden elde edilebilir.

$$p_k = \frac{f_k}{\sum_{j=1}^{say=4} f_j}, k = 1,2,3,4 \quad (III.9)$$

formülden elde edilen uygunluk değerleri sırasıyla $p_1=\%41,7$; $p_2 = \%31,3$; $p_3 = \%20,8$; $p_4= \%6,3$ olarak bulunur. Şekil-III.13 her bir bireyin yüzdesine göre oluşturulmuş çember görülmektedir.



Şekil-III.13 Rulet çemberi

Seçim işlemi için Rulet Tekeri kullanılır. Rulet çevrilir, hangi bireyin üzerinde durur ise o birey seçilecektir. Popülasyon içerisindeki bireyler Tablo-III.2 de gösterildiği gibi 0 ile 1 değerleri arasında bir değere denk gelecek şekilde bir çevrilme işlemi yapılır. r_u , 0 ile 1 arasında rasgele üretilen bir sayıdır. Üretilen bu sayı ile Rulet tekerleği üzerinde bir birey seçilir. Bu sistemin dezavantajı ise uygunluk derecesi yüksek bir bireyin seçilmeyip yok olma ihtimali mevcuttur [43].

Tablo-III.2 Populasyondaki bireylerin uygunluk değerlerinin bilgisayar ortamında çevrilmesi

Birey sayısı	Birey uygunluk değeri (p_k)	Bireyin alt ve üst sınırları
1	%40.8	$0.0 \leq r_u \leq 0.408$
2	%31.3	$0.408 < r_u \leq 0.721$
3	%20.8	$0.721 < r_u \leq 0.929$
4	%6.3	$0.929 < r_u \leq 1.0$

Turnuva Seçim Yöntemi

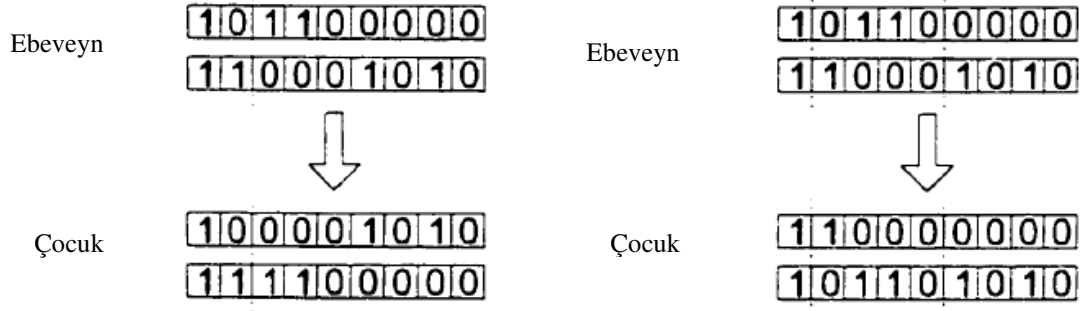
Bu seçim yönteminde, bireyler rasgele olarak gruplanır ve gruptaki bireyler aralarında seçim işlemi için rekabete sokulur. Grup içinde, en yüksek uygunluk değerine sahip olan birey, bir sonraki generasyonda popülasyonu oluşturmak için ebeveyn olarak seçilmiş olur. Bu işlem, toplam popülasyon oluşturuluncaya kadar devam eder. Bu seçimde grup büyüklüğü performansı etkilemektedir. Turnuva seçim yöntemi deterministiktir. Küçük popülasyon kullanan uygulamalarda uygunluk değeri orantılı seçim yöntemlerinden daha iyi sonuç verir [34]. Bireyin seçilme olasılığı Denklem-III.10 de verilmiştir.

$$p_i = \frac{1}{N^q} \left((N - i + 1)^q - (N - i)^q \right) \quad (\text{III.10})$$

Burada; N = popülasyon büyüklüğü, p_i , bireyin seçilme olasılığı, q = turnuva büyüklüğü olarak verilir.

III.3.1.6 Çaprazlama

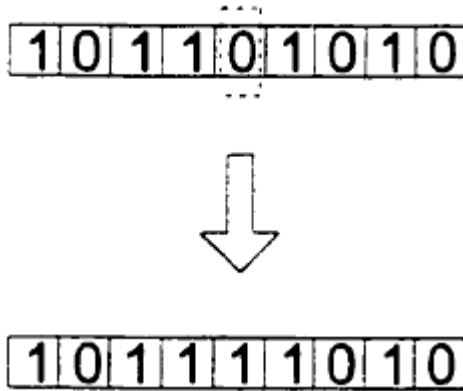
Çaprazlama operatörünü seçilen iki ebeveynin genlerinin rasgele seçilen bir noktadan bir bütün oluşturacak şekilde değiş tokuş edilmesi olarak açıklayabiliriz. Genetik algoritmada geleneksel olarak, çaprazlama noktası 1 tanedir. Ancak çaprazlama noktası birden fazla seçilebilmektedir. Şekil-III.14 da çaprazlama operatörünün 1 noktada ve iki noktada uygulanarak oluşturulan yeni nesiller görülmektedir. Çaprazlama olasılığı (P_c) ise bir popülasyon içindeki ebeveynlerin yeni bireyler üretmek için hangi olasılıkla çaprazlanacağını belirtir. Örnek olarak ($P_c=1$) alınırsa, bütün ebeveynlerin çaprazlanacağını gösterir.



Şekil-III.14 Çaprazlama operatörü

III.3.1.7 Mutasyon

Mutasyon, bireyi oluşturan bir dizi içindeki bir veya daha fazla genin rastlantısal olarak değişmesi veya değiştirilmesidir. Mutasyon operatörü, küçük olasılıkta kullanılan bir genetik algoritma operatörüdür. Şekil-III.15 mutasyon operatörünün popülasyon içindeki bir bireyi oluşturan gen dizi içindeki rasgele bir geni değiştirmesi görülmektedir.



Şekil-III.15 Mutasyon Operatörü

Bizim gerçekleştirdiğimiz Genetik Algoritmada şu operatörler kullanılmıştır.

- Kodlama: Ağırlık ikili kodlama
- İlk popülasyon oluşumu: Gaussigan dağılımlı random
- Popülasyon büyüklüğü: 30
- Üreme: Bütünüyle yer değiştirme
- Seçim yöntemi: Turnuva ve Rulet Çarkı
- Çaprazlama: Tek noktadan çaprazlama. Çaprazlama olasılığı %90.
- Mutasyon: Bit mutasyon. Mutasyon olasılığı %0,1.

Gerçekleştirdiğimiz genetik algoritma yazılımında kullanılan operatörler IV. Bölümde detaylı olarak incelenmiştir.

Optimizasyon problemlerine genetik algoritma eklemenin üç önemli avantajı vardır [44]. Bunlar:

- 1- Genetik algoritma optimizasyon problemlerinde çok fazla matematiksel gereksinimlere ihtiyaç duymaz. Genetik algoritma, gelişen doğası gereği çözümü arayacaktır.
- 2- Genetik algoritma operatörlerin arama performansı oldukça etkilidir. Geleneksel yaklaşımlarda, adımsal yöntem ile kıyaslanan noktayı işaret edip optimal noktaya taşımaya çalışılır.
- 3- Genetik algoritma, bir problemi sezgisellik ve esneklikle çok rahat çözebilmektedir.

III.4 GENETİK BULANIK KONTROLÖR

Bu bölümde bulanık kontrolör tasarımına meydana gelen problemler ve bu problemlerin genetik algoritma ile çözümünde kullanılan metotlar incelenecektir.

III.4.1 Bulanık Kontrolör Tasarımda Karşılaşılan Problemler

Bulanık kontrol, pek çok karmaşık endüstriyel işlemde başarıyla kullanılmasına rağmen, bulanık kontrolörlerin performansı pek çok durumda objektif olarak elde edilemeyen, sezgisel veya deneysel bilgilere ihtiyaç duyar. Bulanık tasarımda çözülmesi gereken temel problemler:

- Durum uzayının belirlenmesi
- Kontrol kurallarının üretilmesi
- Üyelik fonksiyonlarının tiplerinin ve sınırlarının, aktivasyon ağırlıklarının belirlenmesidir.

Geleneksel metotlarda, yukarıda tanımlanan sorunları çözmek için deney ve tecrübeye ihtiyaç vardır. Bulanık kontrolör tasarımda geleneksel yaklaşım, zaman harcamak ve uzun işgücü harcamayı gerektirir. Bu yaklaşımın diğer sakıncaları şöyledir.

- Operatörler genellikle, kendi bilgi ve deneyimlerini bir otomatik kontrol strateji dönüştürmek için gereken kural – tabanlı biçime veya bir algoritmik ifadeye kolayca dönüştüremezler.

- Uzman bilgisi her zaman elde edilmeyebilir.
- Çok değişkenli bulanık kontrolör tasarlamak oldukça zordur.

III.4.2 Bulanık Sistemler ile Genetik Algoritma

Bulanık sistemler ile genetik algoritmayı tümleşik bir şekilde kullanmak çok ilgi çekicidir ve her iki metottun birbirlerini tamamladıkları inanılmaktadır. Genetik algoritma, bulanık sistemin tasarımında en uygun şekle sokma olarak kullanılır. Her ne kadar bulanık kontrol iyi tesis edilmiş olsa da genetik algoritma için uygulama alanı sağlamaktadır. Genetik algoritma, bulanık sistemleri öğrenme özelliğı ile donatır. Bulanık kontrolör tasarımında karşılaşılan problemlerin bazıları, genetik algoritmanın makine öğrenmesi yaklaşımıyla çözülebilir. İlk olarak, ölçekleme faktörlerinin, dilsel kuralların ve üyelik fonksiyonlarının belirlenmesi gerekir. İkinci olarak, proses dinamiklerinde meydana gelen değişiklerin üstesinden gelebilmek için bulanık kontrol kurallarının ve/veya üyelik fonksiyonlarının ayarlanması mümkün olmalıdır. Böylece, iki öğrenim yaklaşımı ile karşılarız. Bunlardan ilki eğer simülasyon için bir model elde ediliyorsa Çevrim Dışı (Offline) öğrenimdir, ikincisi ise Çevrim İçi (Online) öğrenimdir ve uygun bir modelin elde olmadığı durumlarda uygulanır. Her iki yaklaşımda genetik algoritma uygunluk fonksiyonları, bulanık kontrol parametrelerini bulmak ve/veya ayarlamak için kullanılır. Gerçekleştirilen sistemde pnömatik motorunun YSA modeli oluşturulduğu için çevrimdışı öğrenme metodu kullanılmıştır. Genetik algoritma, bulanık sistemleri oluşturma, değiştirme, geliştirme ve güncelleme için kullanılır. Birçok araştırmada bulanık kuralların tanımlanmasında ve üyelik fonksiyonların bulunmasında veya aksiyon ağırlık değerlerinin bulunmasında anmasında genetik algoritma kullanılmaktadır.

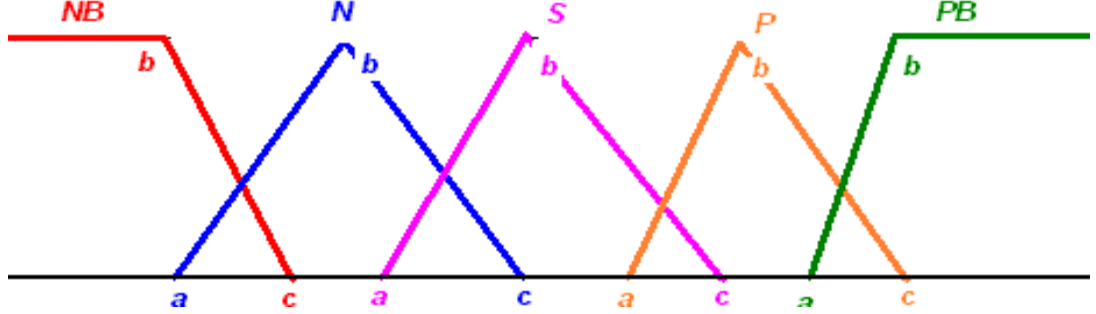
III.4.3 Bulanık Kontrolör Üyelik Değerlerinin Kodlanması

Bulanık kurallar, bilinen ve sabit olan kurallardır. Genetik algoritmanın rolü giriş ve çıkış üyelik fonksiyonlarını ayarlamaktır. Böylece, sistem için seçilen kontrolör parametreleri, değişik çalışma durumları için maksimum uygunluk değerlerini arar. En uygun kontrolör değerleri, sistem parametre değişim değerlerine adaptasyon ve öğrenme kapasitesinin izin verdiğı kadarıyla çevrimiçi olarak kullanılır [28].

Genetik algoritmada, parametreler optimizasyon için kromozomların içine kodlanır. Her bir kromozom çözüm için birer adaydır. Kromozomlar bir dizi olarak tanımlanır. Örnek olarak bir bulanık değişkenin 7 adet alt bulanık kümesi olsun. NB,

NY, NK, S, PK, PY, PB sırasıyla 1,2...7 kadar kodlanır. Kromozomun uzunluğu kural sayısına eşittir [15].

Bulanık Üyelik Fonksiyonu



Kromozom

NB _b	NB _c	N _a	N _b	N _c	S _a	S _b	S _c	P _a	P _b	P _c	PB _a	PB _b
-----------------	-----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	-----------------	-----------------

Şekil-III.16 Bulanık veri tabanının bir kromozom içine kodlanması

Kullanılan her bir kromozom bütün üyelik fonksiyonlarının tiplerini ve sınırlarını içerir. Şekil-III.16 de bu şekilde oluşturulmuş bir kromozom görülmektedir. Her bir kromozom, bulanık kontrolör uygulanır ve istenilen performans ölçüsünü ne derece gerçekleştirdiğine bakılarak kromozoma uygunluk değerleri atanır.

III.4.4 Genetik Algoritma ile Bulanık Kontrolör Kural Tabanının Kodlanması

Bulanık kontrolör kural tablosu bir kromozomun içersine kodlanır. Genetik algoritma, öğrenme işlemini gerçekleştirir. Oluşturulmuş veri tabanı gerekmektedir. Bir generasyon süreci içinde, herhangi bir kromozom içinde, kodlanmış olarak bulanık kontrolör kural tablosuna ait bir değer bulunmasa, o kuralın kullanılmadığı kabul edilerek kural sayısını optimize etmek mümkündür. Şekil-III.17 de kural tablolarına göre kodlanmış bir kromozom görülmektedir. Kromozomdaki birinci gen 1. kuralı göstermektedir. Kromozom uzunluğu kural tablosunun uzunluğuna bağlıdır. Tablo-III.3 de verilen kural sayısı 50 tanedir. Kromozom içersindeki gen sayısı da 50 olacaktır.

Tablo-III.3 Örnek Kural Tablosu

Kural Tablosu 1						Kural Tablosu 2					
	PB	PY	S	NY	NB		PB	PY	S	NY	NB
PB	1	1	2	2	3	PB	2	3	3	3	3
PY	2	2	2	3	3	PY	3	3	3	3	4
S	2	2	3	3	3	S	3	3	3	4	4
NY	3	3	3	3	4	NY	3	4	4	4	5
NB	3	3	3	4	4	NB	4	4	4	5	5

Kromozom

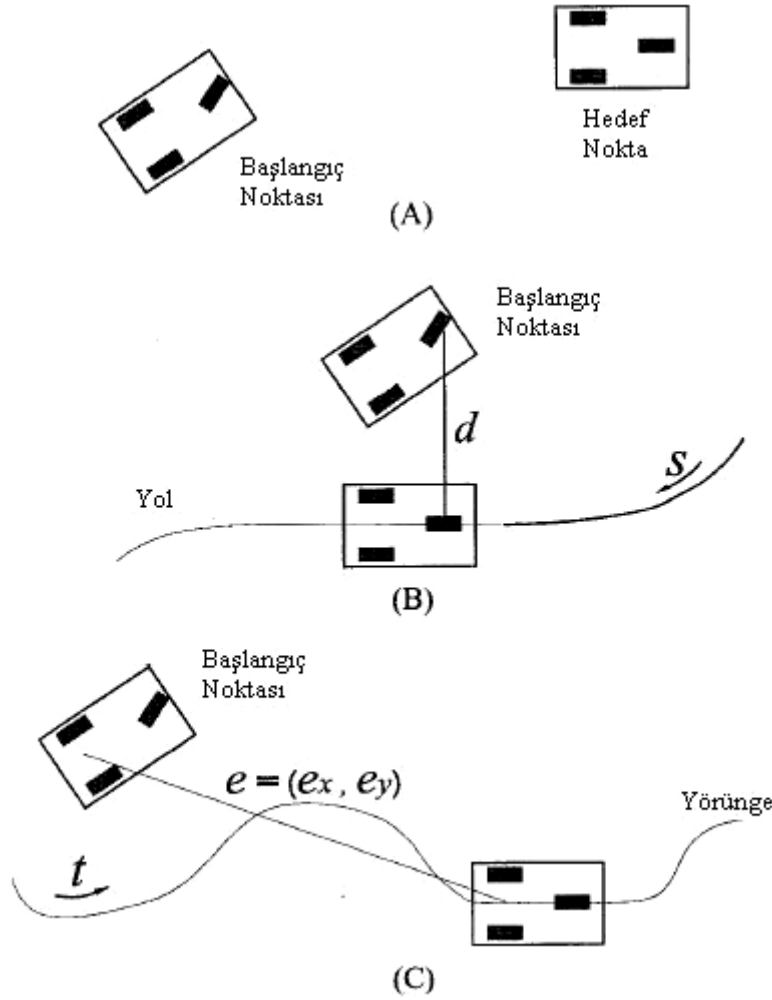
Gen1	Gen2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	Gen49	Gen50
------	------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	-------	-------

Şekil-III.17 Bulanık Kural tabanının bir kromozom içinde kodlanması

Gerçekleştirilen yapıda bulanık kontrolörün aksiyon değerleri genetik algoritma tarafından bulunduğundan, sadece aktivasyon değerleri bir kromozom şeklinde kodlanmıştır.

III.5 YÖRÜNGE TAKİBİ

Başlangıç pozisyonundan sonuç pozisyonu kadar hareketi esnasında yer değiştirme yollarını belirleyen noktalar kümesine yörünge denir [45]. Hareketin aktivitesine göre, yörünge planlaması, noktadan noktaya hareket, yol takibi veya yörünge takibi şeklindedir. Şekil-III.18 de bu üç yörünge planlamasının çalışması görülmektedir. Noktadan noktaya harekette, başlangıçta seçilen bir noktadan istenilen hedefteki noktaya ulaşılmasıdır. Yol takibinde ise, verilen başlangıç ve bitiş noktaları arasındaki geometrik yolu takip ederek ulaşmasıdır. Yörünge takibi, kartezyen koordinat sistemi içinde başlangıç noktasından verilen başlangıç konfigürasyona göre bir yörünge takip etmektedir [46].



Şekil-III.18 Yörünge tasarımı (A) noktadan noktaya (B) yol takibi (C) yörünge takibi

Yörünge tanımında birçok matematiksel fonksiyon kullanılabilmektedir. Kübik fonksiyon, hareket eğrisinin üretilmesinde kullanılmaktadır. Bu eğri, düşük dereceli eğriler yerine polinom eğrileri ara değer kestirimi için daha tahmin edilebilirir.

Bilgisayar destekli dizayn için ara değer kestirim eğrisi üretimi kullanışlı ve güçlü bir araçtır [47].

III.5.1 Sistemde Kullanılan Yörünge Denklemi

Sistemde kullanılan pnömatis motorunun devir kontrolü yapılmaktadır. Burada istenen motorun başlangıç devrinden istenilen devir noktasına Şekil.III-19 da görülen üçüncü dereceden denklemin çizdiği yolu takip etmesidir. Aynı zamanda bu eğrinin istenilen noktaya istenilen gecikme zamanı ile ulaşması istenmektedir. Sistemde kullanılan üçüncü dereceden yörünge matematisel ifadesi Denklem-III.11 de verilmiştir [48].

$$\begin{aligned}
p_y &= p_0 & t < t_0 \\
p_y &= f_3(t - t_{offset})^3 + f_2(t - t_{offset})^2 + f_1(t - t_{offset}) + f_0 & t_0 < t < t_s \\
p_y &= p_s & t > t_s
\end{aligned} \tag{III.11}$$

Burada p_y , yörünge değeri, f_0 - f_3 katsayılar, t ise zamandır. Katsayılar sırasıyla aşağıdaki formüllerden elde edilir.

$$t_o = 3t_{tao} \frac{P_s - P_o}{P_s + P_o} \tag{III.12}$$

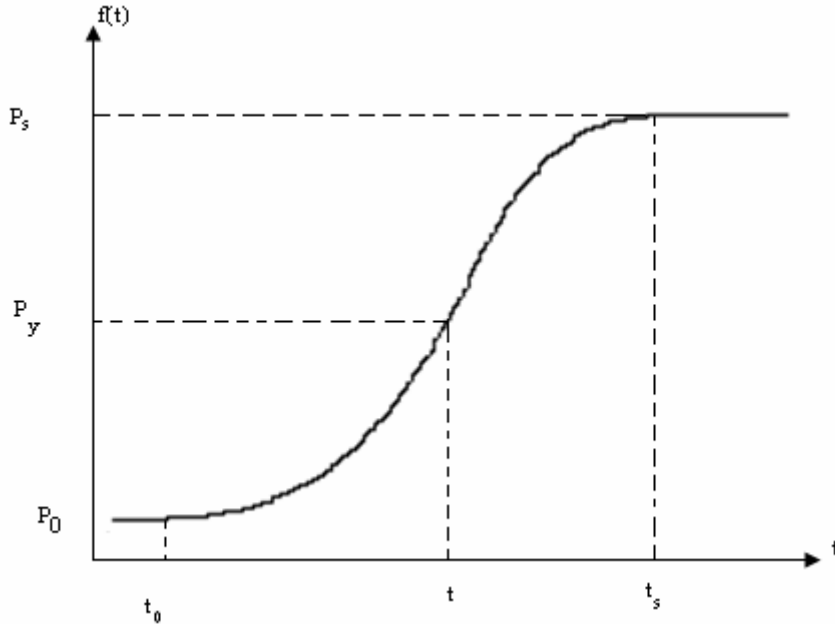
$$f_0 = P_o \tag{III.13}$$

$$f_1 = 0 \tag{III.14}$$

$$f_2 = 3 \frac{P_s - P_o}{t_o^2} \tag{III.15}$$

$$f_3 = -2 \frac{P_s - P_o}{t_o^3} \tag{III.16}$$

Burada t_0 , oturma zamanı, t_{tao} , gecikme zamanı, P_s ve P_o istenilen referans noktası ile başlangıç noktasıdır. Yapılan bu çalışmada kullanılan yörünge grafiği Şekil.III-19' da görülmektedir.



Şekil-III.19 Kullanılan yörünge grafiği

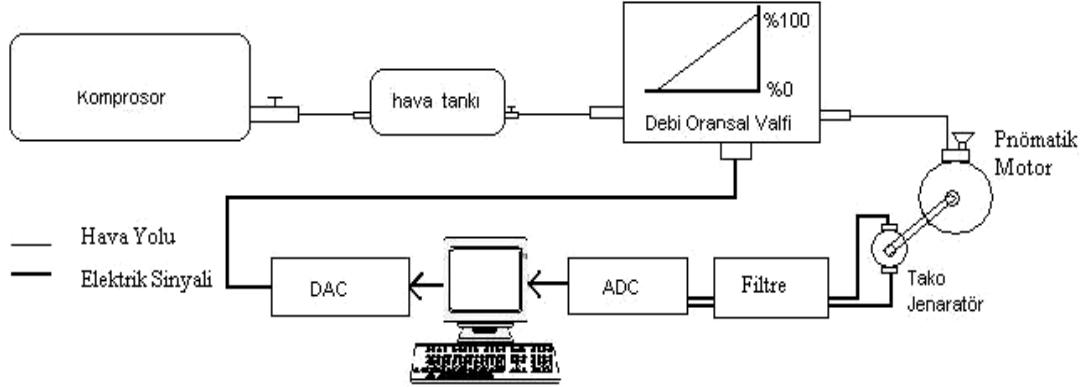
BÖLÜM – IV

GENETİK – BULANIK KONTROLÖR TASARIMI

Bu bölümde pnömatik motorun hız kontrolü için tasarlanan kontrolörlerin yapısı anlatılacaktır. Öncelikle tasarlanan pnömatik kontrol sistemin donanımsal yapısı anlatılacak, ardından kullanılan GAST firmasına ait 2AM-NCW-7B tipi dönel tip pnömatik motorunun davranışları belirlemek üzere yapılan çalışmalar verilecektir. Pnömatik motorun hız kontrolünü yönelik oluşturulan yörünge takipli bulanık kontrolör tasarımı anlatılacaktır. Genetik-bulanık kontrolör tasarımı için öncelikle pnömatik motorun modelinin çıkartılması gerekmektedir. Bu amaçla yapay sinir ağı yardımıyla pnömatik motorun modellenmesi yapılarak genetik-bulanık kontrolör tasarımına geçilecektir.

IV.1 PNÖMATİK SİSTEMİN DONANIMSAL YAPISI

Tasarımı gerçekleştirilen pnömatik sistemin şematik gösterimi Şekil-IV.1 de görülmektedir.



Şekil-IV.1 Gerçekleştirilen Pnömatik sistemin şematik gösterimi

Pnömatik sistemi oluşturan temel elemanlar aşağıdadır:

1. Kompresör
2. Hava Tankı
3. Debi Oransal Valf
4. Pnömatik Motor
5. DC Tako motor
6. Bilgisayar
7. Advantech PCI 1711 ADC/DAC Kartı

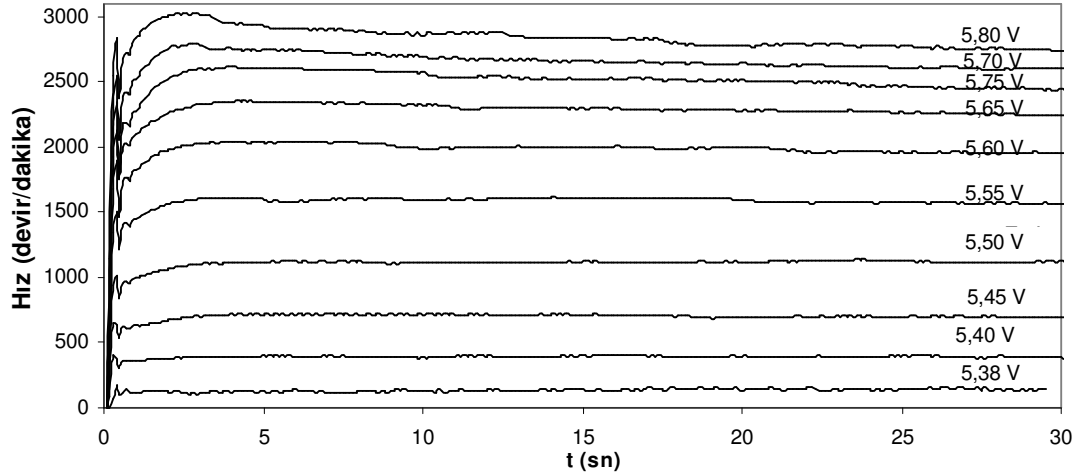
Pnömatik sistemimize basınçlı hava, Dalgakıran firmasına ait DKÇ200 tek kademeli pistonlu kompresör ile temin edilmektedir. Kompresör, 6 bar basınç değerine kadar çalışmakta ve bu değere ulaşıldığında kompresör motoru devreden çıkarılmaktadır. Kullanılan havanın basınç değeri 5 bar'a kadar düştüğünde kompresör tekrar devreye girmektedir. Sistemde kullanılan hava tankı, GAST firmasına ait 2AM-NCW-7B tipi pnömatik motoru besleyen basınçlı havadaki dalgalanmaları gidermek için eklenmiştir. Elde edilen basınçlı hava pnömatik motora FESTO firmasına ait MPYE–5 serisi debi oransal valf üzerinden gönderilmektedir. Kullanılan debi oransal valfın çalışma eğrisi Şekil-II.6 da görülmektedir. Debi oransal valf, üretilen kontrol sinyalinin değerine göre havanın debisini değiştirmektedir. Böylece pnömatik motorun hızı, pervane kanatçıklarına etki eden basınçlı hava miktarına göre değiştirilebilmektedir. Kullanılan pnömatik motor tek yönlü dönen tip

pnömatik motordur. Kullanılan debi oransal valfin 2 no'lu çıkış portu kullanılmakta ve 5.2V – 6V kontrol sinyali ile pnömatik motorun hızı kontrol edilmektedir. Kontrolör tarafından üretilen kontrol sinyali Advantech PCI 1711 veri toplama kartı üzerinden debi oransal valfa gönderilir. Pnömatik motorun hız bilgisini elde etmek üzere bir DC motor kullanılmıştır. DC motorun dönmesi sonucu elde edilen gerim değeri bir RC filtre üzerinden geçirilerek veri haberleşme kartı ile okunmaktadır. Okunan bu gerilim değeri bir çarpanla hız bilgisine çevrilmektedir. Pnömatik motorun hız kontrolü için üretilen kontrol işareti yazılım yoluyla gerçekleştirilen bir BMD' den elde edilmektedir. Bu kısım yazılımsal bölümde açıklanacaktır.

Gerçekleştirilen pnömatik sistemimize ait resimler EK-C de verilmiştir.

IV.2 PNÖMATİK MOTORUN DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

Bulanık kontrolör tasarımına geçmeden önce kontrol edilecek sistemin davranışının belirlenmesi gerekmektedir. Pnömatik motor ve debi oransal valf' den oluşan pnömatik sistemin davranışını belirlenmesi için, kompresör değeri 6 bar'a ayarlanıp sistem değişik kontrol sinyalleri altında açık çevrim çalıştırılarak pnömatik motorun hızı incelenmiştir. Şekil-IV.2 de bu çalışmaya ait grafik verilmiştir.



Şekil-IV.2 Pnömatik motorun değişik kontrol sinyalleri altında açık çevrim cevabı

Şekil-IV.2 de görüldüğü üzere sisteme uygulanan kontrol işareti arttıkça motor hızı da artmaktadır. 5.38V kontrol işareti değerinde motor hızı 100 dev/dak ulaşırken, 5.80 V değerinde motor maksimum hızı olan 3000 dev/dak ulaşmaktadır. Uygulamalardan da görüldüğü gibi debi oransal valfa uygulanan kontrol sinyalindeki

0.42 V 'luk değışmeler pnömatik motorun hızında 2900 dev/dak 'lık değışimlere neden olmaktadır.

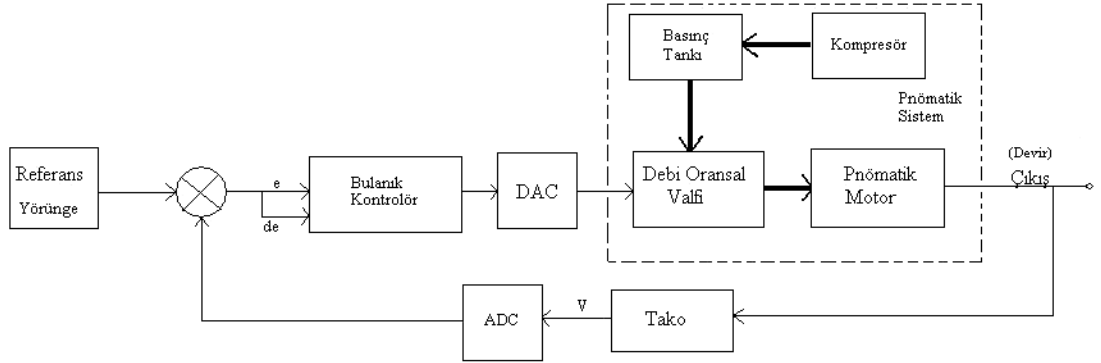
Pnömatik motorun hızı arttığında hava tüketim hızı da artmaktadır. Pnömatik sistemler de kullanılan havanın dışarı atılmasında dolayı beslemedeki hava miktarı azalmakta buda pnömatik motorun hızı üzerine azaltıcı yönde bozucu etki olarak görölmektedir. Pnömatik motorun göstermiş olduğu bu davranışını bulanık kontrolör tasarımı yapılırken göz önünde tutulmuştur.

IV.3 SİSTEMİN YAZILIMSAL YAPISI

Gerçekleştirdiğimiz yazılım üç kısımdan oluşmaktadır. İlk kısımda tasarlanan bulanık kontrolör, ikinci kısım olarak yapay sinir ağı kullanarak pnömatik sistemin modelinin yerine geçmek üzere elde edilen yapay sinir ağı modeli ve kullanılan bulanık kontrolörün aksiyon ağırlık değerlerini bulması için tasarlanan genetik aloritmadan oluşmaktadır. Yazılımda bulunan bu üç kısım sırasıyla incelenecektir.

IV.3.1 Bulanık Kontrolör Tasarımı

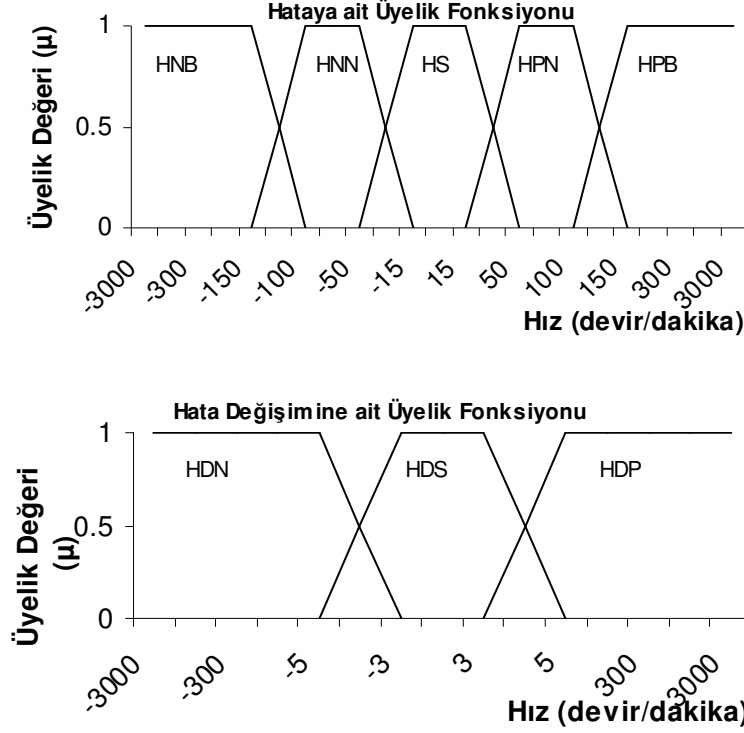
Bulanık kontrolör yardımı ile kontrolü gerçekleştirilecek pnömatik sistemin blok diyagramı Şekil-IV.3 de verilmiştir.



Şekil-IV.3 Kontrolü Yapılacak Pnömatik Sistemin Blok Diyagramı

Sistemde pnömatik motorun hızı tanımlanan bir yörüngeyi takip edebilecek şekilde kontrol edilecektir. Sugeno tipi bulanık kontrolün girişleri için istenilen yörüngeli referans değerine göre hız hatası ve hız hatasındaki değışim girişleri alınmıştır. Hız hatası için 5 adet trapez üyelik fonksiyonu, hız hata değışimi için 3 adet trapez üyelik fonksiyonu oluşturulmuştur. Şekil-IV.4 de oluşturulan trapez tipi

üyelik fonksiyonları sınır değerleri ile verilmiştir. Bulanık kontrolörün kural tabanını oluşturmak üzere 15 adet kural yazılmıştır. Yazılan bu kurallar Tablo-IV.1 de verilmiştir. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen verilere göre oluşturulan aksiyon ağırlık değerleri ise Tablo-IV.2 de verilmiştir.



Şekil-IV.4 Hataya ve hata değişimine ait üyelik fonksiyonları

Tablo-IV.1 Bulanık Kontrolör kural tabanı

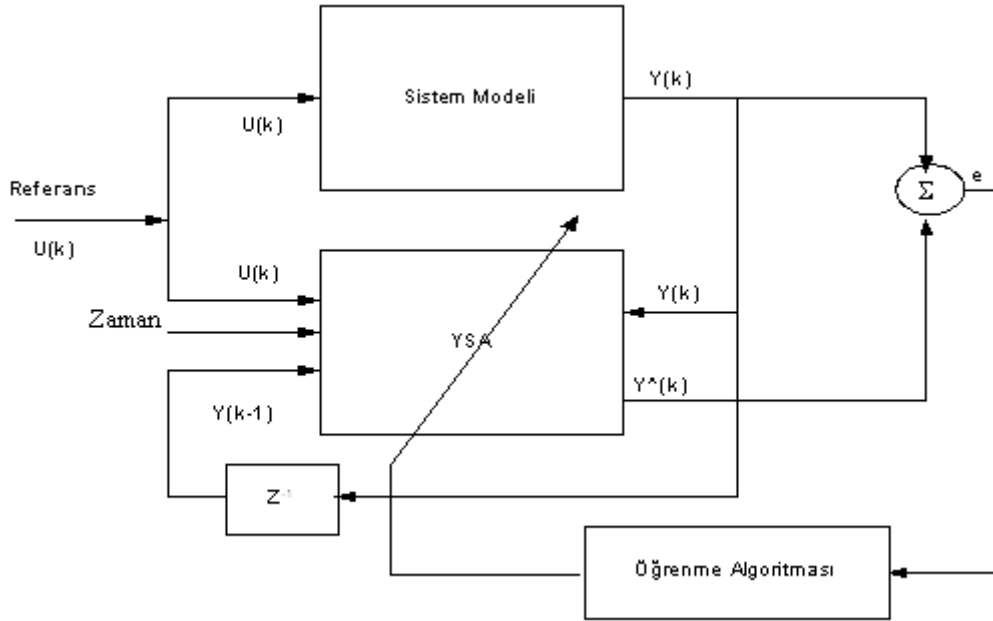
Kural-1	Hata	HNB ve	Hata Değişimi	HDN ise	Kontrol Sinyali = -0,002
Kural-2	Hata	HNB ve	Hata Değişimi	HDS ise	Kontrol Sinyali = -0,0015
Kural-3	Hata	HNB ve	Hata Değişimi	HDP ise	Kontrol Sinyali = -0,006
Kural-4	Hata	HNN ve	Hata Değişimi	HDN ise	Kontrol Sinyali = -0,001
Kural-5	Hata	HNN ve	Hata Değişimi	HDS ise	Kontrol Sinyali = -0,00125
Kural-6	Hata	HNN ve	Hata Değişimi	HDP ise	Kontrol Sinyali = -0,0025
Kural-7	Hata	HS ve	Hata Değişimi	HDN ise	Kontrol Sinyali = -0,0001
Kural-8	Hata	HS ve	Hata Değişimi	HDS ise	Kontrol Sinyali = 0
Kural-9	Hata	HS ve	Hata Değişimi	HDP ise	Kontrol Sinyali = 0,0015
Kural-10	Hata	HPN ve	Hata Değişimi	HDN ise	Kontrol Sinyali = 0,001
Kural-11	Hata	HPN ve	Hata Değişimi	HDS ise	Kontrol Sinyali = 0,00125
Kural-12	Hata	HPN ve	Hata Değişimi	HDP ise	Kontrol Sinyali = 0,0025
Kural-13	Hata	HPB ve	Hata Değişimi	HDN ise	Kontrol Sinyali = 0,002
Kural-14	Hata	HPB ve	Hata Değişimi	HDS ise	Kontrol Sinyali = 0,002
Kural-15	Hata	HPB ve	Hata Değişimi	HDP ise	Kontrol Sinyali = 0,004

Tablo-IV.2 Bulanık Kontrolör Aksiyon Ağırlık Değerleri

Δe \ e	HNB	HNN	HS	HPN	HPB
HDN	-0.002	-0.0015	-0.006	-0.001	-0.00125
HDS	-0.0025	-0.0001	0	0.0015	0.001
HDP	0.00125	0.0025	0.002	0.002	0.004

IV.3.2 Sistemin Yapay Sinir Ağı Yardımıyla Modellenmesi

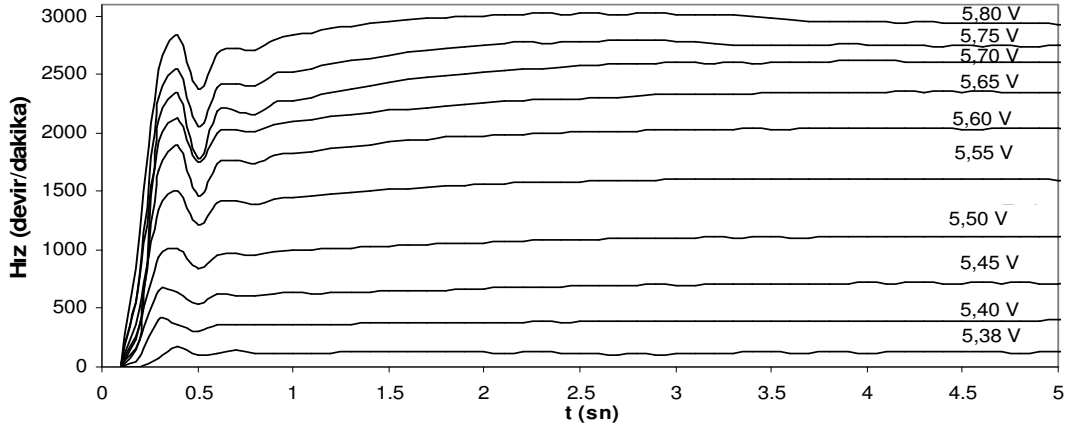
Bu çalışmada; YSA, pnömatik motor ve debi oransal valf den oluşan pnömatik sisteme verilen kontrol işaretine karşılık pnömatik motorun gösterdiği hız davranışını modellemek amacıyla Şekil-IV.5 de gösterilen modele dayanan bir yapı oluşturulmuştur. YSA 'nın tasarımı dört işlemi içermektedir. Bu işlemler; verinin toplanması, verinin normalleştirilmesi, YSA yapısının seçilmesi ve eğitimidir.

**Şekil-IV.5** Pnömatik motorunun YSA ile modellenmesi

IV.3.2.1 Verinin Toplanması

YSA 'da giriş veri seti olarak pnömatik motorun açık çevrim altında farklı kontrol sinyallerinin 5 saniye boyunca uygulanması sonucu elde edilen hız bilgileri kullanılmıştır. Elde edilen bu bilgiler Şekil-IV.5 de görülmektedir. YSA modelinde sistem için giriş işareti, referans giriş $U(k)$, çıkış işareti $Y(k)$, sistem çıkışı $Y(k-1)$ den

elde edilen veri setinden oluşturulmuştur. YSA 'nın çalışmasından elde edilen verilerin bir kısmı Tablo-IV.3 de verilmiştir.



Şekil-IV.5 Pnömatik motorunun giriş / çıkış cevabı

Tablo-IV.3 Pnömatik Motor için örnek YSA veri seti

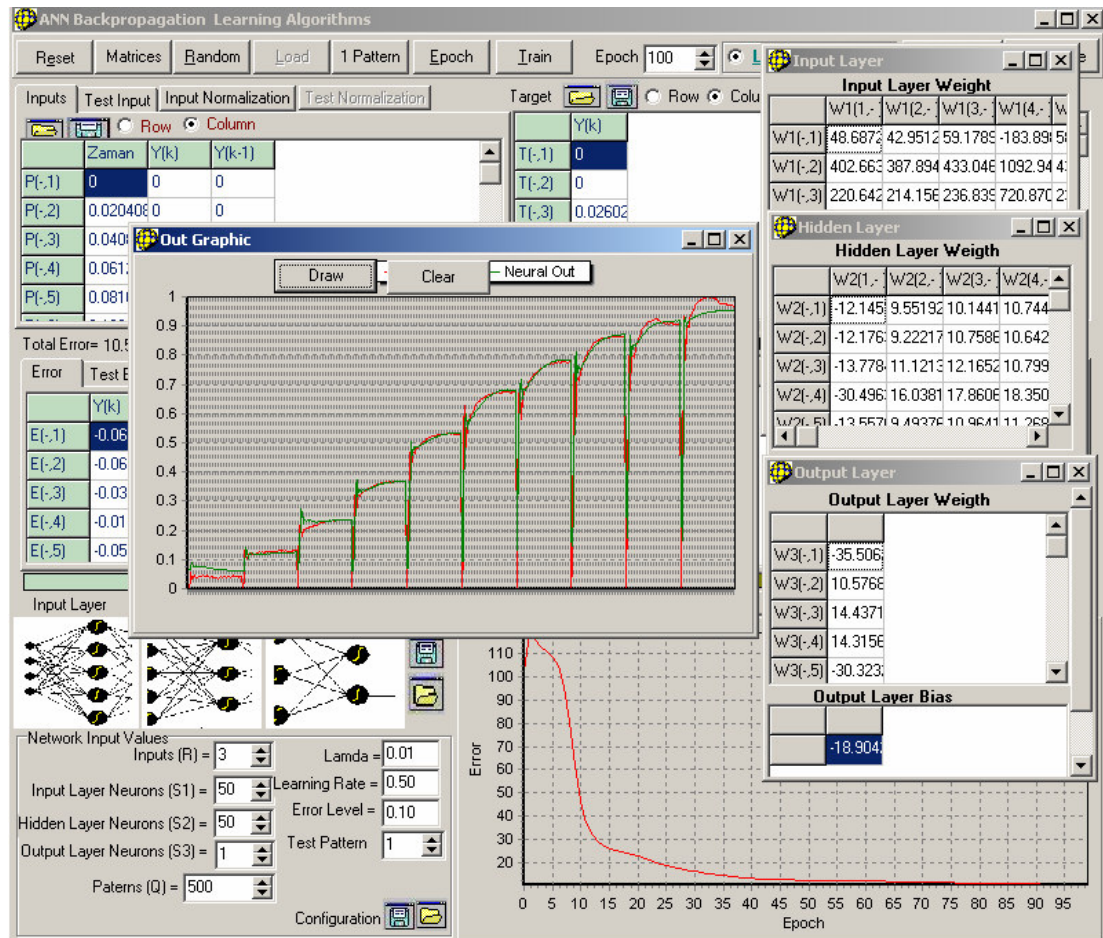
Giriş			Hedef	Giriş			Hedef
t (sn)	U (k)	y(k-1)	y(k)	t (sn)	U (k)	y(k-1)	y(k)
0.1	5.38	0	0	1.4	5.38	124.76	126.41
0.2	5.38	0	0	1.5	5.38	126.41	136.29
0.3	5.38	0	78.813	1.6	5.38	136.29	135.25
0.4	5.38	78.813	171.1	1.7	5.38	135.25	132.37
0.5	5.38	171.1	99.759	1.8	5.38	132.37	137.16
0.6	5.38	99.759	118.11	1.9	5.38	137.16	135.18
0.7	5.38	118.11	137.82	2	5.38	135.18	129.67
0.8	5.38	137.82	114.12	2.1	5.38	129.67	119.11
0.9	5.38	114.12	119.9	2.2	5.38	119.11	129.98
1	5.38	119.9	118.16	2.3	5.38	129.98	124.28
1.1	5.38	118.16	122.03	2.4	5.38	124.28	115.24
1.2	5.38	122.03	122.91	2.5	5.38	115.24	119.77
1.3	5.38	122.91	124.76	2.6	5.38	119.77	115.02

IV.3.2.2 Verinin Normalleştirilmesi

Verinin normalleştirme işlemi, veri setini oluşturan sayıların nümerik hesaplama işlemlerinde doğruluğu artırmak için yapılan bir ölçeklemedir. Bu YSA 'nın eğitimi için önemli bir aşamadır. Ayrıca normalleştirme aktivasyon fonksiyonunun şekline de yardımcı olur. Bu nedenle normalleştirme fonksiyonu kullanılmıştır.

IV.3.2.3 YSA Mimarisinin Seçilmesi

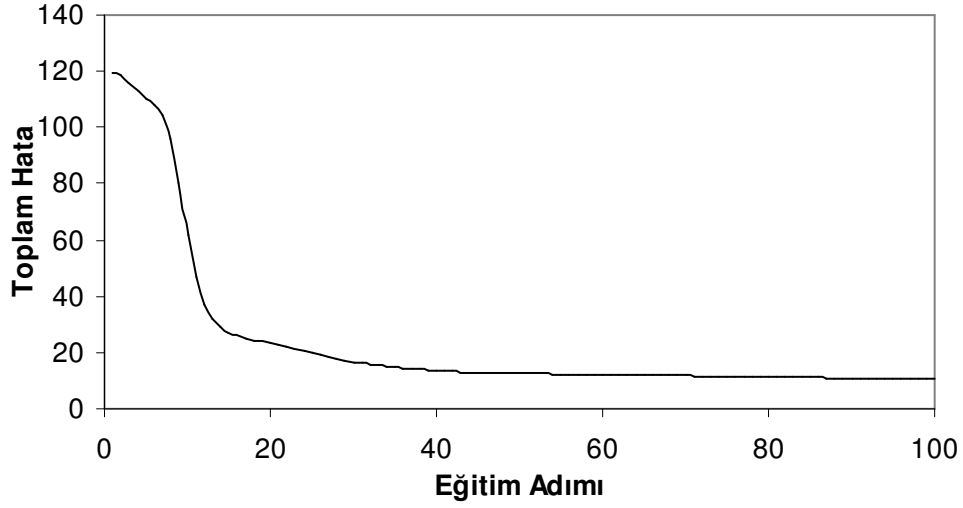
Bu YSA modeli için, ileri yönlü besleme modeline dayanan ve eğitim için geriye doğru hata yayılma algoritmasını kullanan 3 katmanlı bir YSA oluşturulmuştur. Gerçekleştirilen bu YSA 'da giriş sayısı 3 ve çıkış sayısı 1 adettir. Bu YSA 'da birinci katmanda ve gizli katmanda 50 adet, çıkış katmanında ise 1 adet nöron kullanılmış ve her katmanda sigmoid aktivasyon fonksiyonları seçilmiştir. Oluşturulan YSA 'nın ekran görüntüsü Şekil-IV.6 da görülmektedir.



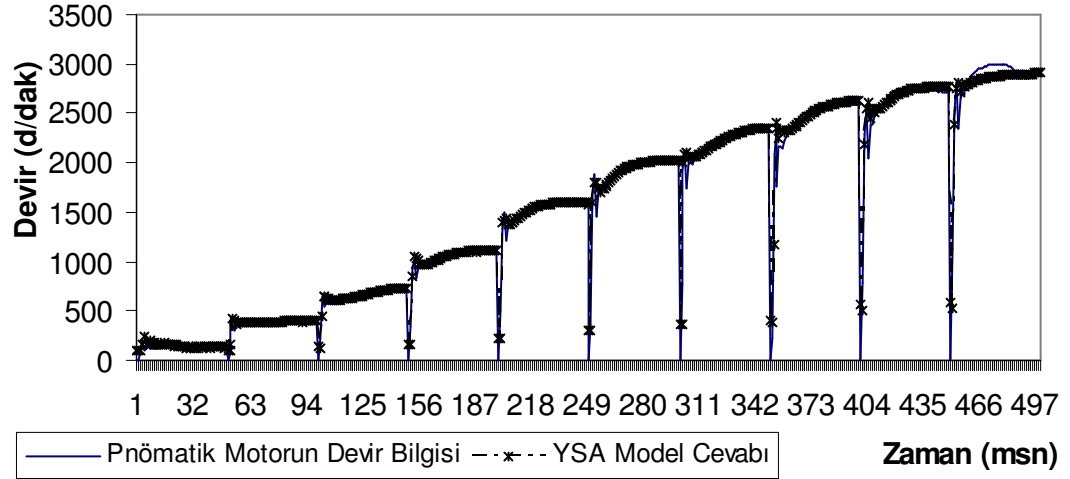
Şekil-IV.6 Kullanılan YSA'nın ekran görüntüsü

IV.3.2.4 YSA'nın Eğitimi

Bu şekilde oluşturulan YSA, 100 adım çalıştırılmıştır. Eğitim adımları boyunca hatanın değişimi Şekil-IV.7 de görülmektedir. 100. adım sonunda toplam hata 7.6 değerine ve RMSE hata %1.5 değerine düştüğünden eğitime son verilmiştir. Eğitim sonunda sistem ve YSA çıkışı Şekil-IV.8 de görülmektedir. Buradan görüldüğü gibi eğitim sonunda YSA'nın çıkışı ve sistemin çıkışı birbirlerine oldukça benzerdir.

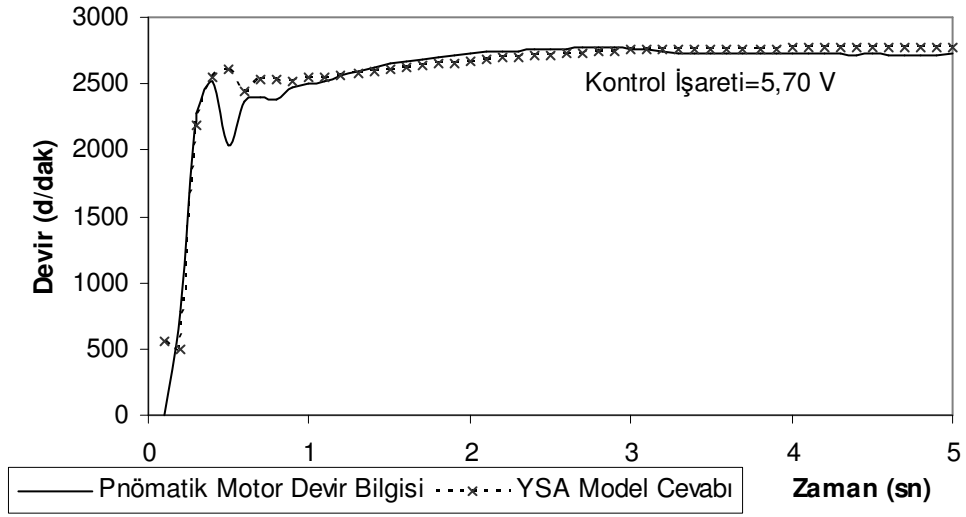
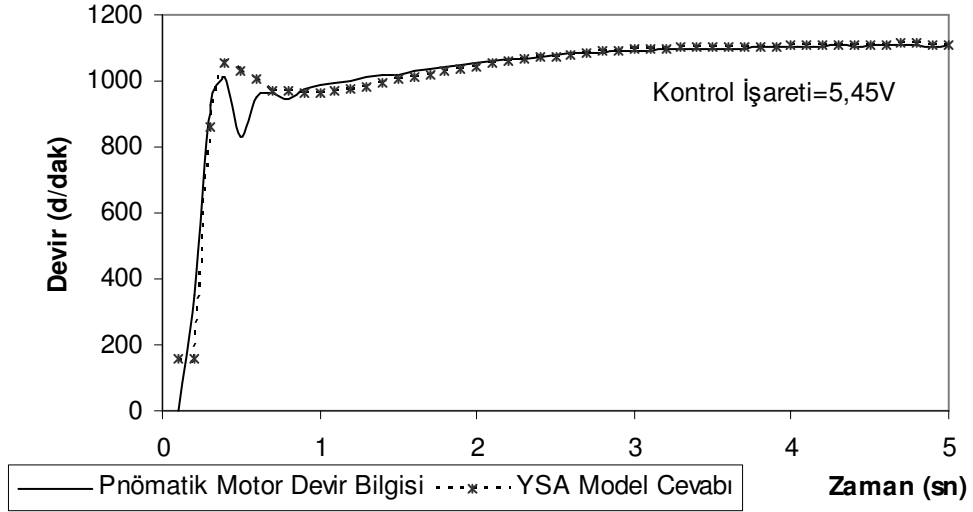


Şekil-IV.7 Eğitim boyunca hata değişim eğrisi



Şekil-IV.8 Sistem ile YSA'nın çıkış grafiği

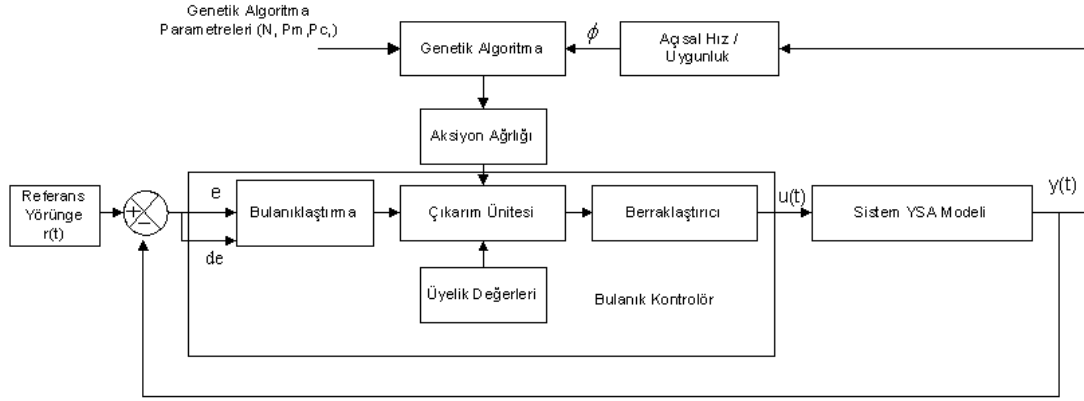
Şekil-IV.9 de ise pnömatik sisteme uygulanan 5,45V ve 5,70V kontrol sinyali altında pnömatik motor hızı değişimi ile eğitimin sonucu YSA modelin çıkış grafikleri verilmiştir. Grafiklerden de görüleceği üzere YSA çıkışı, pnömatik sistemin çıkışına benzemektedir. Bu şekilde elde edilen YSA modeli, genetik bulanık kontrolör tasarımı aşamasında pnömatik sistemin modeli yerine kullanılmıştır.



Şekil-IV.9 Sistem çıkışı ile YSA çıkışı (tek adım)

IV.3.3 Genetik Algoritma Destekli Bulanık Kontrolör Tasarımı

Bu bölümde, aksiyon ağırlık değerleri genetik algoritma tarafından bulunan bir bulanık kontrolörün tasarlanması açıklanacaktır. Şekil-IV.10 da böyle bir kontrolörün yapısı görülmektedir.



Şekil-IV.10 Genetik Algoritma ile Bulanık Kontrol Parametrelerinin Oluşturulması.

Böyle bir kontrol sistemini gerçekleştirmek için 3 önemli problemin çözülmesi gerekir. Bunlar:

- 1-) Kullanılacak genetik operatörlerin belirlenmesi,
- 2-) Bulanık parametrelerin genetik olarak kodlanması,
- 3-) Sistem çıkış performansının genetik algoritma uygunluk değerine dönüştürülmesi.

Gerçekleştirdiğimiz Genetik Algoritma programının ekran görüntüsü Şekil-IV.6 da görülmektedir.

IV.3.3.1 Kullanılan Genetik Operatörler

Bölüm-II de belirtildiği gibi genetik algoritmada temel olarak popülasyon büyüklüğü, çaprazlama, mutasyon ve seçim gibi genetik operatörler kullanılır. Gerçekleştirdiğimiz sistemde kullanış olduğumuz genetik operatörler ve değerleri şöyledir:

Popülasyon büyüklüğü: Genetik algoritmada popülasyon büyüklüğünün performansı oldukça etkilediği bilinmektedir. Popülasyon büyüklüğünün çok yüksek değerlerinde bilgisayarın işlem gücü ve sonuç bulma zamanı oldukça artmakta, çok küçük popülasyon değerlerinde ise genetik algoritma istenilen sonucu

bulamamaktadır. Bu yüzden farklı deneyler yapılmış ve en uygun popülasyon büyüklüğü olarak N=30 seçilmiştir.

Çaprazlama: Tek noktadan çaprazlama operatörü kullanılmıştır. Çaprazlama operatörünün olasılık değeri yapılan deneyler sonucunda $P_c = 0.9$ olarak tespit edilmiştir.

Mutasyon: Bit mutasyon operatörü kullanılmıştır. Mutasyon operatörünün olasılık değeri de yapılan deneyler sonucunda $P_m = 0.01$ olarak tespit edilmiştir.

Üreme: Gerçekleştirmiş olduğumuz genetik algoritma yapısında bütünüyle yer değiştirme üreme operatörü kullanılmıştır. Bu üreme yöntemine ilave olarak Elistik model kullanılmıştır. Kullanılan Elistik model ile genetik algoritmanın performansının oldukça arttığı gözlenmiştir

Seçim: Seçim operatörü için Rulet çarkı ve Turnuva yöntemleri kullanılmıştır. Yapılan deneylerde Turnuva yönteminin performansının daha iyi olduğu gözlenmiştir. Fakat çok yüksek turnuva büyüklüğü değerlerinde (popülasyon büyüklüğüne eşit olduğunda) genetik algoritmanın doyuma gittiği gözlenmiştir. Deneyler sonucunda bulunan değerler literatürdeki benzer çalışmalarla uygunluk göstermektedir.

IV.3.3.2 Bulanık Parametrelerin Genetik Olarak Kodlanması

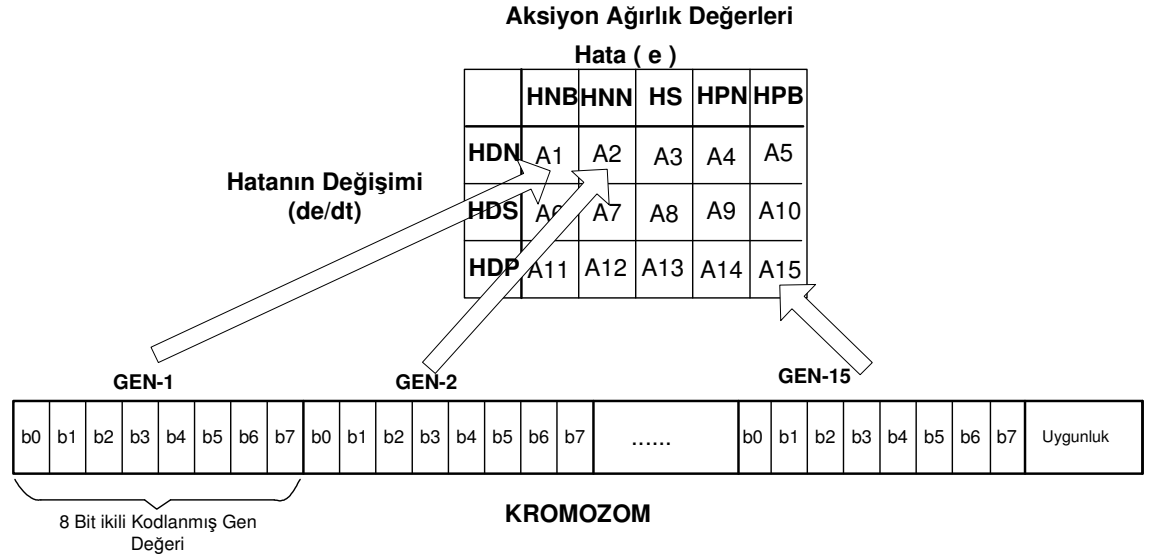
Genetik algoritma çözülecek problemin kendisi ile değil kodlanmış şekli üzerinden işlem yapar. Dolayısıyla çözülecek problemin kodlanma biçimi, genetik algoritma performansı üzerinde oldukça önemli etki yapar. Gerçekleştirdiğimiz çalışmada, literatürde en yaygın olarak kullanılan Ağırlıklı İkili Kodlama (Weighted Binary Code) biçimi kullanılmıştır. Bu kodlama biçiminde, bütün parametreler ikili kodlanmış bir dizi şeklinde değerlendirilir. Bir gerçel sayının ikili kodlanması Denklem-IV.1 'de gösterilmiştir.

$$x_{Real} = x_{min} + \frac{x_{max} - x_{min}}{2^L - 1} \left(\sum_{i=0}^{L-1} b[i] * 2^{L-i-1} \right) \quad (IV-1)$$

Burada x_{min} : gerçel sayının min değeri, x_{max} : gerçel sayının maksimum değeri, L:dizi boyu, olarak verilmiştir.

Tasarladığımız bulanık kontrolör Sugeno tipinde bir kontrolördür. Buna göre oluşturulan kromozom yapısı Şekil-IV.11 de verilmiştir. Burada; $A_1, A_2 \dots A_n$ değerleri gerçel sayılardır ve aksiyon ağırlıklarını verirler. Kural ağırlık tablosunda

toplam 15 adet kural ağırlığı vardır. Böylece bütün ağırlıkları kodlamak için, ağırlığı 8 bitlik ikili bir dizi ile kodlanarak 120 bitlik ikili bir dizi oluşturulur.



Şekil-IV.11 Genetik Algoritmada Kullanılan Kromozom Yapısı

IV.3.3.3 Sistem Çıkışının Genetik Algoritma Uygunluk Değerine Dönüştürülmesi

Gerçekleştirilen kontrol sistemi bir yörünge kontrol sistemi olduğu için, sistem çıkışını genetik algoritma uygunluk değerine dönüştürmek için literatürde kullanılan yaklaşımlardan farklı olarak, yörünge boyunca oluşabilecek bütün hataları dikkate alan bir uygunluk fonksiyonu oluşturulmuştur. Denklem-IV.2 de oluşturulan uygunluk fonksiyonu verilmiştir.

$$\phi = \frac{1}{\sum_{t=0}^{t_{\max}} |Y_t - R_t|} \quad (\text{IV-2})$$

Burada ϕ : uygunluk değeri, $t_{\max}$: yörünge süresi, Y: sistem çıkışı, R: istenen yörünge çıkışıdır.

Bulunan genetik parametrelere göre genetik algoritma 300 generasyon çalıştırıldığında $\phi=0.98$ uygunluk değerine erişilmiştir. Bu işlem sonucunda bulunan aksiyon ağırlık değerleri Tablo-IV.4 de görülmektedir.

Tablo-IV.4 Genetik Algoritma Tarafından bulunulan aksiyon Ağırlık Değerleri.

Δe \ e	HNB	HNN	HS	HPN	HPB
HDN	-0.0035546875	-0.006875	-0.0060546875	-0.001484375	-0.0078125
HDS	-0.86328125	-0.1875	0	0.21875	0.00371093
HDP	0.0040234375	0.00207031	0.000390625	0.0094140625	0.00746093

IV.3.4 Sistemin Yazılım Yapısı

Gerçekleştirilen program Delphi 7 programlama dili ile yazılmıştır. Bu programın kaynak kodları Ek-D 'de CD içinde verilmiştir. Yazılım üç aşamadan oluşmaktadır. Bunlar;

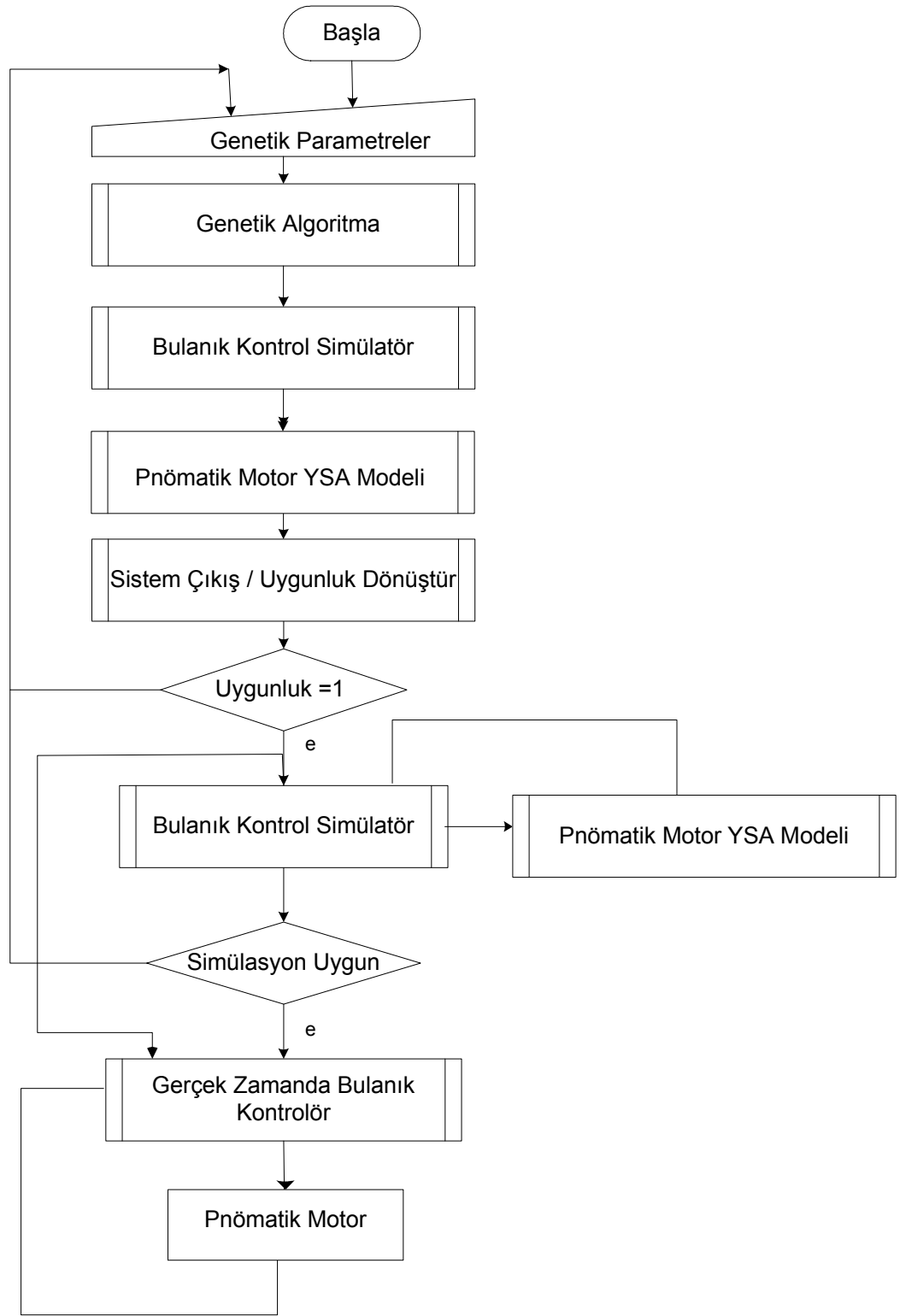
- Genetik- Bulanık kontrolör
- Bulanık kontrolör simülatörü
- Bulanık kontrolör

Programın akış diyagramı Şekil-IV.12 de, üç aşamanın ilişkileri Şekil-IV.13 de görülmektedir.

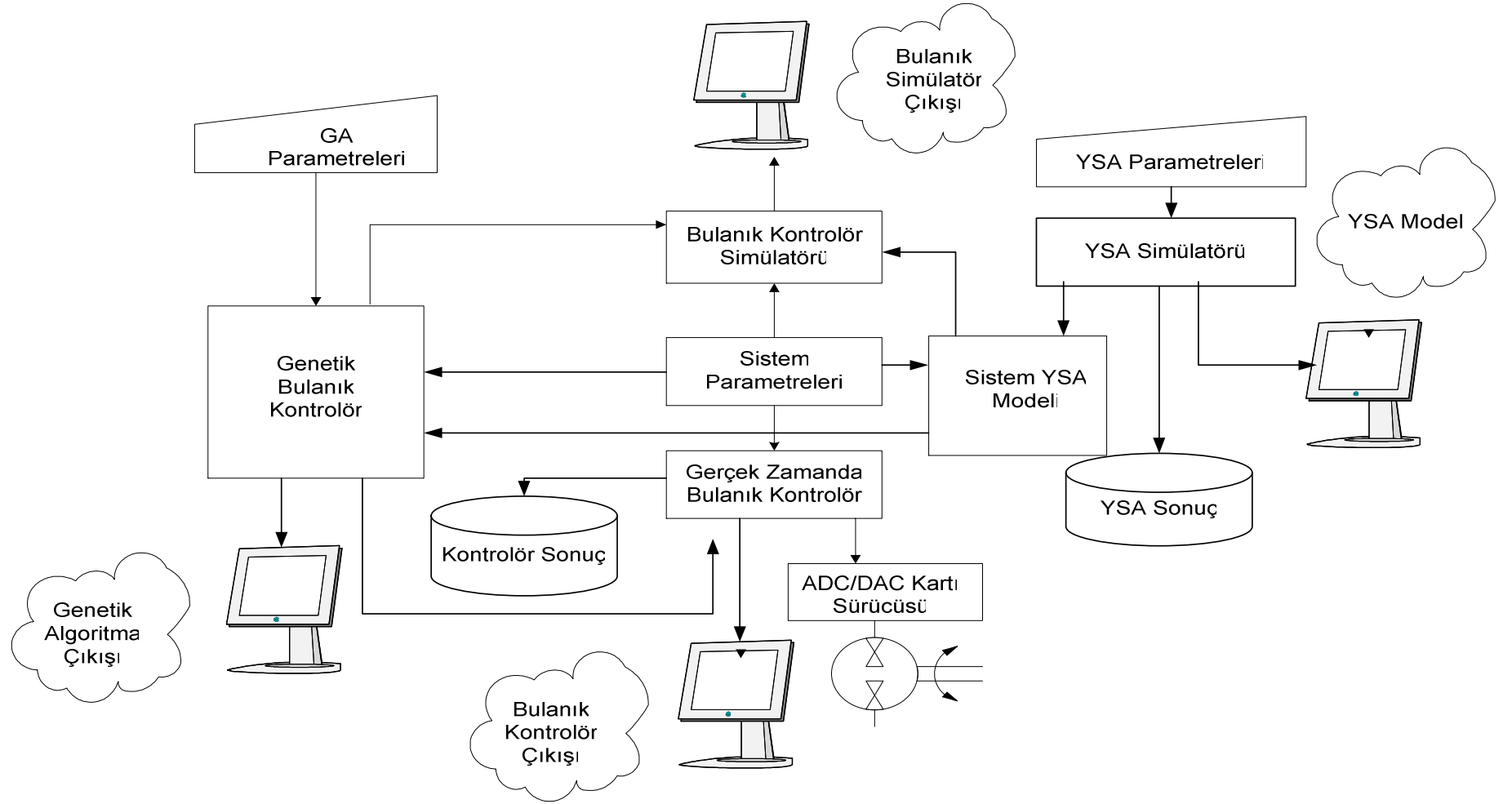
Programın ana yapısı, genetik bulanık kontrolör oluşturur. Bu ünite, pnömatis motorun YSA modelini kullanarak istenilen kontrol parametrelerine bağlı olarak "1" uygunluk değerini bulduğunda veya maksimum generasyon değerine sayısına ulaşıldığında sonuç verir. Buradan elde edilen bulanık kontrolör aksiyon ağırlık değerleri bulanık kontrolör simülatörü veya bulanık kontrolöre yüklenir.

Programın ikinci kısmını bulanık kontrol simülatörü oluşturmaktadır. Bu simülatör ait aksiyon ağırlık değerleri, genetik bulanık kontrolör tarafından bulunan kromozomun değerinden elde edilir. Kullanıcı, isterse bu aksiyon ağırlık değerlerini veya kendi ağırlık aksiyon değerlerini kullanabilir. Bu kısım ile elde edilen değerlerin gerçek zamanlı kontrolden önce değerlendirmek ve incelemek için geliştirilmiştir.

Programın üçüncü kısmında, gerçek zamanda çalışan bir bulanık kontrolör bulunmaktadır.



Şekil-IV.12 Programın akış diyagramı



Şekil-IV.13 Programın İlişkisel Diyagramı

Programın birinci kısmında kullanılan genetik algoritma, Bölüm-III.7 'de açıklanan ve akış diyagramı Şekil-III.12 'de verilen SGA (Simple Genetic Algorithm) modelini kullanır. Burada kullanılan genetik operatörler Bölüm IV.3.3.1 de detaylı olarak açıklanmıştır. Bulanık kontrolörü genetik algoritma ile tasarlarken, pnömatik sistem YSA ile modellenmiştir. Genetik algoritma, Sugeno tipindeki bulanık kontrolör ile aksiyon ağırlık değerlerini bulmaya çalışır. Bu amaç için, genetik algoritma içine gömülmüş bir bulanık kontrolör simülatör ve sistemin YSA ile gerçekleştirilen modeli vardır. Geliştirilen genetik bulanık kontrolörün akış diyagramı Şekil-IV.14 de görülmektedir.

IV.4 EĞİTİM AMAÇLI KULLANIM

Gerçekleştirilen pnömatik sistem ve yazılan program eğitim amaçlı kullanılması amaçlanmıştır. Kullanıcı, genetik algoritma, bulanık kontrolör, bulanık simülatör ve sistem parametrelerini değiştirebilmektedir. Bu şekilde gerçekleştirilen sistem Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Elektronik Bilgisayar Eğitimi bölümünde lisans ve lisansüstü düzeyindeki bazı derslerde kullanılabilir.

Pnömatik dersinde öğrenciler, pnömatik sistemleri incelenmesini ve pnömatik motor konusunda uygulama yapabilirler.

Kontrol dersinde öğrenciler, bulanık mantık, genetik algoritma ve YSA ile sistem modellemesi yapabilirler. Pnömatik sistemler üzerinde kontrol gerçekleştirilebilirler.

Gerçekleştirilen program görsel bir ara yüze sahiptir ve elde edilen sonuçlar kullanıcı tarafından grafiksel olarak irdelenebilmektedir. Gerçekleştirilen programda kullanıcı tarafından ayarlanan parametreler;

Genetik Algoritma parametreleri

- Maksimum generasyon büyüklüğü
- Popülasyon büyüklüğü
- Mutasyon olasılığı
- Çaprazlama olasılığı
- Seçim yöntemi
- Elistik model

Sisteme ait parametreler

- DAQ değerleri
- Simülasyon süresi
- Kalıcı hal hatası

Bulanık Simülâtöre ait parametreler

- Referans giriş değeri
- Devir giriş değeri
- Simülasyon süresi
- Gecikme zamanı
- Aksiyon ağırlık değerleri

Bulanık Kontrolöre ait parametreler

- Devir giriş bilgisi
- Gecikme zamanı
- Aksiyon ağırlık değerleri

Tablo-IV.5 Gerçekleştirilen sistemin örnek olarak ders müfredatlarında kullanılabilirliği

Bilgisayar Programlama 4	Nesneye Dayalı Programlama, Nesneye Dayalı Tasarım, Turbo Pascal Nesneleri, Dinamik Nesneler, Bağlantılı Liste Nesneleri, Genel Programlama Hataları.	— Gerçekleştirilen programın nesne modelinin ve algoritma yapısının geliştirilmesi.
Bulanık Mantık	Uzman sistemler, Bulanık mantık, Bulanık Kümeler, Bulanık İlişkiler, Üyelik Fonksiyonları, Berraklaştırma Metodları, Bulanık Kontrol, Bulanık Kontrolörün Genel Yapısı, Mamdani Bulanık Modeli, Sugeno Bulanık Modeli,	— Gerçekleştirilen sistem için tasarlanan Bulanık kontrolör, denenip performans kriterlerinin incelenmesi. — Programın Mamdani Bulanık modelinin geliştirilmesi — Sistemin performansının klasik yöntemlerle tasarlanan Bulanık kontrolör ile karşılaştırılması.
Pnömatik	Debi Oransal Valfler, Pnömatik Motorlar	— Debi oransal valflerin incelenmesi - Pnömatik motorların incelenmesi

Delphi 7 programlama dili kullanarak yazılan program ilk çalıştırıldığında Şekil-IV.15 de görülen ekran karşımıza gelmektedir.

Hava Motorunun YSA Modelini Kullanarak Bulanık Genetik Kontrolü

Genetik Algoritma | Bulanık Yörünge Denetleyeci | Bulanık Devir Denetleyeci | Yapay Sinir Ağı Model | Sistem Ayarları

	t	u (t)	y (k-1)	y (k)
kucuk	0.1	5.38	0	0
buyuk	5	6.2	3000.1	3000.1

R: 3 Referans Değerler:

S1: 50 Ağırlıklar:

S2: 50

S3: 1

Lamda: 0.01

Giriş Katmanı

	78.2303	78.1401	77.7854	78.3453	78.2673	77.2447	78.0095		
	643.455	669.642	506.911	598.887	635.645	477.731	681.317		
	266.115	273.625	225.285	253.470	263.763	215.011	276.315		

Çıkış Katmanı

	10.4397								
	18.3453								
	17.8632								
	-12.1071								

Gizli Katman

	11.4087	13.7892	13.4718	-7.3728	12.1415	13.9621	11.850		
	12.2387	14.5992	14.7037	-9.1309	12.8812	14.4155	12.067		
	9.3255	10.0084	10.5121	-8.5631	8.5415	9.3578	8.993		

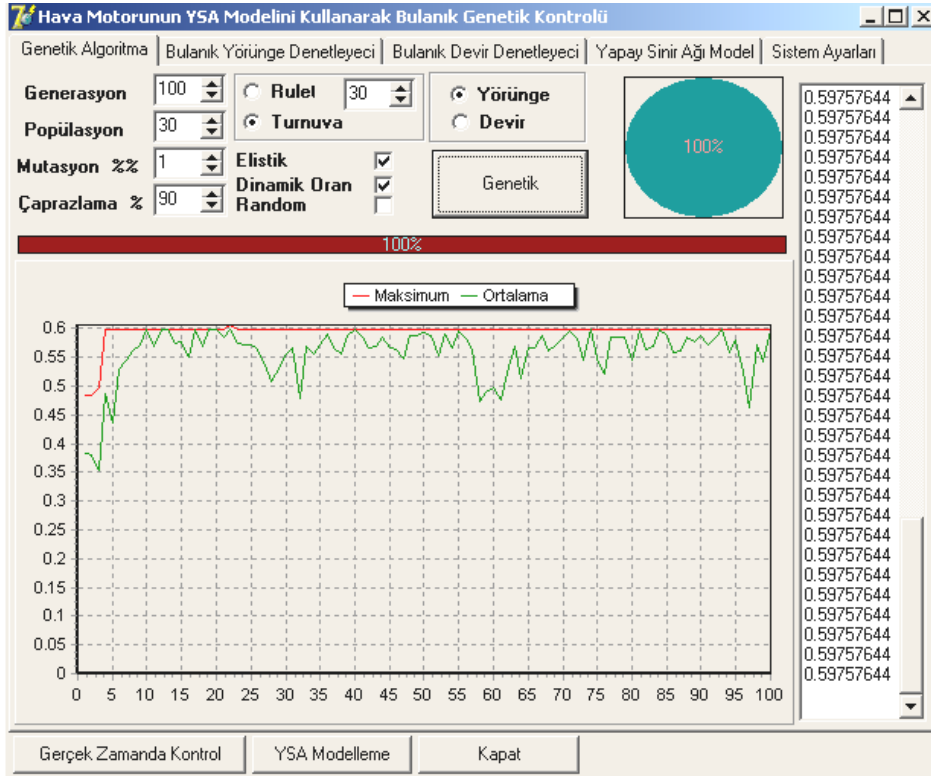
Logsig

Logsig

Gerçek Zamanda Kontrol | YSA Modelleme | Kapat

Şekil-IV.15 YSA Ekran görüntüsü

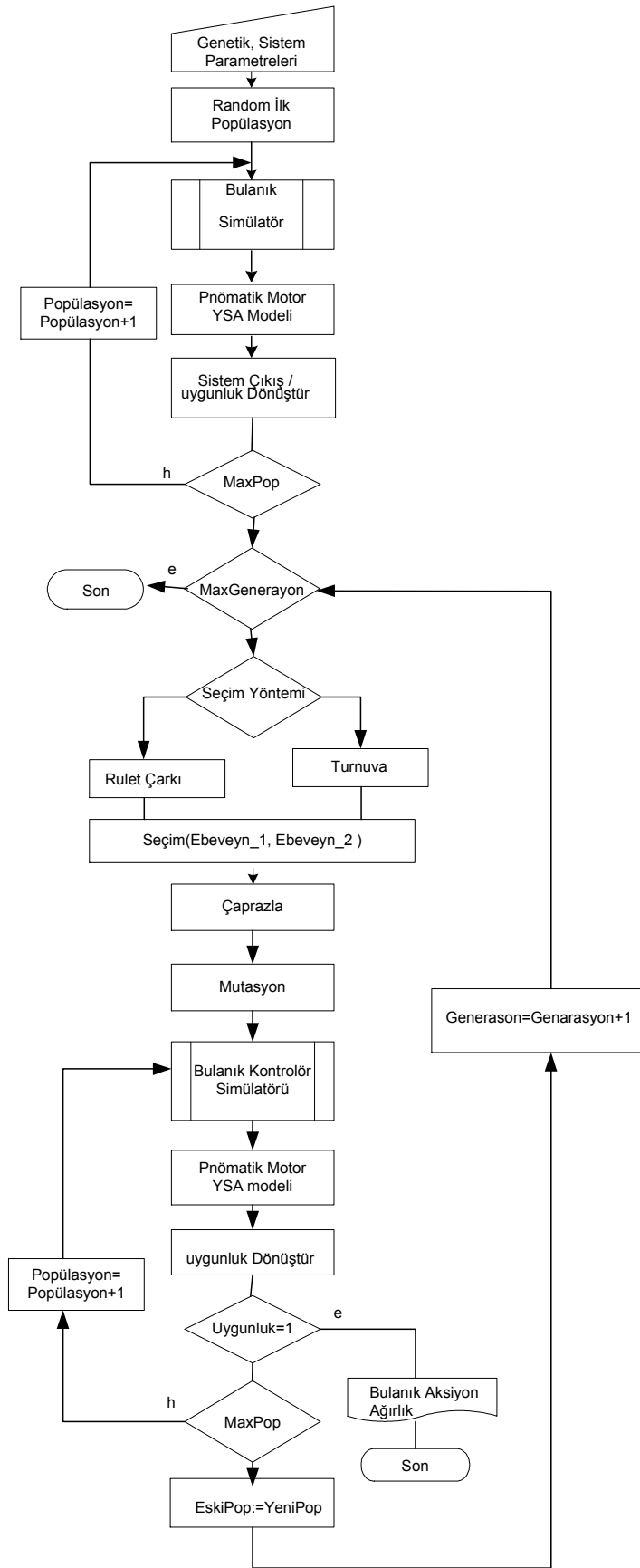
Burada pnömötik sistemin YSA için gerekli ağırlık değerleri girilmektedir. Girilen ağırlık değerleri YSA ile modellemede bulunan ağırlık değerleridir. R değeriyle giriş sayısı girilir. S değeri ile YSA 'da her bir katmanda kullanılan nöron değerleri girilir. Burada girilen değerler YSA ile modellemede kullanılan değerlerle aynı olmak zorundadır. Bu ayarlamalar yapıldıktan sonra Genetik algoritma sekmesi tıklatıldığında karşımıza Şekil-IV.16 deki ekran görüntüsü gelmektedir.



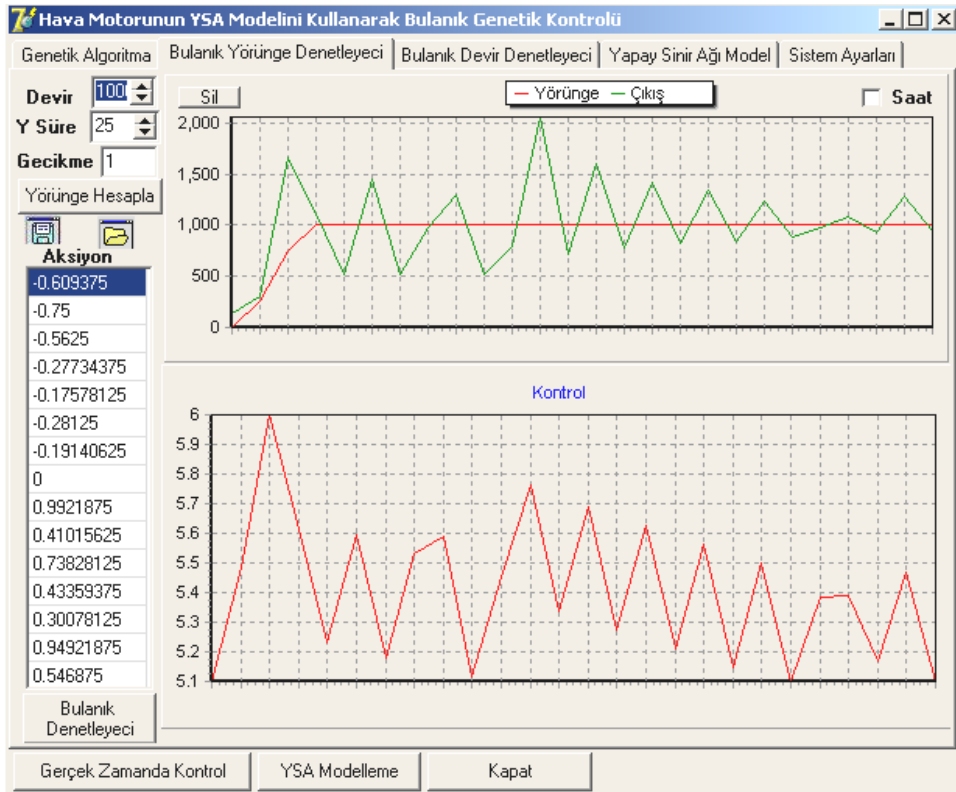
Şekil-IV.16 Genetik algoritma ekran görüntüsü

Genetik algoritma operatörleri ve seçim yöntemleri ayarlanarak Genetik butonuna basılır ve genetik algoritma çevrimdışı çalışmaya başlar. Genetik bulanık kontrolör, istenen değerleri bulabilmesi için, farklı genetik algoritma operatörleri ile birden fazla çalıştırılması gerekebilir. Random seçeneği işaretlemesi yapılmaz ise, program aynı parametre değerleri ile her çalıştırıldığında aynı sonuçları verecektir. Böylece, her hangi bir genetik algoritma operatörünün, genetik algoritma performansı üzerine etkisi izlenebilir. Program çalıştırıldığında iki şekilde sonuç karşımıza gelmektedir. Birinci durumda ekrana “Sonuç Bulunamadı Tekrar Deneyin” mesajı gelir. Bu mesaj alındığında programın farklı genetik algoritma parametreleri ile tekrar çalıştırılmalıdır. İkinci durumda ise “İşlem... Generasyonda Tamamlandı” mesajı çıkmaktadır. Bu durum maksimum uygunluk değeri olarak $\Phi=1$ 'in bulunduğu anlamına gelir.

Bu durumda bulanık kontrolör parametrelerini test etmek için, Şekil-IV.17 de görülen bulanık simülatör çalıştırılır.



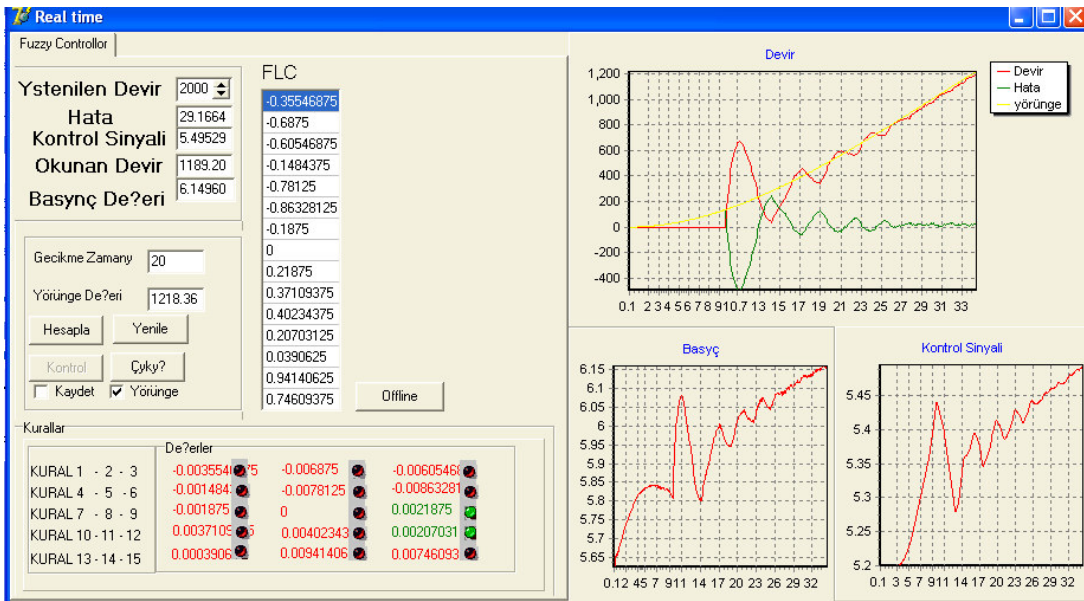
Şekil-IV.14 Genetik bulanık kontrolör akış diyagramı



Şekil-IV.17 Bulanık Kontrolör Simülasyon ekran görüntüsü

Simülâtör sayesinde genetik algoritmanın bulduğu sonuçlar test edilir. Bu ekranda kontrol sinyali ve pnömatik motor hız bilgisi görülmektedir. Eğer sonuçlar istenilen düzeyde ise Gerçek Zamanda Kontrol butonuna basılır.

Gerçek zamanlı kontrol butonuna basıldığında karşımıza Şekil-IV.18 de görülen bulanık kontrolörün ekran görüntüsü gelmektedir.



Şekil-IV.18 Bulanık Kontrolör Ekran Görüntüsü

Bu ekrandan pnömatik motorun dönmesi istenilen devir bilgisi girilmektedir. Çalışma anında üretilen kontrol sinyal değeri, hız hata bilgisi ve basınç bilgisi okunmaktadır. Kontrol işlemi yörünge takipli isteniyorsa Yörünge sekmesi tıklanır ve girilen gecikme zamanına göre Hesapla butonuna basılarak yörünge hesaplanır. Çalışma verileri kaydedilmesi için Kaydet sekmesi tıklanır, Yenile butonuna basıldığında kaydetme ekranından veri dosyası olarak kaydedilir. Çalışmanın görselliğini daha da artırabilmek için pnömatik motor hız bilgisi, istenilen devir, hız hatası, basınç değeri ve kontrol işaretinin grafikleri çizdirilmektedir. Bulanık kontrolörün aktif olduğu kuralları görebilmek için görsel lamba düzeneği oluşturulmuştur.

BÖLÜM – V

DENEYSEL ÇALIŞMALAR ve SONUÇLAR

Bu bölümde, gerçekleştirilen bulanık kontrolör ile genetik – bulanık kontrolörlerin performansları incelenecektir. İlk olarak tasarlanan bulanık kontrolörün birim basamak cevabı, sistemin çalışma anındaki referans değişimlerinde ve bozucu etki karşısında bulanık kontrolörün davranışı, örnekleme zamanının kontrol üzerinde ki etkileri incelenmiştir. Tasarlanan bulanık kontrolörün, sistemi istenilen referans değerine bir yörünge takip ederek getirmesi incelenmiştir. Yapılan çalışmalar değişik referans değerleri, referans arası geçiş, örnekleme zamanının etkisinde ve yükselme zamanı etkisinde, bozucu etki karşısında bulanık kontrolör davranışları incelenmiştir.

İkinci kısımda genetik algoritmanın çevrim dışı çalışmasından elde edilen aksiyon değerlerine göre bulanık kontrolörün davranışları incelenmiştir.

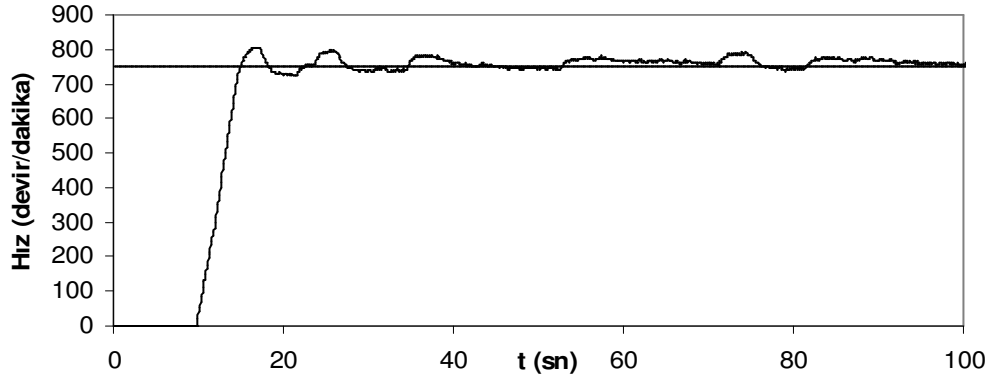
V.1 BULANIK KONTROLÖR PERFORMANSI

Tasarlanan bulanık kontrolörün performansını ölçmek için sistem değişik referans değerlerinde, örnekleme zamanlarında, bozucu etki altında, çalışma referansından istenilen diğer referansa geçişte, Bölüm-III de belirtilen Denklem-III.11 deki formül ile istenilen referans değerine üçüncü dereceden bir yolu izleyerek

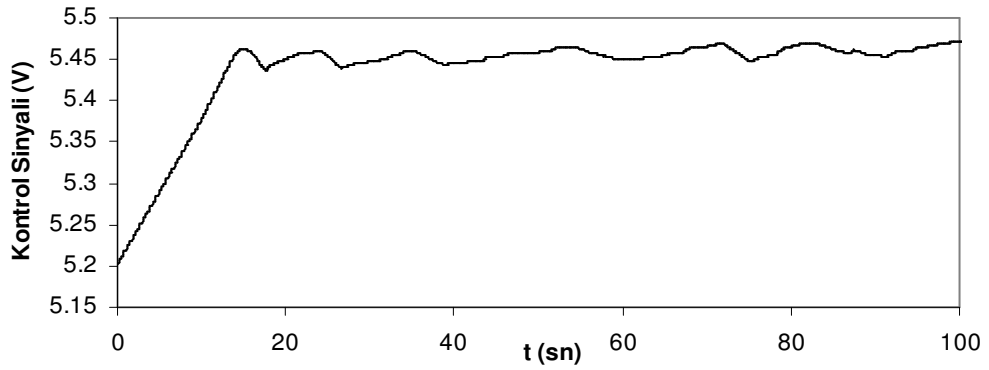
gelmesinde, referanslar arası geçişte, değişik yükselme ve örnekleme zamanlarında çalıştırılmıştır.

V.1.1 Bulanık Kontrolörün Basamak Giriş Cevabı

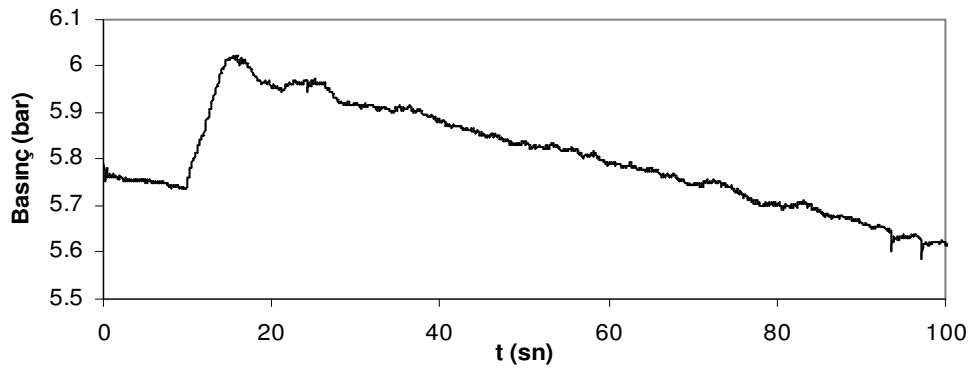
İlk uygulamada pnömatik motorun 750 devir/dakika hızla dönmesi istenmiştir. Şekil-V.1’de bu çalışmaya ilişkin hız, bulanık kontrol işaretine ve motoru besleme basıncındaki değişime ilişkin grafikler verilmiştir.



(a)



(b)



(c)

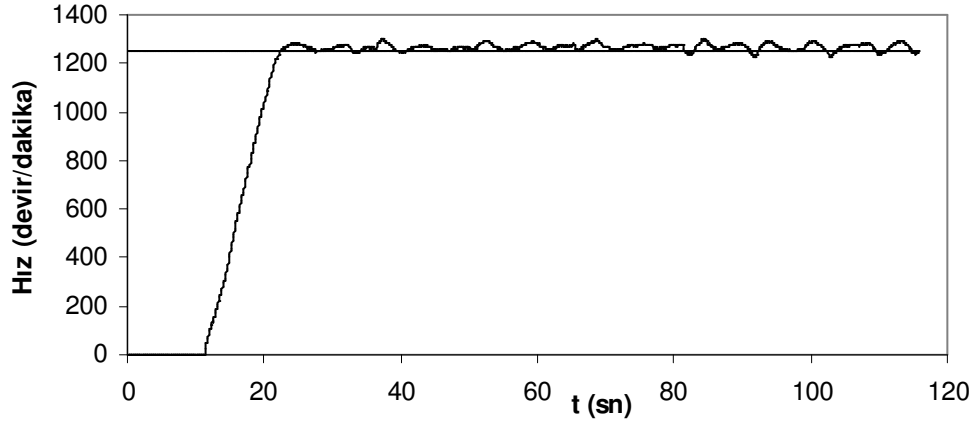
Şekil-V.1 750 devir/dakika çalışma.

(a) Pnömatik motor hız bilgisi (b) Kontrol Sinyali (c) Basınc değişimi

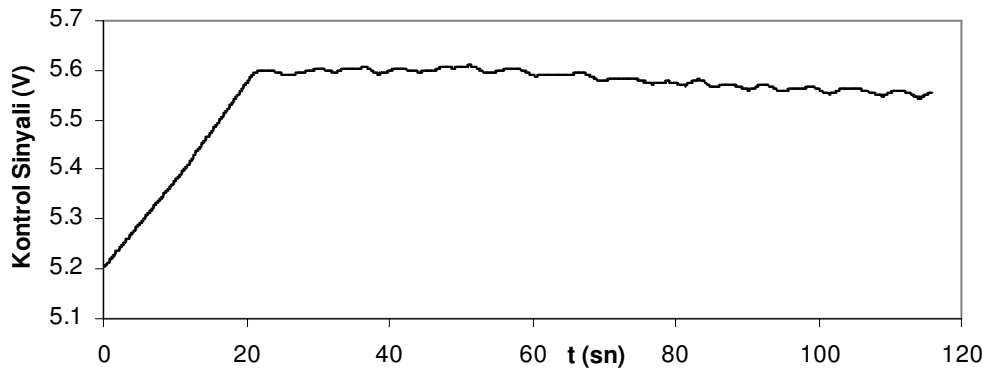
Bulanık kontrolör, sistemi istenilen referans değerine 17,9. sn de 98 devir/dakika aşım yaparak getirmiştir. Pnömatik motorun hızı istenilen referans değerinde 30 devir/dakika salınım yaptığı gözlenmiştir. Şekil-V.1c de pnömatik motor dönmesini sağlayan basıncın değişimi görülmektedir. Çalışma boyunca motorun hava tüketiminden dolayı tanktaki basınç 6 bar dan 5,6 bara kadar azalmaktadır. Bu durum pnömatik motor hızı üzerinde doğal bir bozucu etkisi yaratmaktadır. Bulanık kontrolör, bu şartlar altında dahi pnömatik motorun hızını istenilen devir referans değerinde tuttuğu gözlemlenmiştir.

İkinci uygulamada pnömatik motor 1250 devir/dakika da çalıştırılmıştır. Şekil-V.2 de bu uygulamaya ait motor hız bilgisi, bulanık kontrol sinyalinin ve motoru besleme basıncındaki değişim eğrileri verilmiştir.

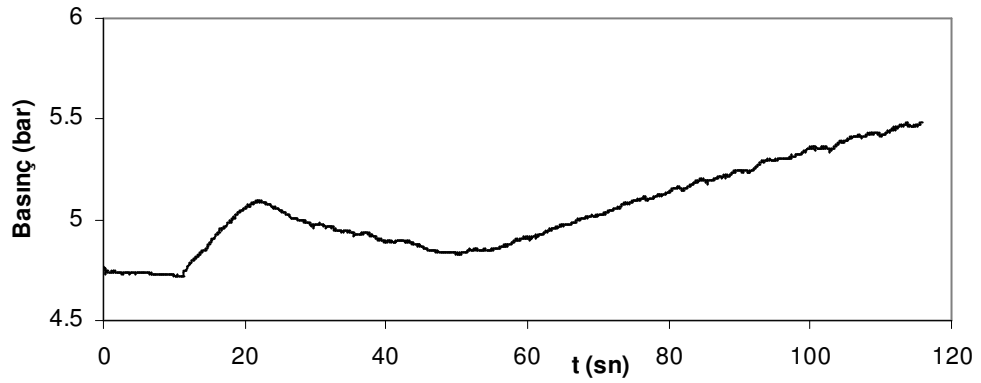
Burada bulanık kontrolör, pnömatik motorun hızını istenilen referans değerine sistemi 28. sn de getirtmiştir. Pnömatik motorun, hava tüketim hızı fazla olduğundan çalışmanın 51. sn de kompresör devreye girmiş ve basınç tankındaki basınç değeri artmaya başlamıştır. Şekil-V.2b ve Şekil-V.2c incelendiğinde bu etki pnömatik motorun hızını artırıcı yönde olduğu dolayısıyla bulanık kontrolörün istenilen devir referans değerinde motoru döndürebilmesi için kontrol sinyalini azaltmaya başlamıştır. Bulanık kontrolör, pnömatik motorun hızını istenilen referans tolerans bandı değeri içinde tuttuğu gözlemlenmiştir.



(a)



(b)

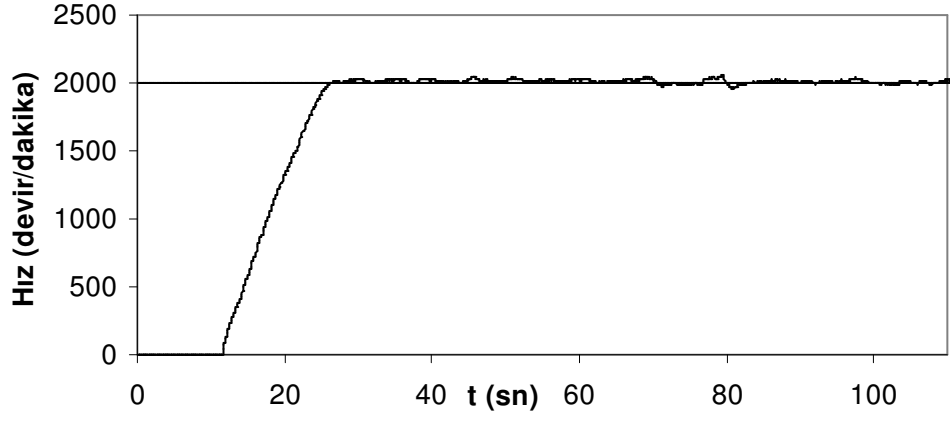


(c)

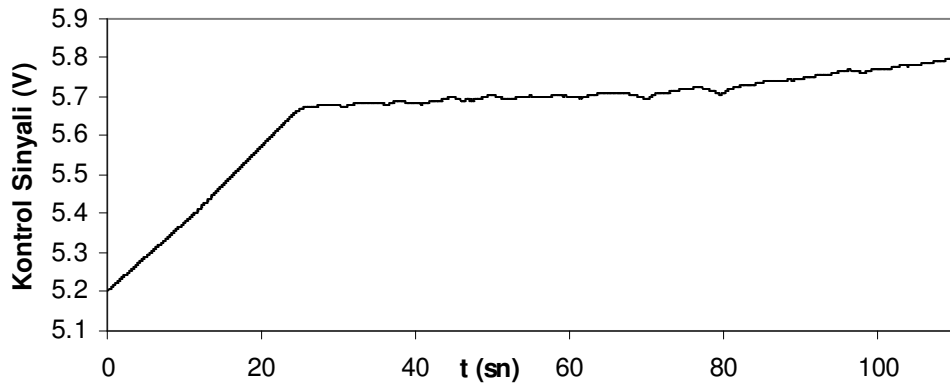
Şekil-V.2 1250 devir/dakika çalışma.

(a) Pnömatik motor hız bilgisi (b) Kontrol Sinyali (c) Basınç değişimi

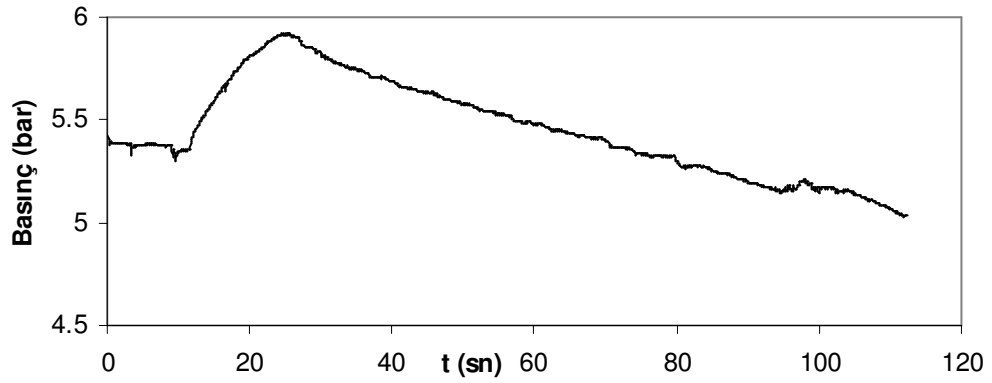
Üçüncü uygulamada, pnömatik motorun 2000 devir/dakika hızla dönmesi istenmiştir. Pnömatik motorun hız bilgisi, bulanık kontrol sinyali ve motorun besleme basınç eğrileri Şekil-V.3 de verilmiştir.



(a)



(b)



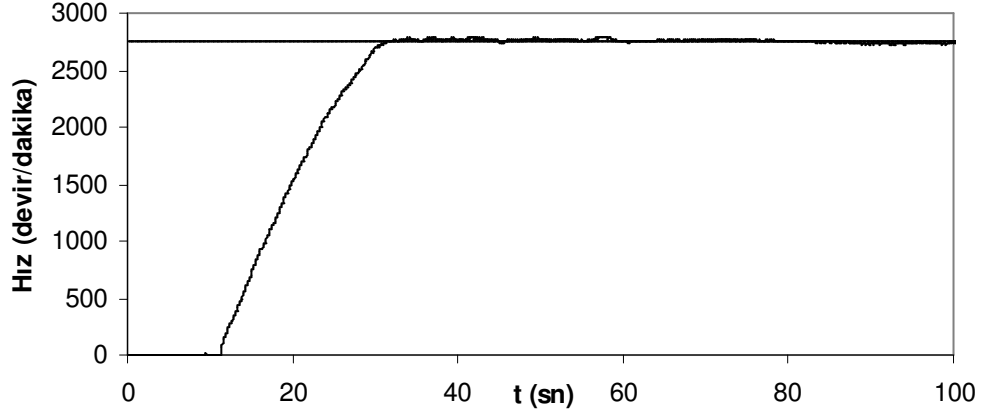
(c)

Şekil-V.3 2000 devir/dakika çalışma.

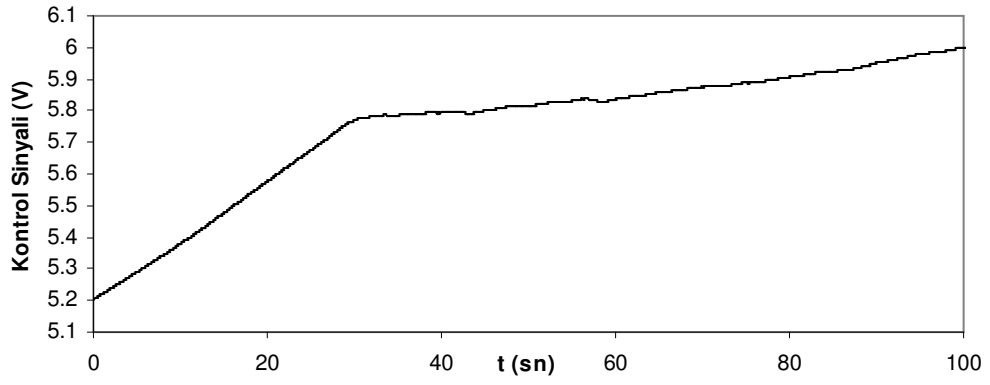
(a) Motor hız bilgisi (b) Kontrol sinyali (c) Basınç değişimi

Bulanık kontrolör üretmiş olduğu kontrol sinyali çalışmanın 11,5. sn de pnömatik motorunu döndürmeye başlayıp ve istenilen referans değerine çalışmanın 27. sn de aşırımsız bir şekilde getirtmiştir.

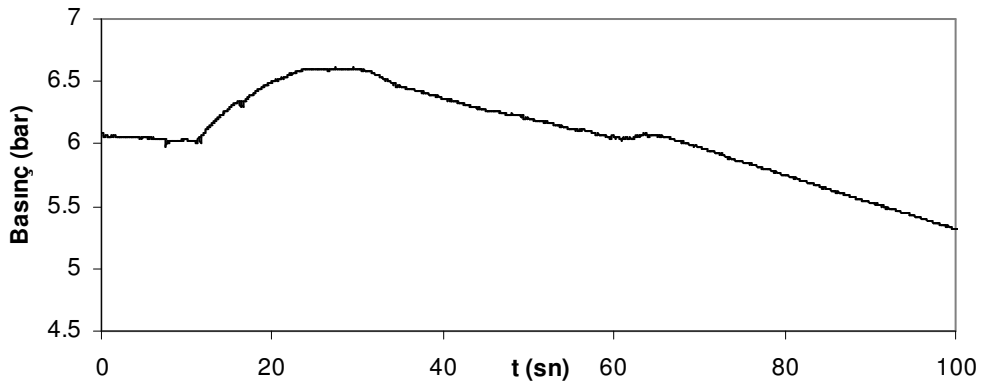
Motor hızının 2750 devir/dakika olarak ayarlanan son çalışmaya ait motor hız bilgisi, bulanık kontrol sinyali ve motor besleme basınç grafikleri Şekil-V.4 de verilmiştir.



(a)



(b)



(c)

Şekil-V.4 2750 devir/dakika çalışma.

(a) Motor hız bilgisi (b) Kontrol sinyali (c) Basınç değişimi

Bulanık kontrolör, pnömatik motorunu 12,5.sn de döndürmeye başlamış ve devrini istenilen referans değerine aşırı bir şekilde çalışmanın 35,2.sn de getirmeyi başarmıştır. Çalışma süresince pnömatik motor istenilen referans değerinde dönmelerini sürdürmüştür.

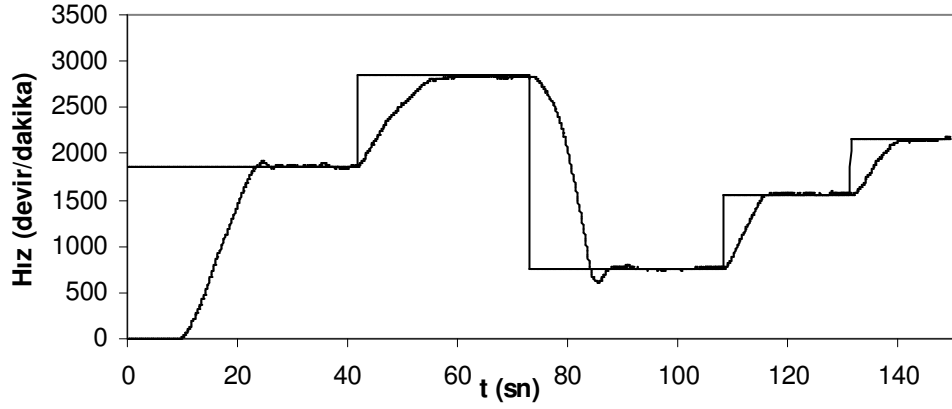
Böylece gerçekleştirilen bulanık kontrolörün davranışı pnömatik motorun 750, 1250, 2000 ve 2750 devir/dakika değerlerinde incelenmiştir. Pnömatik motor çalıştırılan referans değerleri değerlendirildiğinde, 1000 devir/dakika altındaki istenilen referans değerine aşırı bir şekilde ulaştığı ve kalıcı hal durumunda salınımlar yaptığı gözlemlenmiştir. Pnömatik motorun hızı, 1000 devir/dakika dan fazla olan çalışmalarda ise bulanık kontrolör istenilen referans hız değerlerine aşırı bir şekilde ulaştığı ve kalıcı hal hatalarının kabul edilebilir tolerans bandı içinde motorun hızını sabit tutabildiği gözlenmiştir.

Yapılan uygulamalarda bulanık kontrolörün üretmiş olduğu kontrol sinyalleri incelendiğinde, pnömatik motorun yüksek devirlerde ki çalışmalarda, kalıcı durumda kontrol işaretinin arttığı gözlenmiştir. Bunun nedeni olarak pnömatik motorun yüksek devirlerdeki çalışmasında hava tüketim hızının artması dolayısıyla hava tankındaki basıncın azalmasıdır. Azalan basınç pnömatik motorun hızı üzerinde bozucu etki olarak yansımaktadır. Hava tankı içerisindeki basıncı azalan havanın istenilen referans değerinde pnömatik motorunu döndürebilmesi için bulanık kontrolör, ürettiği kontrol sinyalini artırarak debi oransal valfa gönderip basınçlı havanın debisi artırılmaktadır. Bu sayede pnömatik motor istenilen referans değerinde çalışmaktadır.

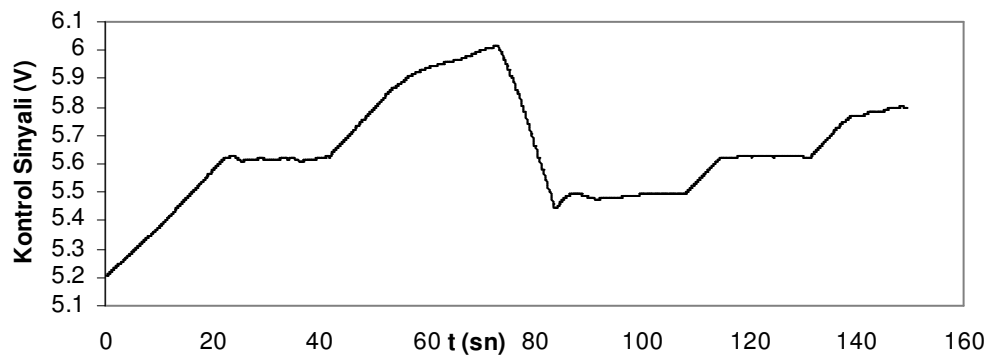
Uygulamalar sonucunda basınç değişim eğrileri incelendiğinde, pnömatik motorun çalışma hızı yükseldikçe hava sarfiyatı da artmak da bu da besleme basıncının düşmesine sebep olmaktadır. Bu etki pnömatik motor hızı üzerinde doğal bir bozucu olarak yansımaktadır. Yapılan uygulamalarda bulanık kontrolörün sistemi istenilen referans devir değerlerinde tutabildiği gözlenmiştir.

V.1.2 Referans Geçiş Cevabı

Bu çalışmada bulanık kontrolörün, sistemi çalışma anında değişik referans değerine geçiş cevabını görebilmek için sırasıyla pnömatik motorun hızı 1850, 2850, 750, 1550 ve 2150 devir/dakika da çalıştırılması istenmiştir. Şekil-V.5 de bu çalışmaya motor hız değişim ve bulanık kontrol sinyaline ait grafikler verilmiştir.



(a)



(b)

Şekil-V.5 Referans geçiş çalışması.

(a) Pnömatik motor hız bilgisi (b) Kontrol sinyali

Yapılan bu çalışmada, pnömatik motorun 1850 devir/dakikada dönmesi için referans değeri girilerek sistem çalıştırıldı. Bulanık kontrolör, pnömatik motorun hızını istenilen referans değerine çalışmanın 23,5. sn de 50 devir/dakika aşım yaparak getirmiştir. Çalışmanın 42,4. sn de pnömatik motorun hızı 2850 devir/dakika olacak şekilde yeni referans noktası olarak değiştirildi. Bulanık kontrolör, istenilen referans noktasına pnömatik motorun hızı aşısız bir şekilde deneyin 54,2. sn de getirmiştir. 73,1. sn de referans noktası 750 devir/dakika olarak değiştirilmiştir. Bulanık kontrolörün, sistemi 88,7. sn de istenilen referans noktasına 146 devir/dakika aşım yaptırtarak getirmiştir. Motor hızı için referans değerleri sırasıyla 1550 ve 2150 devir /dakika olarak ayarlanmış ve bulanık kontrolörün hızlı bir şekilde sistemi istenilen yeni referans noktalarına getirdiği görülmüştür. İstenilen referans değerlerinde kalıcı hal hatası gözlenmemiştir.

Yapılan bu çalışma sonucunda, bulanık kontrolör referanslar arası geçişte sistemi istenilen yeni referans noktalarına hızlı bir şekilde getirebildiği görülmüştür. 1000 devir/dakika ve altındaki devir değerlerinde istenilen referans değerine aşım

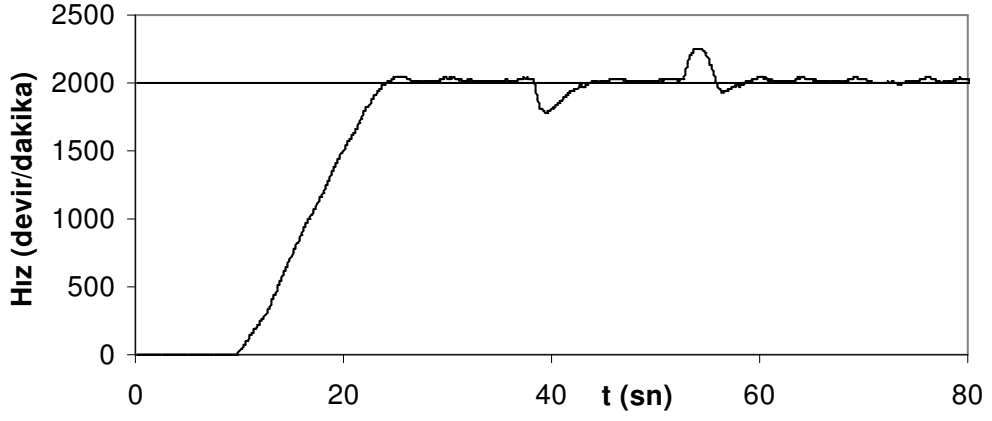
yaparak istenilen referans değerine oturduğu, daha yüksek devirlerde ise aşırı bir şekilde ve kalıcı hal hatası olmadan istenilen referans devir noktasına geldiği gözlenmiştir.

V.1.3 Bozucu etki davranışı

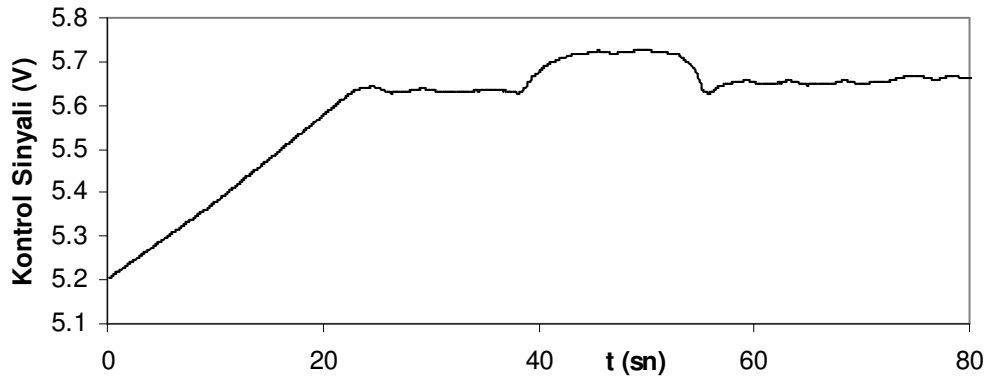
Gerçekleştirilen bulanık kontrolörün, pnömatik motorun hızına dışarıdan ithal edilen bir bozucu etki karşısında performansı Şekil-V.6'da verilen grafiklerle incelenmiştir.

Pnömatik motorun hızı 2000 devir/dakika referans değerinde çalışırken 38,5. sn de pnömatik motorun egzoz çıkışı 14,5 sn boyunca kapatılarak motorun dönmesini sağlayan iç basınç kuvveti değiştirilerek sisteme doğal bozucu yanında harici bir bozucu etki ithal edilmiştir. Şekil-V.6 de görüleceği gibi motorun devri 1777 devir/dakika seviyelerine düşmüştür. Bulanık kontrolör, motordaki bu devir azalmasını durdurup tekrar sistemi çalıştığı referans noktasına deneyin 44,5. sn de aşım ve kalıcı hal hatası olmadan getirmiştir. 53. sn sisteme ithal edilen bozucu etki kaldırıldığında pnömatik motorun hızı 2253 devir/dakika seviyelerine çıkmıştır. Bulanık kontrolör, pnömatik motorun hızını istenilen referans değerine deneyin 71. sn de tekrar 68 devir/dakika aşım bir şekilde getirmiştir. Şekil-V.6b kontrol sinyaline ait grafik incelendiğinde, bulanık kontrolör, bozucu etkinin pnömatik motor üzerine olan etkisini kaldırmak için kontrol işaretini arttırmıştır. Bozucu etki ortadan kalktığı da bulanık kontrolör, pnömatik motorunu istenilen referans devir değerinde tutabilmek için kontrol sinyalini azaltmıştır.

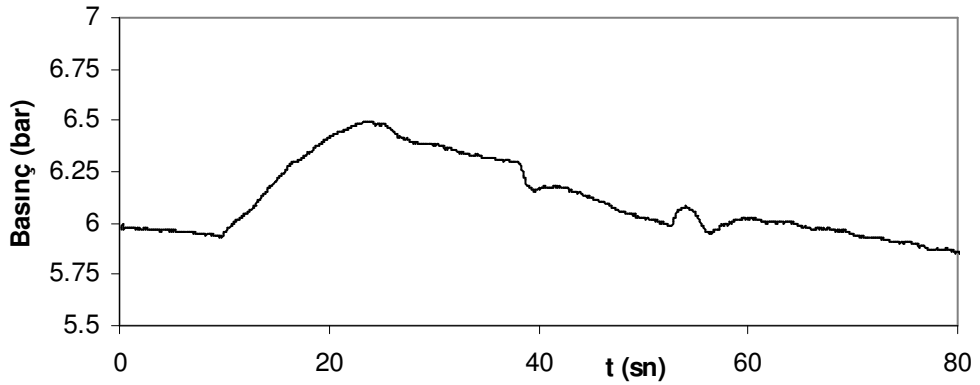
Sonuç olarak, bulanık kontrolör, egzoz havasının kapatılması sonucu oluşan bozucu etki ve besleme basıncı etkisiyle oluşan doğal bozucu karşısında pnömatik motorun hızını kontrol edebilmiştir.



(a)



(b)



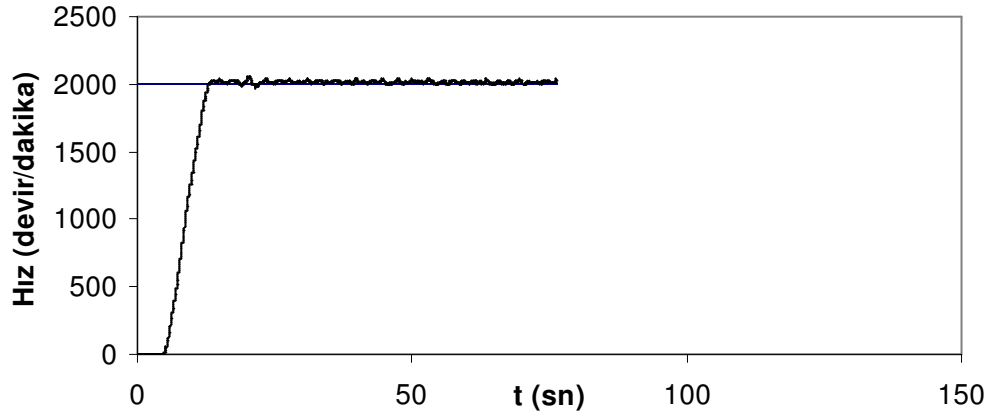
(c)

Şekil-V.6 Bozucu etki çalışması.

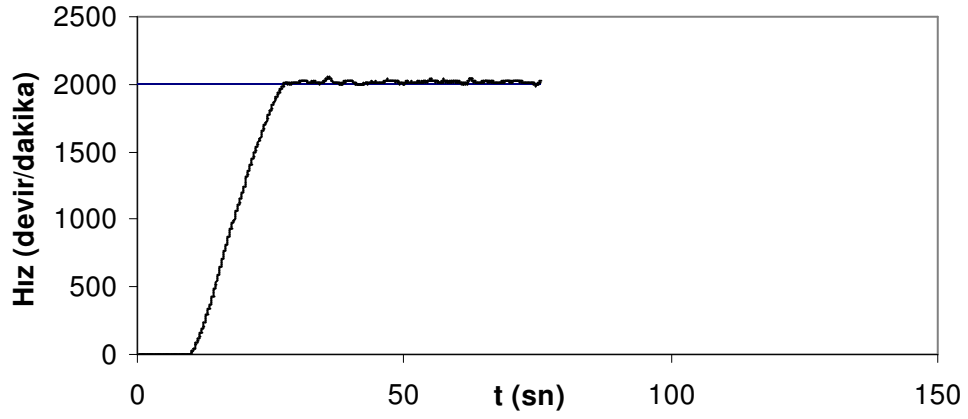
(a) Motor hız bilgisi (b) Kontrol sinyali (c) Basınç değişimi

V.1.4 Örneklem Zamanı Etkisi

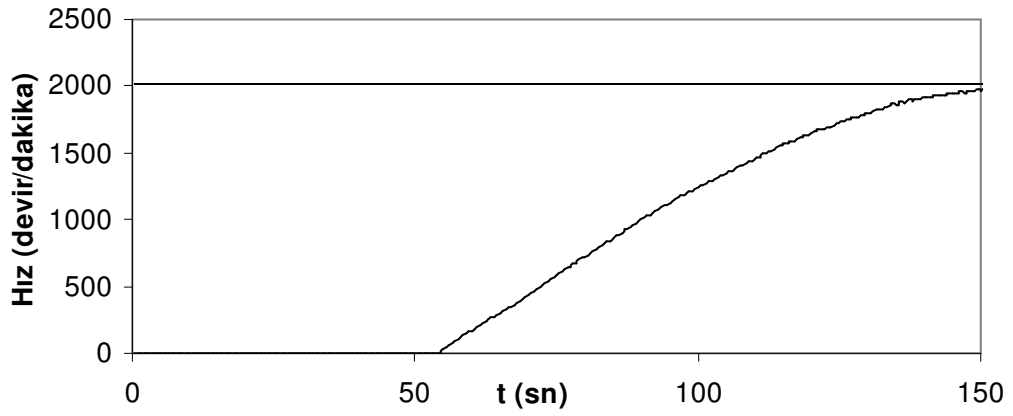
Örneklem zamanının, tasarlanan bulanık kontrolör davranışına etkisini görmek için 50 msn, 100 msn ve 500 msn örneklem zamanları seçilerek bakılmıştır. Uygulamaya ilişkin eğriler Şekil-V.7 de verilmiştir.



(a)



(b)



(c)

Şekil-V.7 Örnekleme zamanının etkisi

(a) 50 msn (b) 100 msn (c) 500 msn

Bu üç deney çalışmasında, bulanık kontrolör, pnömatik motorun hızını istenilen birim basamak referans değerine ulaştırdığı görülmüştür. Örnekleme zamanının

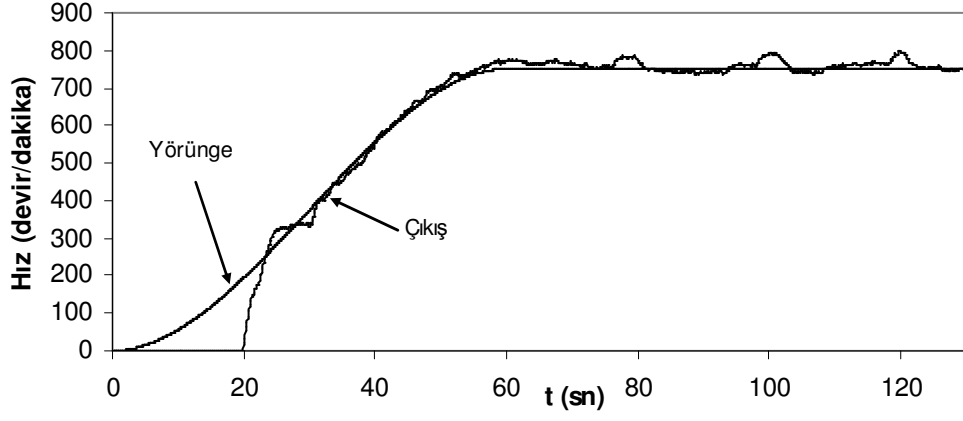
etkisi sistemin istenilen referans değerine yükselme ve oturma süresinde etkisi olduğu gözlenmiştir.

V.1.5 BULANIK KONTROLÖRÜN YÖRÜNGE TAKİP CEVABI

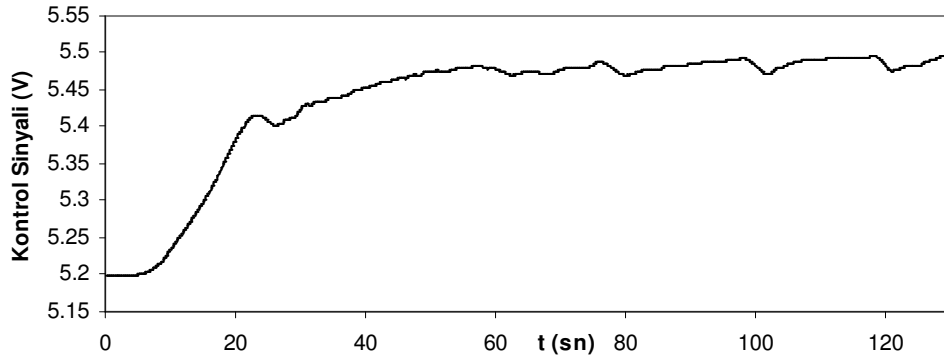
Yapılan bu çalışma da bulanık kontrolörün pnömatik motor hızını başlangıç noktasından istenilen referans değerine Bölüm-III de verilen üçüncü dereceden bir denklem ile çizilen yörüngeyi takip ederek ulaştırılması incelenecektir.

İlk uygulamada pnömatik motorun bir yörüngeyi takip ederek 750 devir/dakika hızla dönmesi istenmiştir. Şekil-V.8 de bu çalışmaya ilişkin hız, bulanık kontrol işareti ve motoru besleme basıncındaki değişime ilişkin grafikler verilmiştir.

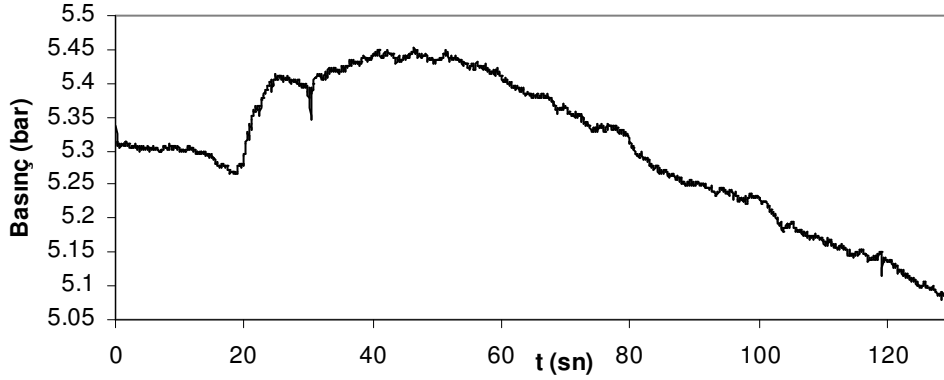
Bulanık kontrolör, pnömatik motorun hızını istenilen yörünge değerine deneyin 23,5. sn de 5 devir/dakika aşım yaparak getirtmiştir. Pnömatik motorun hızı istenilen yörüngeyi takip edebildiği ve istenilen referans değerine 22 devir/dakika aşım yaparak gelmiştir. Kalıcı durum da motor hızında istenilen referans değerine göre 30–40 devir/dakika tepe değerleri olduğu ve bulanık kontrolörün istenilen referans değerinde sistemi tutmaya çalıştığı gözlenmiştir. Pnömatik motorun dönmelerini sağlayan basıncın değişimi Şekil-V.8c de görülmektedir. Çalışma boyunca motorun hava tüketiminden dolayı tanktaki basınç 5,45 bar dan 5,1 bara kadar azalmaktadır. Bu durum pnömatik motor hızı üzerinde doğal bir bozucu etki yaratmaktadır. Bulanık kontrolör, bu şartlar altında dahi pnömatik motorun hızını istenilen devir referans değerinde tuttuğu gözlemlenmiştir.



(a)



(b)

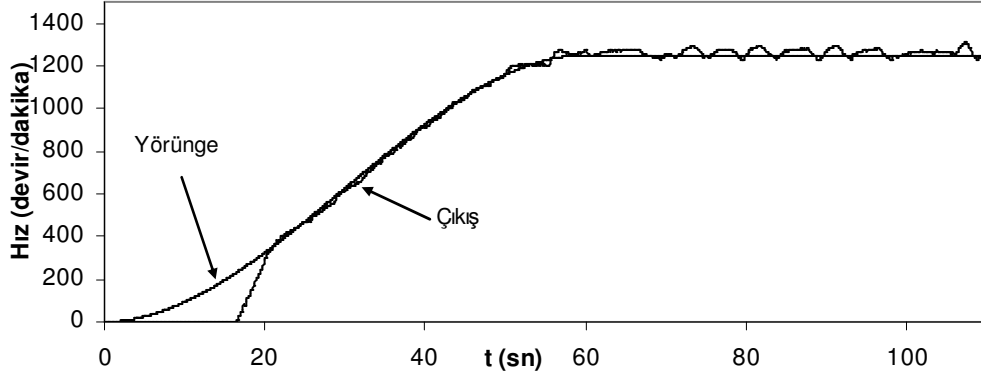


(c)

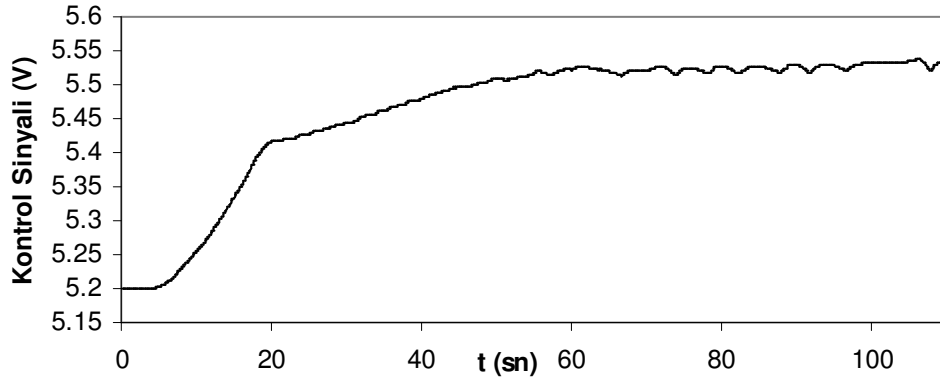
Şekil-V.8 750 devir/dakika yörüngeli referans çalışması.

(a) Pnömatik motor hız bilgisi (b) Kontrol sinyali (c) Basınç değişimi

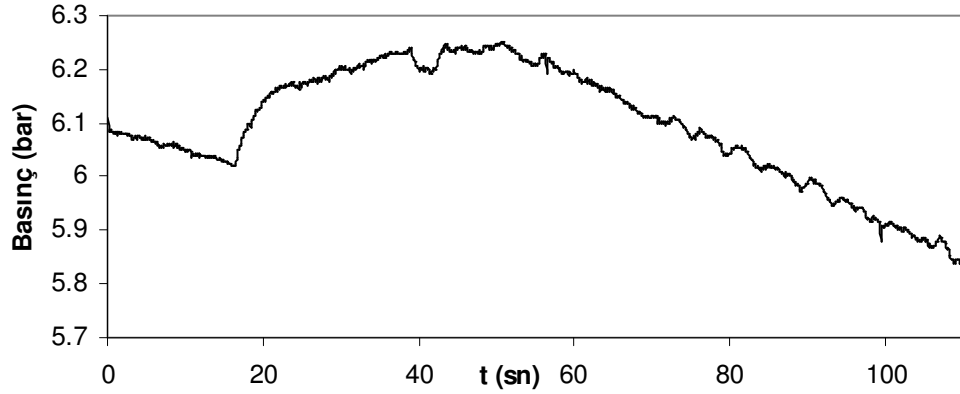
İkinci uygulamada pnömatik motor hızı yörünge zerinden 1250 devir/dakika dönecek şekilde çalıştırılmıştır. Şekil-V.9 de bu uygulamaya ait motor hız bilgisi, bulanık kontrol sinyali ve motoru besleme basıncındaki değişim eğrileri verilmiştir.



(a)



(b)



(c)

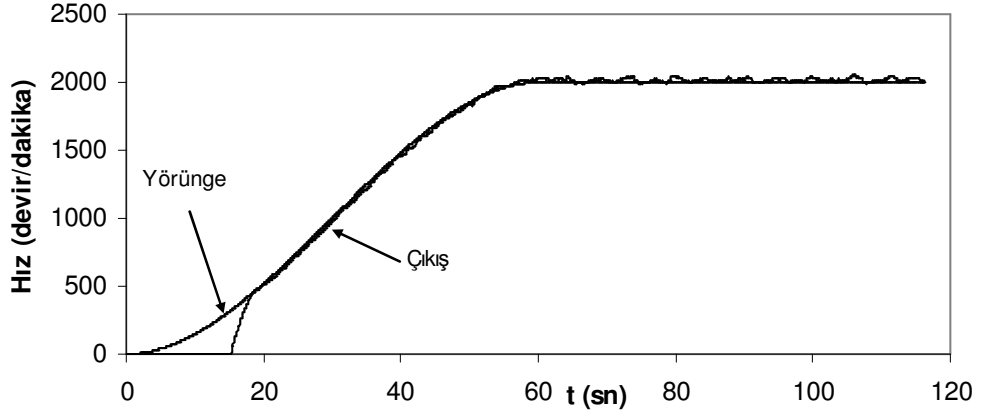
Şekil-V.9 1250 devir/dakika yörüngeli referans çalışması.

(a) Pnömatik motor hız bilgisi (b) Kontrol sinyali (c) Basınç değişimi

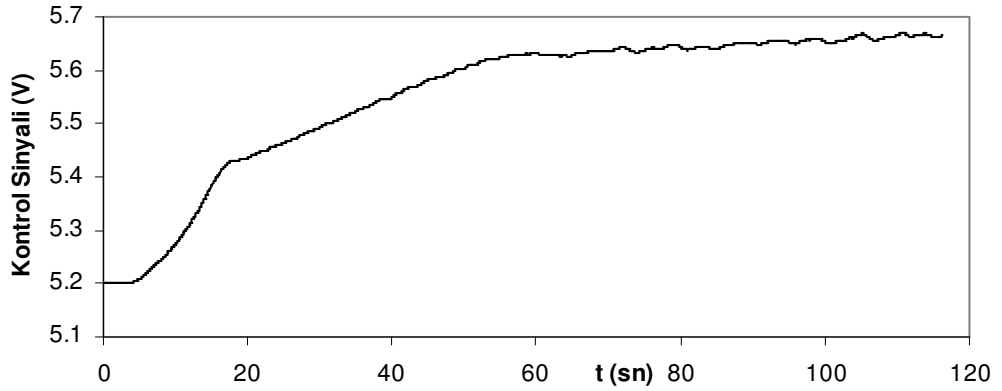
Bulanık kontrolör, pnömatik motorun hızını yörünge değerine deneyin 20,7. sn de getirtmiştir ve 1250 devir/dakika olan referans noktasına aşırı bir şekilde ulaştırmıştır. Kalıcı hal durumunda, pnömatik motor hızı referans noktası üzerinde 20–25 devir/dakika arası salınım yaptığı gözlenmiştir. Pnömatik motorun, hava tüketim hızı motorun dönmesi istenilen devir büyüdükçe artmaktadır. Şekil-V.9c de

pnömatik motorun basınç tankı içinde ki hava tüketimi görülmektedir. Bu grafik incelendiğinde pnömatik motor hızı üzerinde azaltıcı etki bir etkisi olduğu görülmektedir. Bulanık kontrolör, bu etkiyi giderici yönde bulanık kontrol sinyalini arttırmıştır

Üçüncü uygulamada, pnömatik motorun hızı bir yörünge üzerinden 2000 devir/dakika hızla dönmesi istenmiştir. Pnömatik motorun hız bilgisi, bulanık kontrol sinyali ve motorun besleme basınç eğrileri Şekil-V.10 de verilmiştir.



(a)



(b)



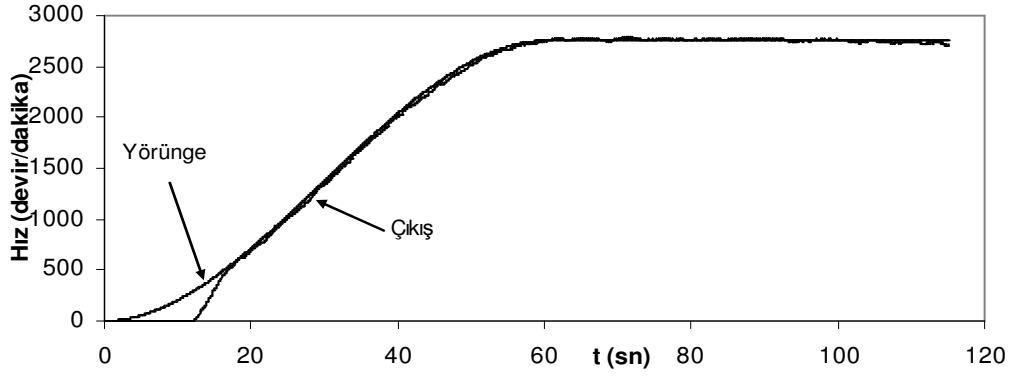
(c)

Şekil-V.10 2000 devir/dakika yörüngeli referans çalışması.

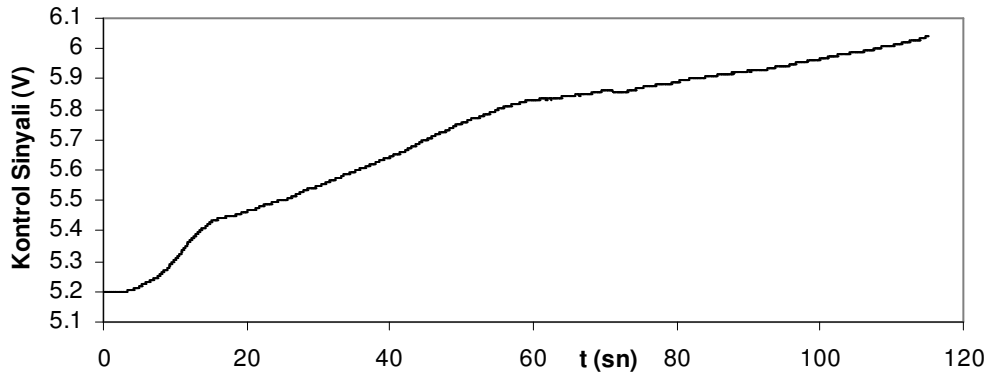
(a) Pnömatik motor hız bilgisi (b) Kontrol sinyali (c) Basınç değişimi

Bulanık kontrolör, pnömatik motorun hızını yörünge üzerine deneyin 18. sn de getirtmiş ve istenilen 2000 devir/dakika referans değerine kadar yörüngeyi takip ettirmiştir. Pnömatik motorun hızı, kalıcı hal durumunda kabul edilen tolerans bandı içinde bulanık kontrolör tarafından kontrol edilmiştir.

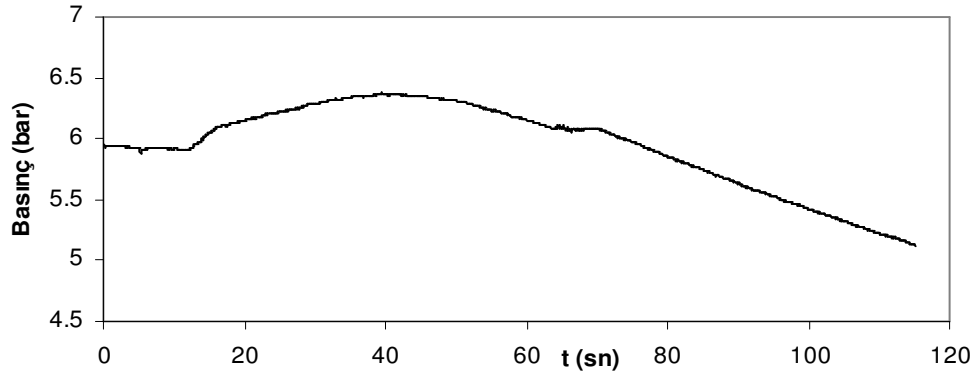
Pnömatik motor hızının yörüngeyi takip ederek 2750 devir/dakika olarak ayarlanan son çalışmaya ait motor hız bilgisi, bulanık kontrol sinyali ve motor beleme basınç grafikleri Şekil-V.11 de verilmiştir.



(a)



(b)



(c)

Şekil-V.11 2750 devir/dakika yörüngeli referans çalışması.

(a) Pnömatik motor hız bilgisi (b) Kontrol sinyali (c) Basınç değişimi

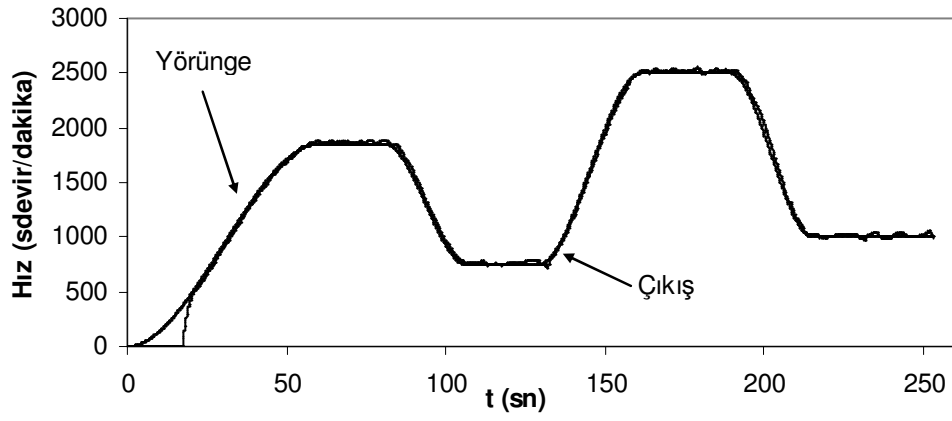
Gerçekleştirilen bulanık kontrolörün yörünge takipli davranışı pnömatik motor 750, 1250, 2000 ve 2750 devir/dakika değerlerinde çalıştırılarak incelenmiştir. Pnömatik motor çalıştırılan referans değerleri değerlendirildiğinde, 1000 devir/dakika altındaki istenilen referans değerine aşımli bir şekilde ulaştığı, yörünge üzerinde ve kalıcı hal durumunda salınımlar yaptığı gözlemlenmiştir. Pnömatik motorun hızı 1000 devir/dakika dan fazla olan çalışmalarda ise bulanık kontrolör istenilen yörünge referans hız değerlerini takip ettiği ve referans noktasına aşimsız bir şekilde ulaştığı, ve kalıcı hal hatalarının kabul edilebilir tolerans bandı içinde motorun hızını sabit tutabildiği gözlenmiştir.

Yapılan uygulamalarda bulanık kontrolörün üretmiş olduğu kontrol sinyalleri incelendiğinde, pnömatik motorun yüksek devirlerde ki çalışmalarda, kalıcı hal durumunda kontrol işaretinin arttığı gözlenmiştir. Bunun nedeni olarak pnömatik motorun yüksek devirlerdeki çalışmada hava tüketim hızının artması dolayısıyla hava tankındaki basıncın azalmasıdır. Azalan basınç, pnömatik motorun hızı üzerinde bozucu etki olarak yansımaktadır. Hava tankı içersindeki basıncı azalan havanın istenilen referans değerinde pnömatik motor döndürebilmesi için bulanık kontrolör, ürettiği kontrol sinyalini arttırarak debi oransal valfa gönderip basınçlı havanın debisi arttırılmaktadır. Bu sayede pnömatik motor istenilen referans değerinde çalışmaktadır.

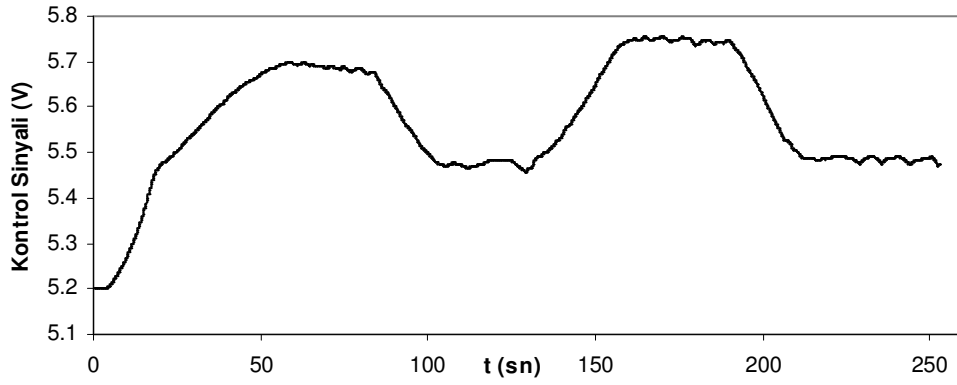
V.1.6 Referans Geçiş Cevabı

Bu çalışmada bulanık kontrolörün, sistemi çalışma anında değişik referans değerine geçiş cevabını görebilmek için sırasıyla pnömatik motorun hızı 1850, 750, 2500 ve 1000 devir/dakika da bir yörünge değerini takip ederek çalıştırılması istenmiştir. Şekil-V.12 de bu çalışmaya motor hız değişim ve bulanık kontrol sinyaline ait grafikler verilmiştir.

Bu deney çalışmasında, pnömatik motorun 1850 devir/dakikada dönmesi için referans, yörünge değeri hesaplanarak pnömatik sistem çalıştırıldı. Bulanık kontrolör, pnömatik motorun hızını istenilen yörüngeye çalışmanın 20. sn de ulaştırmış ve 60. sn referans değerine aşimsız ve kalıcı hal hatası olmadan getirtmiştir. Çalışmanın 85. sn de pnömatik motor hızı için 750 devir/dakika yeni referans noktası olarak değiştirildi. Bulanık kontrolör, yeni referans noktasına pnömatik sistemi yörüngeyi takip ederek aşimsız ve kalıcı hal hatası olmadan 108,8. sn de getirebilmiştir. Deneyin 132,5. sn de referans noktası 2550 devir/dakika olarak değiştirilmiştir. Bulanık kontrolör, pnömatik motorun hızını yörünge referans değerini takip ederek belirtilen referans noktasına aşimsız olarak getirtmiştir.



(a)



(b)

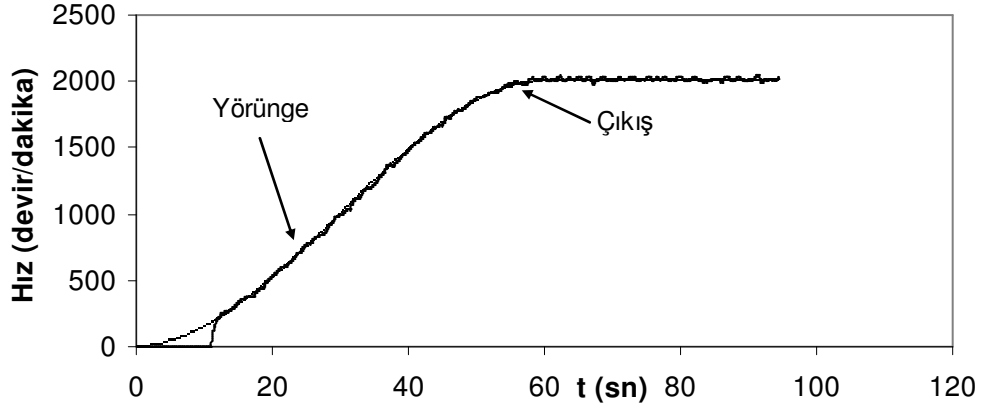
Şekil-V.12 Referans geçiş çalışması.

(a) Motor hız bilgisi (b) Kontrol sinyali

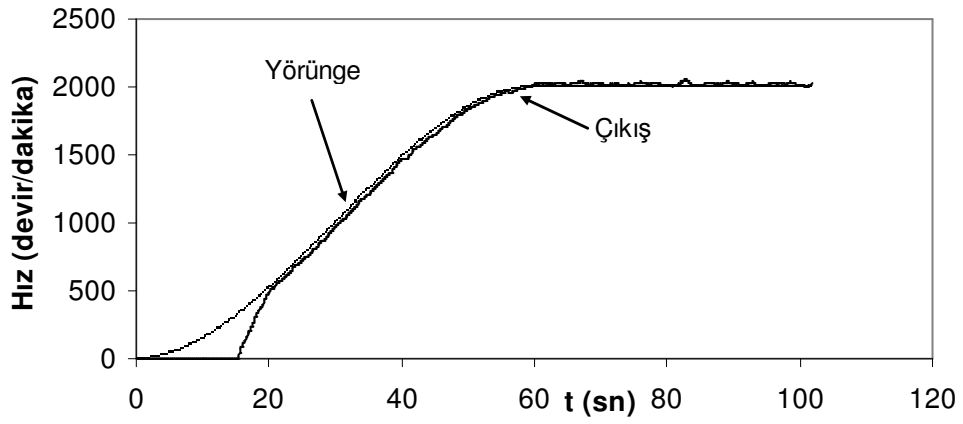
Yapılan bu çalışma sonucunda, bulanık kontrolör referanslar arası geçişte sistemi istenilen yeni referans noktalarına bir yörünge referans değerini takip ederek hızlı bir şekilde getirebildiği görülmüştür.

V.1.7 Örneklemeye Zamanı Etkisi

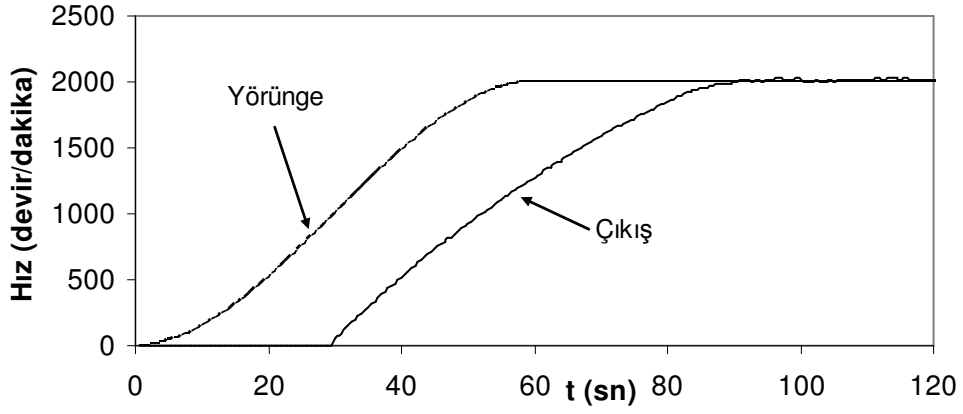
Örneklemeye zamanının, tasarlanan bulanık kontrolörün pnömatik motor hızını bir yörünge üzerinden istenilen referans değerine getirmesinde etkisini görmek için 50 msn, 100 msn ve 500 msn örneklemeye zamanları seçilerek çalışılmıştır. Uygulamaya ilişkin eğriler Şekil-V.13 de verilmiştir.



(a)



(b)



(c)

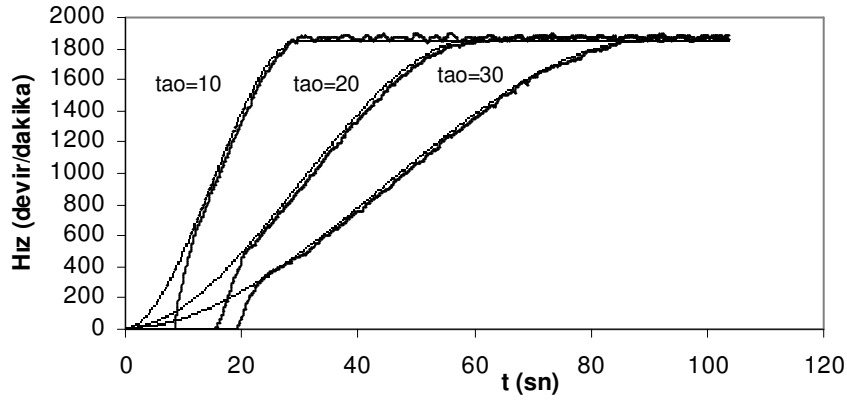
Şekil-V.13 Örnekleme zamanının etkisi

(a) 50 msn (b) 100 msn (c) 500 msn

Bu üç deney çalışmasında, bulanık kontrolör, pnömatik motorun hızını istenilen referans değerine bir yörünge üzerinden ulaştırdığı görülmüştür. Örnekleme zamanının etkisi sistemin istenilen yörüngeyi takip etmede ve referans değerine oturma süresinde etkisi olduğu gözlenmiştir.

V.1.8 Yükselme Zamanı Etkisi

Yapılan bu çalışmada, referans yörünge çiziminde kullanılan gecikme zamanının bulanık kontrolör üzerindeki etkisi incelenmiştir. Yapılan deneylerde gecikme zamanı 10, 20 ve 30 olarak alınmıştır. Çalışmaya ait grafik Şekil-V.14 de verilmiştir.



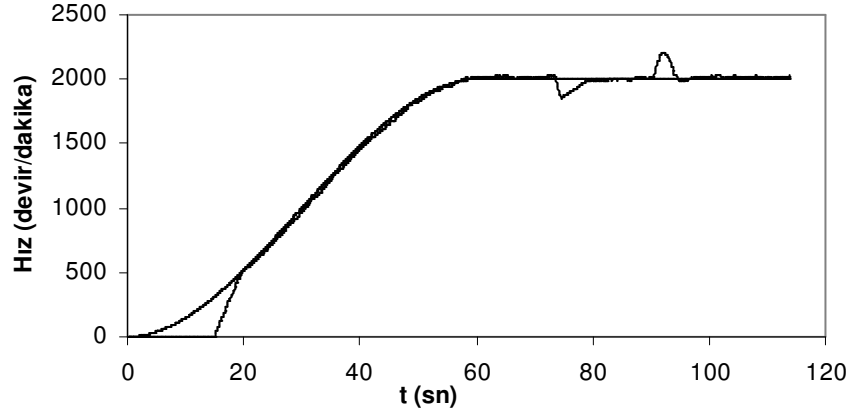
Şekil-V.14 1850 devir/dakika yükselme zamanının etkisi

Yükselme zamanının etkisi istenilen referans değerine ulaşma süresine olduğu gözlemlenmiştir. Bulanık kontrolör istenilen gecikme zamanında da pnömatik motorun hızını yörünge referans değerinde çalıştırdığı gözlemlenmiştir.

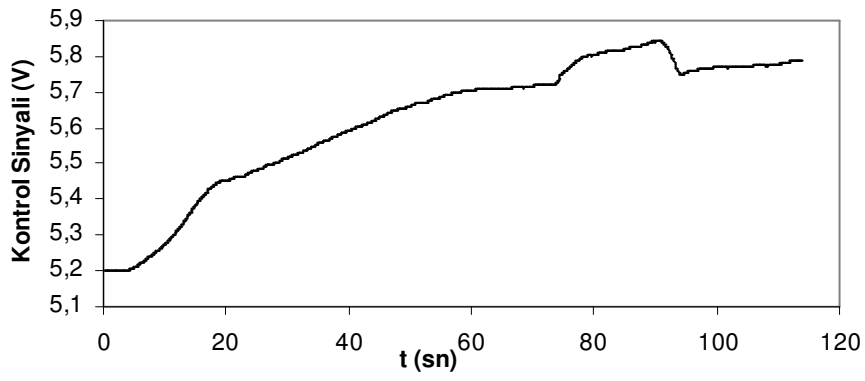
V.1.9 Bozucu Etki

Şekil-V.15 de verilen grafiklerde, gerçekleştirilen bulanık kontrolörün, pnömatik motorun hızına dışarıdan ithal edilen bir bozucu etki karşısında performansı incelenmiştir.

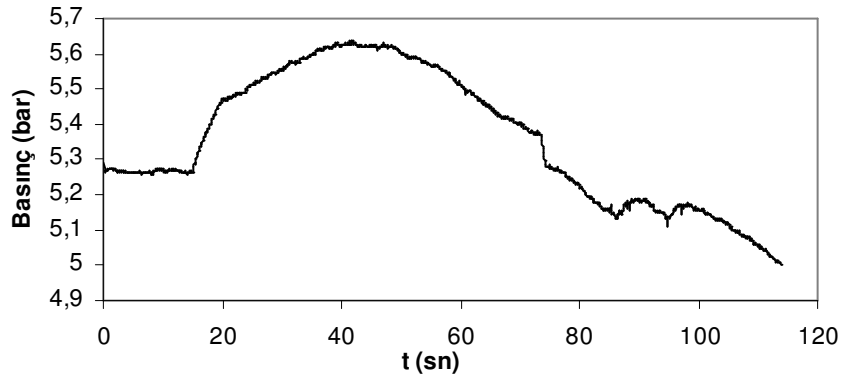
Pnömatik motor istenilen referans değerine ulaştıktan sonra çalışmanın 73,5. sn de pnömatik motorun egzoz çıkışı kapatılarak motorun dönmesini sağlayan iç basınç kuvveti değiştirilerek dışarıdan bir bozucu etki ithal edilmiştir. Şekil-V.27 de görüleceği gibi motorun devrinde 146 devir/dakika değerinde bir azalma olmaktadır. Bulanık kontrolör, motordaki bu devir azalmasını hızlı bir şekilde durdurup tekrar sistemi çalıştığı referans noktasına 80. sn de getirmiştir. Deneyin 90,7. sn de sisteme ithal edilen bozucu etki kaldırıldığında, pnömatik motorun devri 2204,4 devir/dakika değerine yükselmiştir. Bulanık kontrolör, pnömatik motorun devri istenilen yörüngeli referans değerine 96,1. sn de getirmiştir.



(a)



(b)



(c)

Şekil-V.15 Bozucu etki çalışması.

(a) Motor hız bilgisi (b) Kontrol sinyali (c) Basınç değişimi

V.2 GENETİK-BULANIK KONTROLÖR PERFORMANSI

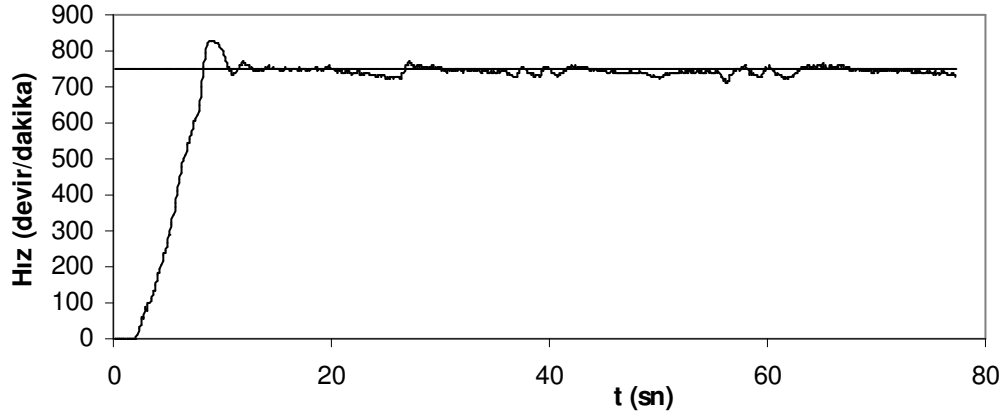
Bölüm-V.1 tasarlanan bulanık kontrolörün performansı incelenmiştir. Bulanık kontrolörün ağırlık aksiyon değerlerini bulması için gerçekleştirilen genetik algoritmanın çalıştırılması sonucu elde edilen ağırlık aksiyon değerleri ile bulanık kontrolör performansının incelenmesi için yapılan deneyler tekrarlanmıştır. Genetik-Bulanık kontrolör ile yapılan deneyler sırasıyla anlatılacaktır.

V.2.1 Genetik-Bulanık Kontrolörün Birim Basamak Cevabı

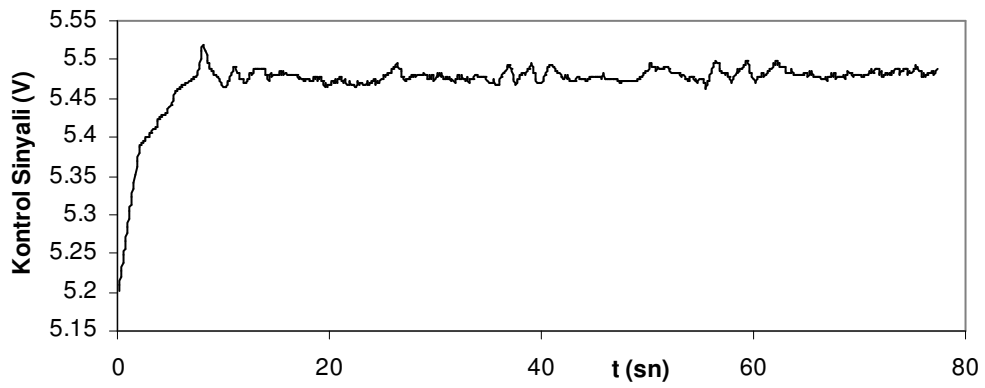
Genetik-Bulanık kontrolör ile yapılan İlk deney çalışmasında pnömatik motorun hızı 750 devir/dakika olması istenmiştir. Şekil-V.16 da bu çalışmaya ilişkin hız, genetik-bulanık kontrol işaretine ve motoru besleme basıncındaki değişime ilişkin grafikler verilmiştir.

Yapılan bu çalışmada, pnömatik motorun hızı genetik-bulanık kontrolör tarafından istenilen referans değerine 76,26 devir/dakika aşım yaparak deneyin 11,8. sn de getirtmiştir. Pnömatik motorun hızı istenilen referans değerinde 25 devir/dakika değerinde salınımlar gözlenmiştir. Bulanık kontrolör ve genetik-bulanık kontrolör ile yapılan deneyler yorumlanırsa. Genetik algoritmanın bulmuş olduğu aksiyon ağırlık değerleri ile yapılan deneylerde, pnömatik motor hızı istenilen referans değerine daha kısa sürede ve de daha az aşım yaparak geldiği, referans değerindeki salınımların miktarının da azaldığı gözlenmiştir.

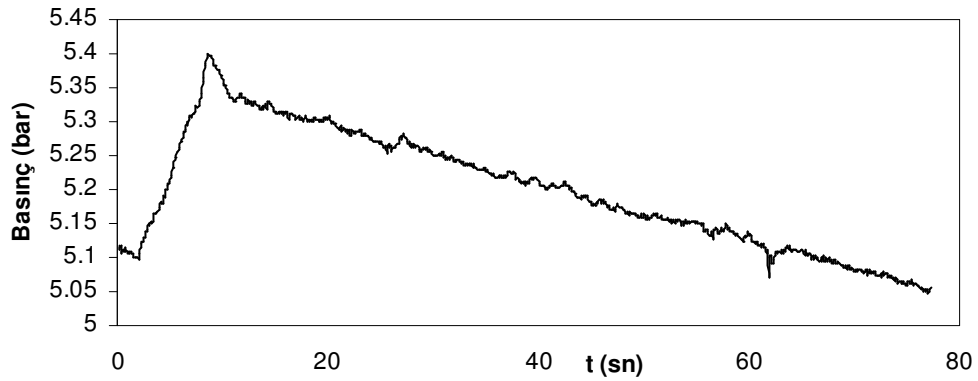
Şekil-V.16c de pnömatik motor dönmesini sağlayan basıncın değişimi görülmektedir. Çalışma boyunca pnömatik motorun hava tüketiminden dolayı besleme basıncında 0,4 bar değerinde bir azalma meydana gelmiştir. Genetik-bulanık kontrolör, bu doğal bozucu etki karşısında pnömatik motorun hızını istenilen devir referans değerinde tuttuğu gözlenmiştir.



(a)



(b)

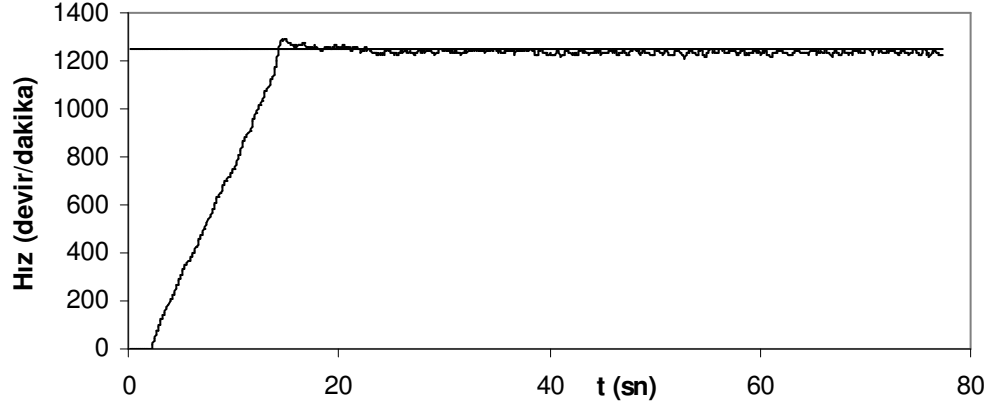


(c)

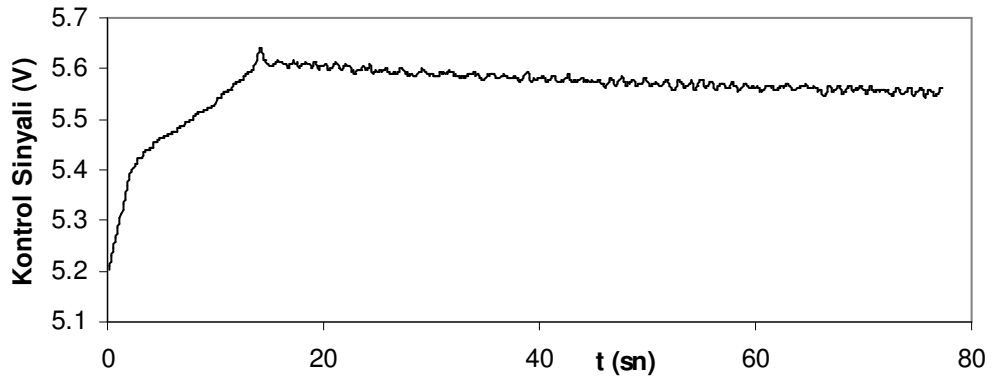
Şekil-V.16 750 devir/dakika çalışma

(a) Motor hız bilgisi (b) Kontrol sinyali (c) Basınç değişimi

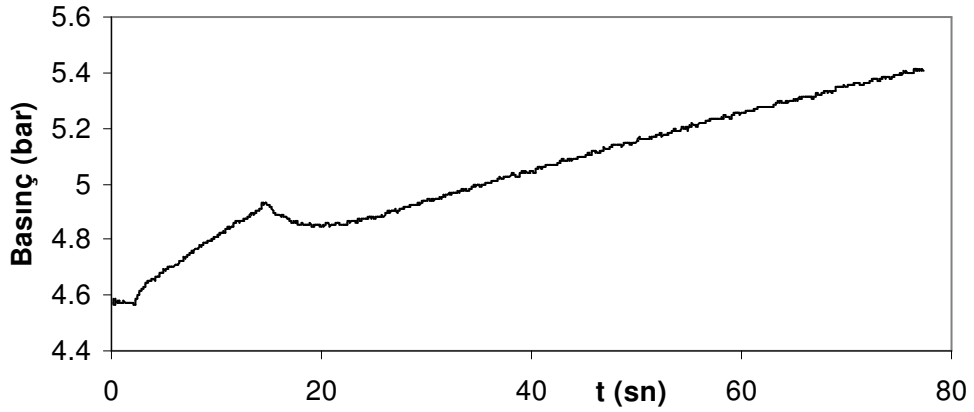
İkinci uygulamada pnömomatik motor 1250 devir/dakika da çalıştırılmıştır. Bu uygulamaya ait motor hız bilgisi, genetik-bulanık kontrol sinyali ve motoru besleme basıncındaki değişim eğrileri Şekil-V.17 de verilmiştir.



(a)



(b)



(c)

Şekil-V.17 1250 devir/dakika çalışma.

(a) Pnömatik motor hız bilgisi (b) Kontrol Sinyali (c) Basınç değişimi

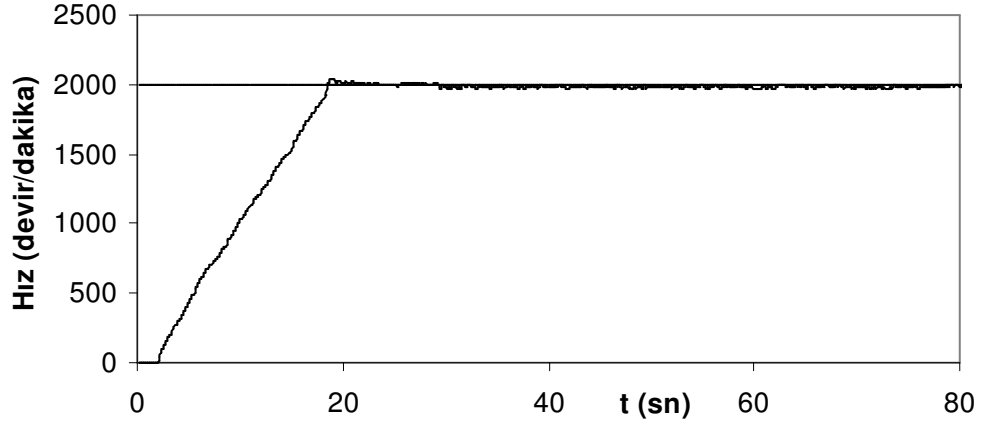
Genetik-bulanık kontrolör, pnömatik motorun hızını istenilen referans değerine 44,5 devir/dakika aşım yaptırarak 17. sn de getirtmiştir. Hava tankındaki basınç değeri kompresörün tekrar devreye girme basınç değerine geldiğinden hava tankındaki azalan havayı karşılamak üzere deneyin 22,4. sn de kompresör devreye girmiş ve hava tankındaki basınç değeri artmaya başlamıştır. Şekil-V.17b ve Şekil-

V.17c incelendiğinde bu etki pnömatik motorun hızını artırıcı yönde olduğu dolayısıyla genetik-bulanık kontrolörün istenilen devir referans değerinde motoru döndürebilmesi için kontrol sinyali azaltmaya başlamıştır. Genetik-bulanık kontrolör, pnömatik motorun hızını kalıcı hal durumunda tolerans bandı değeri içinde istenilen referans değerinde tuttuğu gözlemlenmiştir.

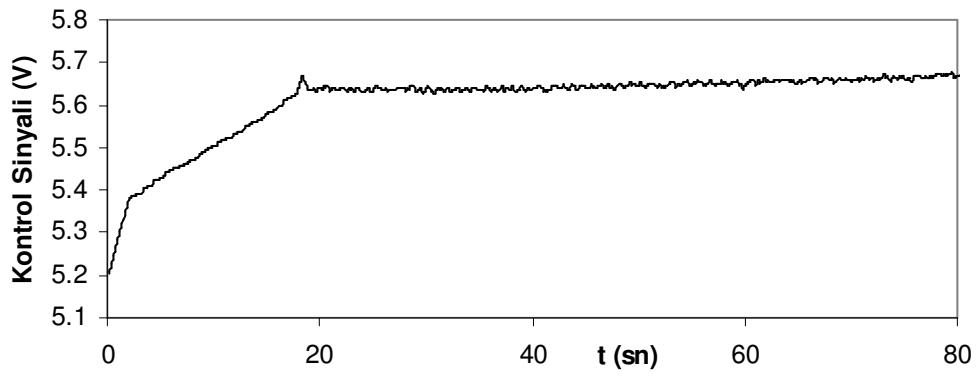
Genetik algoritmanın elde etmiş olduğu ağırlık aksiyon değerleri ve deneme yanılma yöntemi ile bulduğumuz ağırlık aksiyon değerleri ile pnömatik sistemin kontrol sonuçları incelendiğinde, genetik-bulanık kontrolör sistemi istenilen referans değerinde salınımsız bir şekilde kontrol edebilmiştir.

Üçüncü uygulamada, pnömatik motorun 2000 devir/dakika hızla dönmesi istenmiştir. Pnömatik motorun hız bilgisi, genetik-bulanık kontrol sinyali ve motorun besleme basınç eğrileri Şekil-V.18 de verilmiştir.

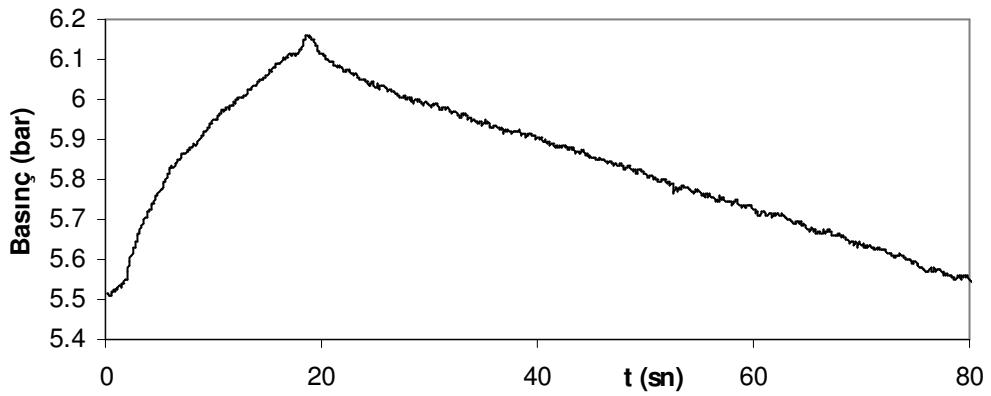
Genetik-bulanık kontrolör, ürettiği kontrol sinyali ile yapılan çalışmanın 2,1. sn de pnömatik motor döndürmeye başlayıp, istenilen referans devir değerine çalışmanın 18,5. sn de aşısız bir şekilde getirtmiştir. Kalıcı hal durumunda, genetik-bulanık kontrolör pnömatik motorun hava tüketim hızına rağmen pnömatik motorun devrini kabul edilen tolerans bandı içinde tuttuğu gözlenmiştir.



(a)



(b)

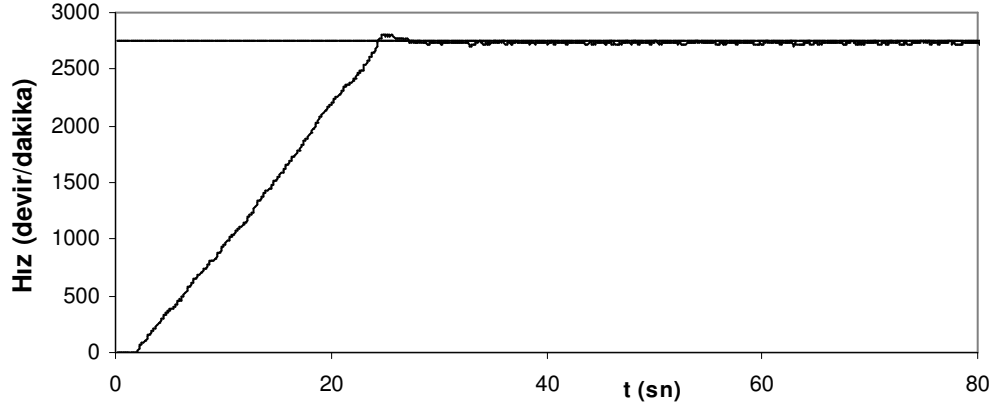


(c)

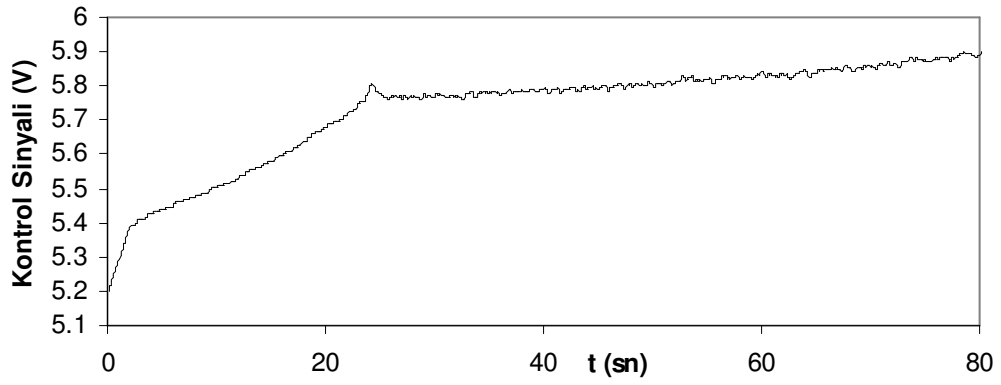
Şekil-V.18 2000 devir/dakika çalışma.

(a) Motor hız bilgisi (b) Kontrol sinyali (c) Basınç değişimi

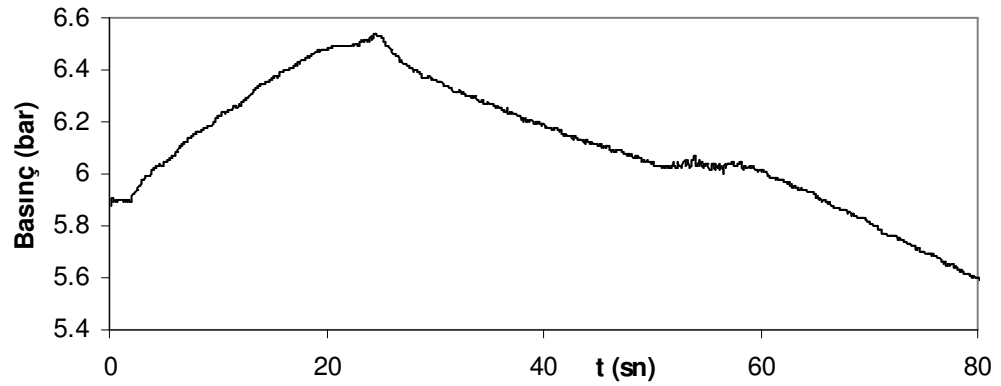
Şekil-V.19 da pnömatik motorun 2750 devir/dakika birim basamak referans değerine ait çalışma boyunca pnömatik motor hız bilgisi, genetik-bulanık kontrol sinyali ve besleme basıncına ait grafikler verilmiştir.



(a)



(b)



(c)

Şekil-V.19 2750 devir/dakika çalışma.

(a) Motor hız bilgisi (b) Kontrol sinyali (c) Basınç değişimi

Genetik-bulanık kontrolör, pnömatik motor deneyin 2,3.sn de döndürmeye başlamış ve devrini istenilen referans değerine 55 devir/dakika aşım yaparak çalışmanın 27,2.sn de getirmeyi başarmıştır. Çalışma süresince pnömatik motor istenilen referans değerinde kalıcı hal hatası olmadan dönmesini sürdürmüştür.

Bu çalışmada, genetik algoritmanın çalışması sonucu elde edilen ağırlık aksiyon değerleri pnömatik sistemi istenilen referans değerine hızlı bir şekilde getirdiği gözlenmiştir ancak istenilen referans değerine aşım yaparak gelmiştir.

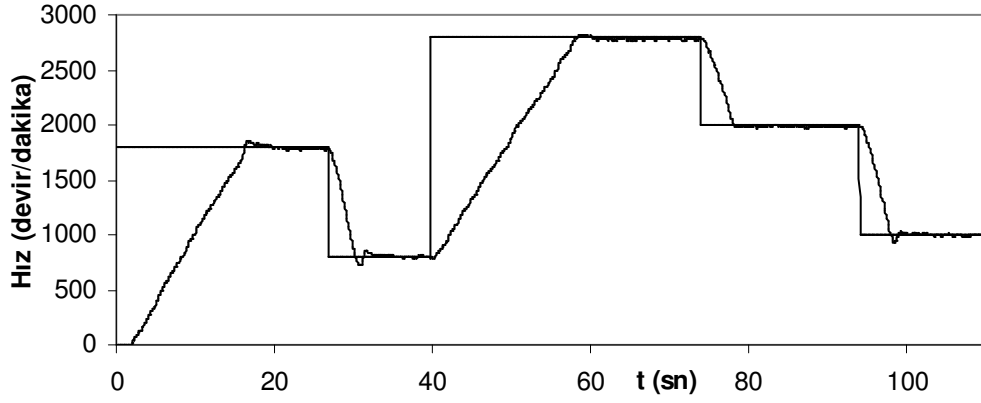
Genetik algoritmanın çevrimdışı olarak çalışmasından elde edilen bulanık kontrolörün aksiyon değerlerini, gerçek zamanlı çalışmada genetik-bulanık kontrolörün davranışı incelemek için pnömatik motor 750, 1250, 2000 ve 2750 devir/dakika değerlerinde çalıştırılmıştır. Genetik bulanık kontrolör ile pnömatik motorun çalıştırılan referans değerleri değerlendirildiğinde, bulanık kontrolörün davranışı gibi 1000 devir/dakika altındaki referans değerlerine aşımly ulaştığı ve kalıcı hal hatasında salınımlar gözlenmiştir. Ancak aşım miktarı ve salınım değerlerinde bir azalma meydana gelmiştir. 1000 devir/dakika dan fazla olan çalışmalarda ise genetik-bulanık kontrolör istenilen referans hız değerlerine aşımsız bir şekilde ulaştığı, ve kalıcı hal hatalarının kabul edilebilir tolerans bandı içinde motorun hızını sabit tutabildiği gözlenmiştir.

Yapılan uygulamaların sonucunda genetik-bulanık kontrolörün ürettiği kontrol sinyalleri incelendiğinde, pnömatik motorun yüksek devirlerde ki çalışmalarda, kalıcı durumda kontrol işaretinin arttığı gözlenmiştir. Bunun nedeni olarak pnömatik motorun yüksek devirlerdeki çalışmasında hava tüketim hızının artması dolayısıyla hava tankındaki basıncın azalmasıdır. Azalan basınç pnömatik motorun hızı üzerinde bozucu etki olarak yansımaktadır. Hava tankı içersindeki basıncı azalan havanın istenilen referans değerinde pnömatik motorunu döndürebilmesi için genetik-bulanık kontrolör, ürettiği kontrol sinyalini arttırarak debi oransal valfa gönderip basınçlı havanın debisi arttırılmaktadır. Bu sayede pnömatik motor hızı istenilen referans değerinde çalışmaktadır.

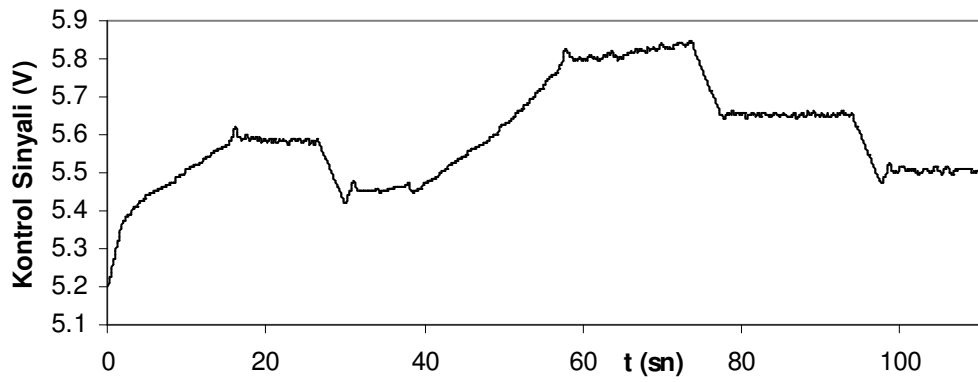
Uygulamalar sonucunda basınç değişim eğrileri incelendiğinde, pnömatik motorun çalışma hızı yükseldikçe hava sarfiyatı da artmak da bu da besleme basıncının düşmesine sebep olmaktadır. Bu etki pnömatik motor hızı üzerinde doğal bir bozucu olarak yansımaktadır. Yapılan uygulamalarda genetik-bulanık kontrolörün sistemi istenilen referans devir değerlerinde tutabildiği gözlenmiştir.

V.2.1.1 Referans Geçiş Cevabı

Bu çalışmada genetik-bulanık kontrolörün, sistemi çalışma anında değişik referans değerine geçiş cevabını görebilmek için sırasıyla pnömatik motorun hızı 1800, 800, 2800, 2000 ve 1000 devir/dakika da çalıştırılması istenmiştir. Şekil-V.20 de bu çalışmaya ait grafikler verilmiştir.



(a)



(b)

Şekil-V.20 Referans geçiş çalışması.

(a) Motor hız bilgisi (b) Kontrol sinyali

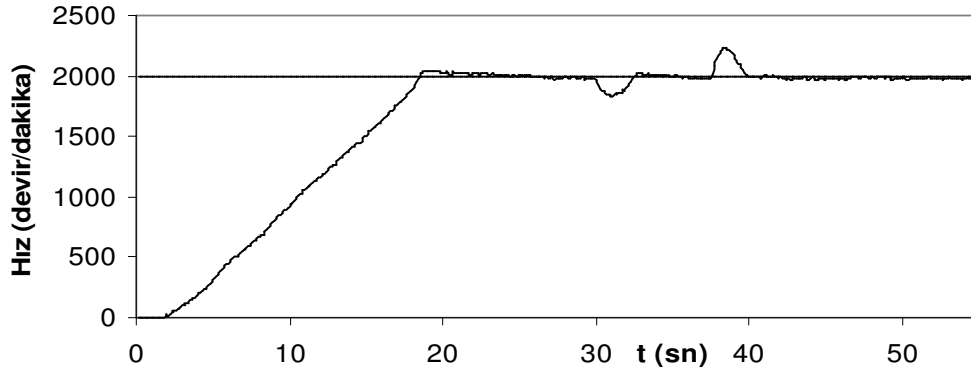
Yapılan bu çalışmada, pnömatik motorun 1800 devir/dakikada dönmesi için referans değeri girilerek sistem çalıştırıldı. Genetik-bulanık kontrolör, pnömatik motorun hızını istenilen referans değerine çalışmanın 18. sn de 54,2 devir/dakika aşım yaptırarak getirmiştir. Çalışmanın 26,8.sn de 800 devir/dakika yeni referans noktası olarak değiştirildi. Genetik-bulanık kontrolör, istenilen referans noktasına sistemi 77 devir/dakika aşım yaptırarak 32,6. sn de getirtmiştir. Gerçekleştirilen deneyin 39,7. sn de referans noktası 2800 devir/dakika olarak değiştirilmiştir. Genetik-bulanık kontrolörün, sistemi 58,3. sn de istenilen referans noktasına aşısız ve kalıcı hal hatası olmadan getirtmiştir. Referans değerleri sırasıyla 2000 ve 1000 devir /dakika olarak ayarlanmış ve genetik-bulanık kontrolörün hızlı bir şekilde sistemi istenilen yeni referans noktalarına getirdiği görülmüştür. İstenilen referans değerlerinde kalıcı hal hatası gözlenmemiştir.

Yapılan bu çalışma sonucunda, genetik-bulanık kontrolör referanslar arası geçişte sistemi istenilen yeni referans noktalarına hızlı bir şekilde getirebildiği görülmüştür. 1000 devir/dakika ve altındaki devir değerlerinde istenilen referans

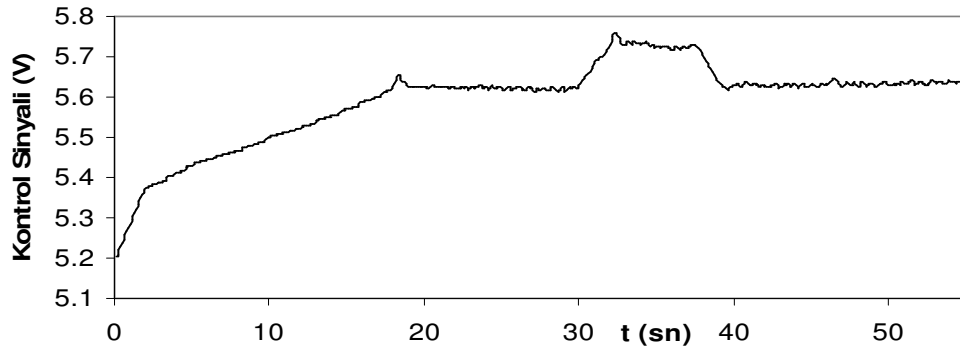
değerine aşım yaparak istenilen referans değerine oturduğu, daha yüksek devirlerde ise aşımsız bir şekilde istenilen referans noktasına gelindiği gözlenmiştir.

V.2.1.2 Bozucu etki davranışı

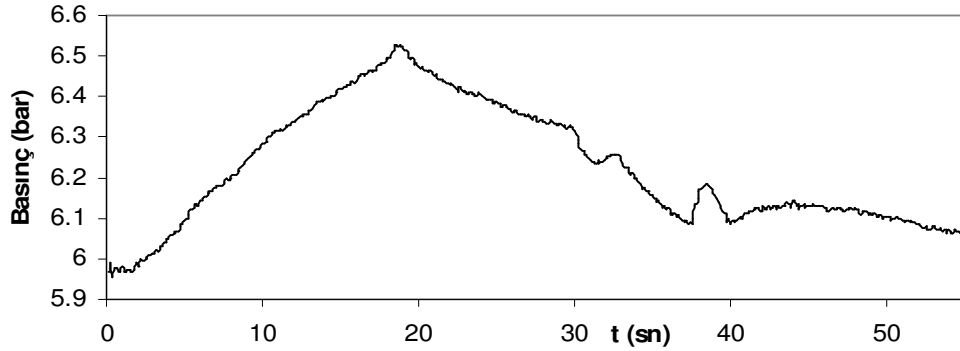
Şekil-V.21 de verilen grafiklerde, gerçekleştirilen genetik-bulanık kontrolörün, pnömatik motorun hızına dışarıdan ithal edilen bir bozucu etki karşısında performansı incelenmiştir.



(a)



(b)



(c)

Şekil-V.21 Bozucu etki altında çalışma.

(a) Motor hız bilgisi (b) Kontrol sinyali (c) Basınç değişimi

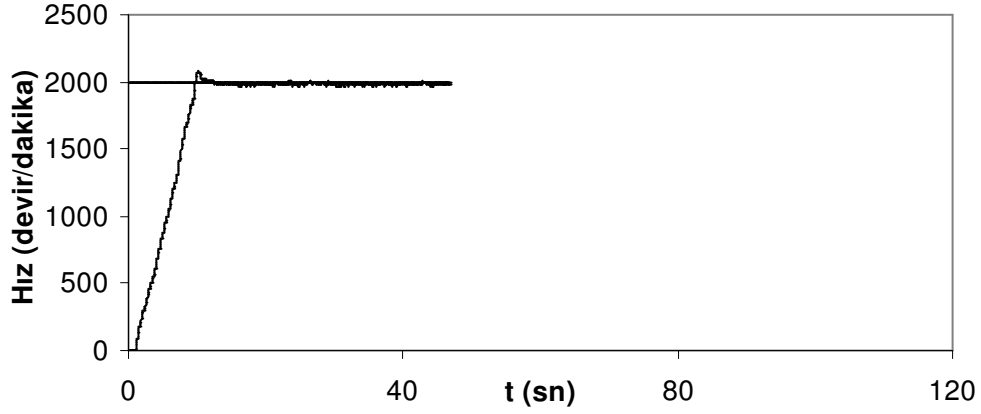
Pnömatik motorun hızı 2000 devir/dakika referans değerinde çalışırken 30. sn de pnömatik motorun egzoz çıkışı 7,6 sn boyunca kapatılarak motorun hızı üzerine hava tankında azalan basınçlı havadan kaynaklanan doğal bozucu yanında harici bir bozucu etki ithal edilmiştir. Bu etki altında motorun hızı 1835,9 devir/dakika seviyelerine düşmüştür. Genetik-bulanık kontrolör, motordaki hız azalmasını durdurup tekrar sistemi çalıştığı referans noktasına deneyin 33. sn de aşım ve kalıcı hal hatası olmadan getirtmiştir. Deneyin 53. sn de sisteme ithal edilen bozucu etki kaldırıldığında pnömatik motorun hızı 2228,2 devir/dakika seviyelerine çıkmıştır. Genetik-bulanık kontrolör, pnömatik motorun hızını istenilen referans değerine çalışmanın 40,1. sn de tekrar aşısız bir şekilde getirtmiştir. Şekil-V.21b kontrol sinyaline ait grafik incelendiğinde, genetik-bulanık kontrolör, bozucu etkinin pnömatik motor üzerine olan etkisini kaldırmak için kontrol işaretini arttırmıştır. Bozucu etki ortandan kalktığına da genetik-bulanık kontrolör, pnömatik motorunu istenilen referans devir değerinde tutabilmek için kontrol sinyalini azaltmıştır.

Sonuç olarak, genetik-bulanık kontrolör, egzoz havasının kapatılması sonucu oluşan bozucu etki ve besleme basıncı etkisiyle oluşan doğal bozucu karşısında pnömatik motorun hızını kontrol edebilmiştir.

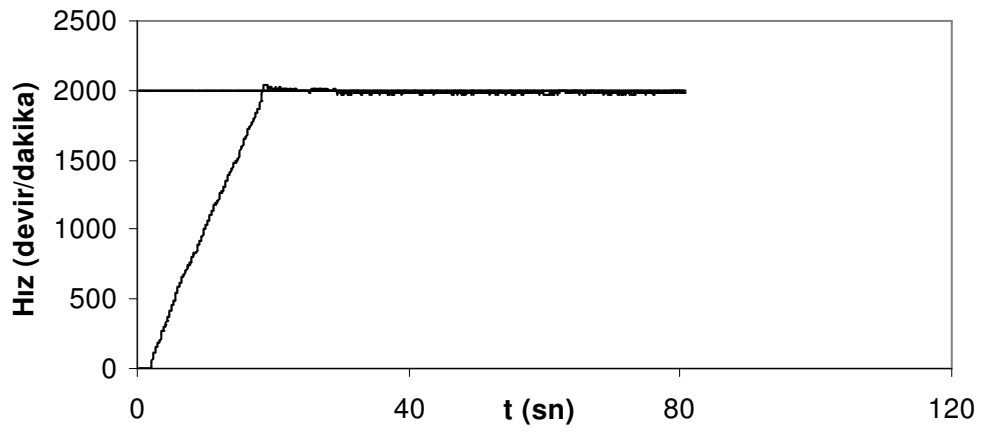
Genetik-bulanık kontrolör ile bulanık kontrolör davranışlarına bakıldığında, her iki kontrolör de sistemi hızlı bir şekilde bozucu etkiyi kaldıracak yönde hareket ettikleri gözlenmiştir. Bulanık kontrolörde aşım ve salınım gözlenirken, genetik-bulanık kontrolörde aşım ve salınım gözlenmemiştir.

V.2.1.3 Örneklem Zamanı Etkisi

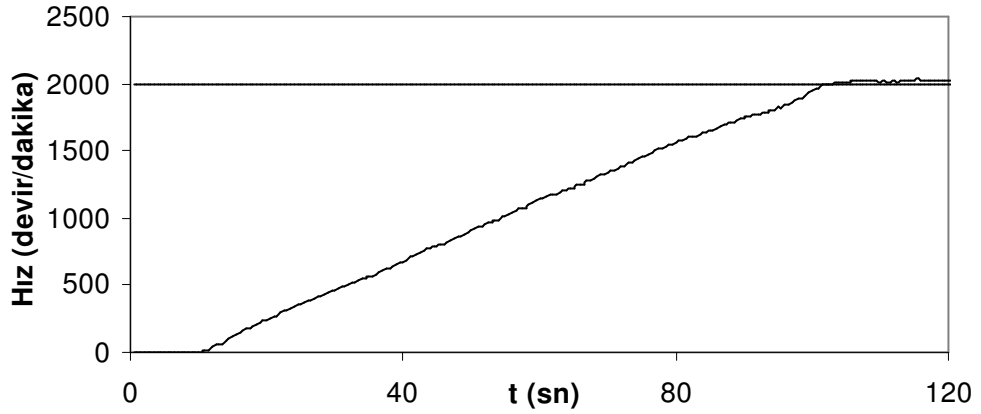
Tasarlanan genetik-bulanık kontrolörün değişik örneklem zamanlarının etkisini görmek için 50 msn, 100 msn ve 500 msn örneklem zamanları seçilerek bakılmıştır. Uygulamaya ilişkin eğriler Şekil-V.22 de verilmiştir.



(a)



(b)



(c)

Şekil-V.22 Örneklem zamanının etkisi

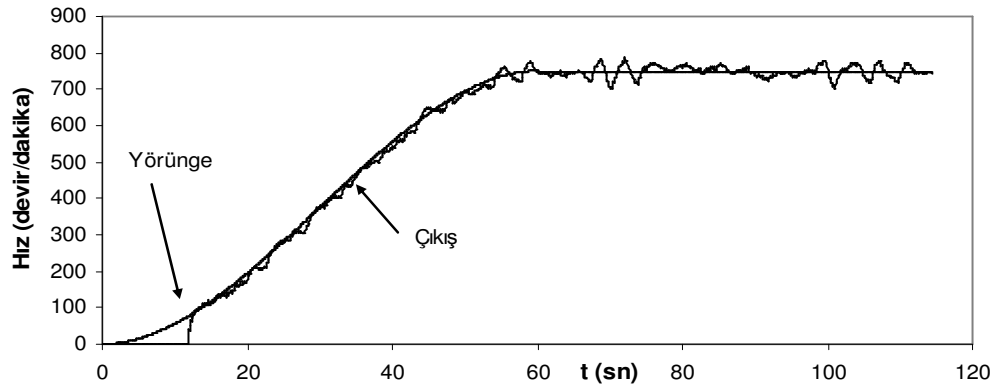
(a) 50 msn (b) 100 msn (c) 500 msn

Bu yapılan üç deney çalışmasında, genetik-bulanık kontrolör, pnömatik motorun hızını istenilen birim basamak referans değerine aşırı ve kalıcı hal hatası oluşmadan ulaştırdığı görülmüştür. Örneklem zamanının etkisi sistemin istenilen referans değerine yükselme ve oturma süresinde etkisi olduğu gözlenmiştir.

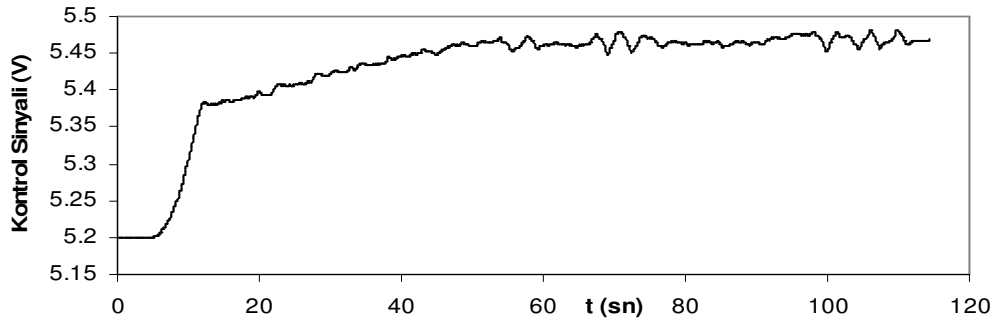
Genetik-bulanık kontrolör ile bulanık kontrolör davranışları incelendiğinde, genetik-bulanık kontrolör pnömatik sistemi örnekleme zaman aralığı arttığında bile bulanık kontrolöre göre daha hızlı kontrol edebilmektedir.

V.2.2 Genetik-Bulanık Kontrolörün Yörünge Takip Cevabı

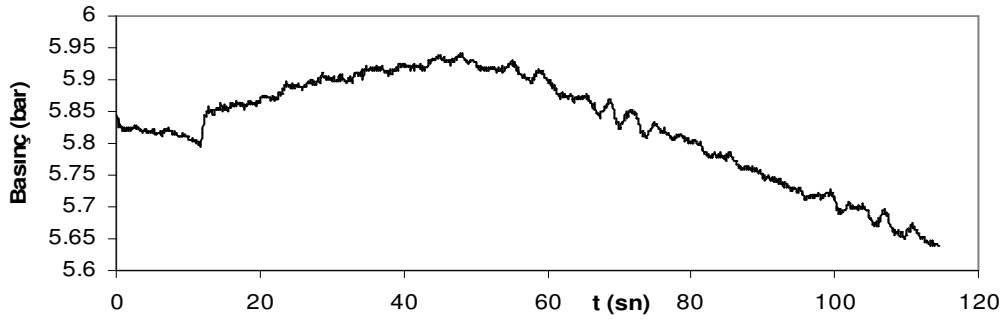
İlk uygulamada pnömatik motorun çizilen yörüngeyi takip ederek 750 devir/dakika hızla dönmesi istenmiştir. Şekil-V.23 de bu çalışmaya ilişkin hız, genetik-bulanık kontrol işareti ve motoru besleme basıncındaki değişime ilişkin grafikler verilmiştir.



(a)



(b)



(c)

Şekil-V.23 Yörüngeli 750 devir/dakika çalışma

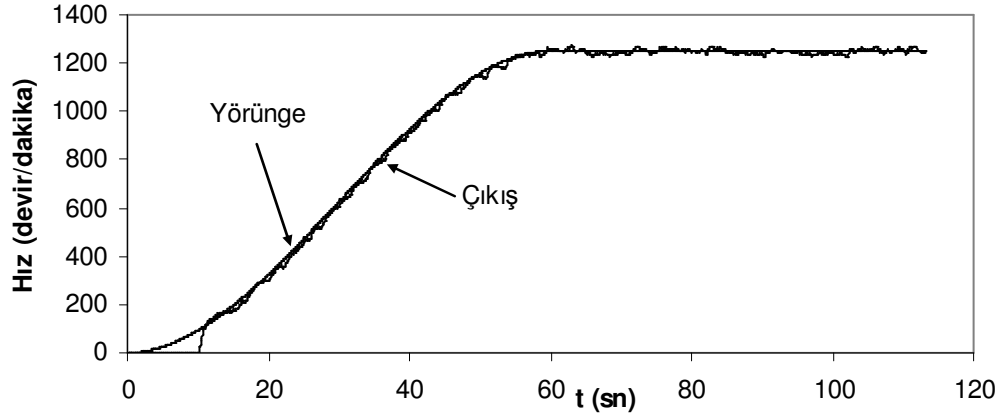
(a) Motor hız bilgisi (b) Kontrol sinyali (c) Basınç değişimi

Genetik-bulanık kontrolör, pnömatik motorun hızı yapılan çalışmanın 12,9. sn de yörünge referans değerine ulaştırmış ve yörüngeyi istenilen referans değerine kadar takip ettirtmiştir. Pnömatik motorun hızı, kalıcı hal durumu olan istenilen referans değerinde 50 devir/dakika salınım yaptığı gözlenmiştir. Şekil-V.1c de pnömatik motor dönemsini sağlayan basıncın değişimi görülmektedir. Çalışma boyunca motorun hava tüketiminden dolayı tanktaki basınç 5,9 bar dan 5,65 bara kadar azalmaktadır.

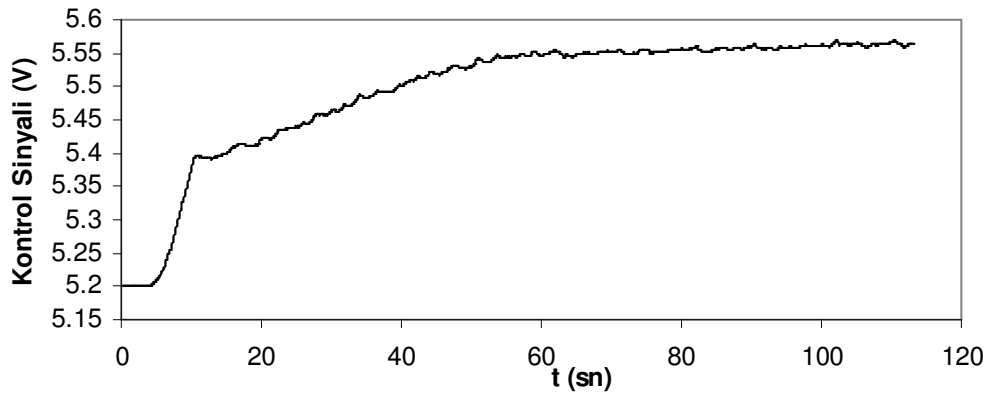
Genetik-bulanık kontrolörü sistemi daha hızlı kontrol ettiği ancak bulanık kontrolörün ise pnömatik sistemi kontrolünün daha iyi olduğu gözlenmiştir.

İkinci uygulamada pnömatik motor yörünge referans değeri 1250 devir/dakika değerinde çalıştırılmıştır. Şekil-V.24 de bu uygulamaya ait motor hız bilgisi, genetik-bulanık kontrol sinyali ve motoru besleme basıncındaki değişim eğrileri verilmiştir.

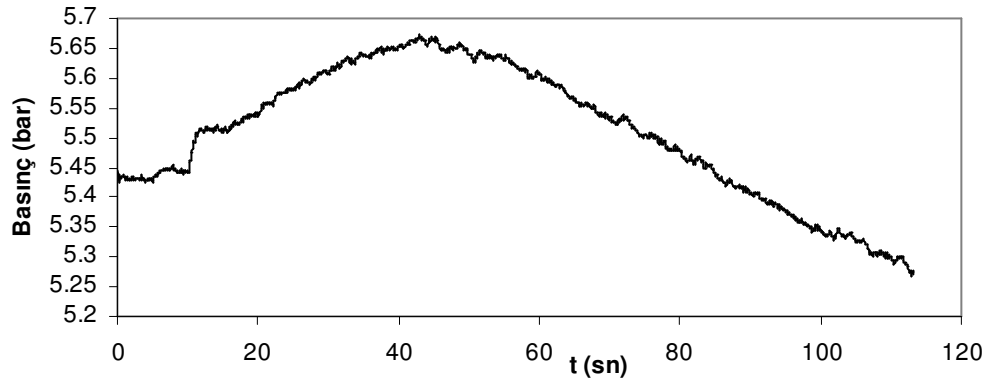
Genetik-bulanık kontrolör, pnömatik motorun hızı yörünge değerine deneyin 11,2. sn de getirtmiştir. Genetik-bulanık kontrolör, yörünge ve kalıcı hal durumunda pnömatik motorun hızını kabul edilen tolerans bandı içinde kontrol etmiştir.



(a)



(b)

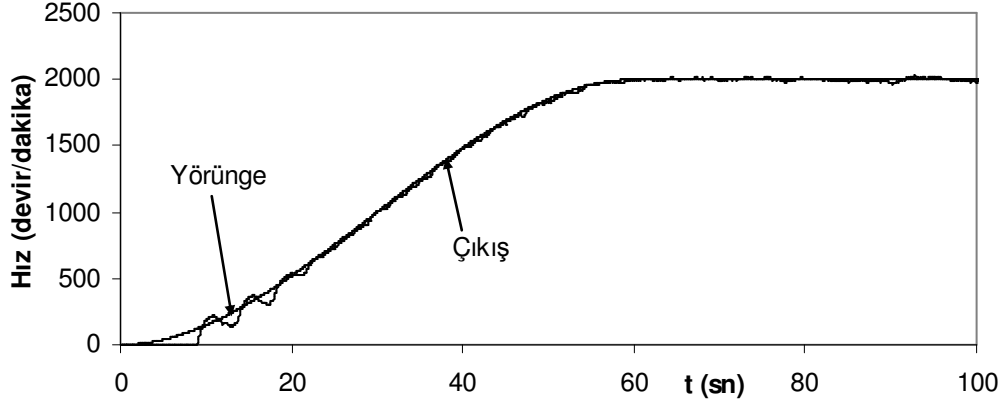


(c)

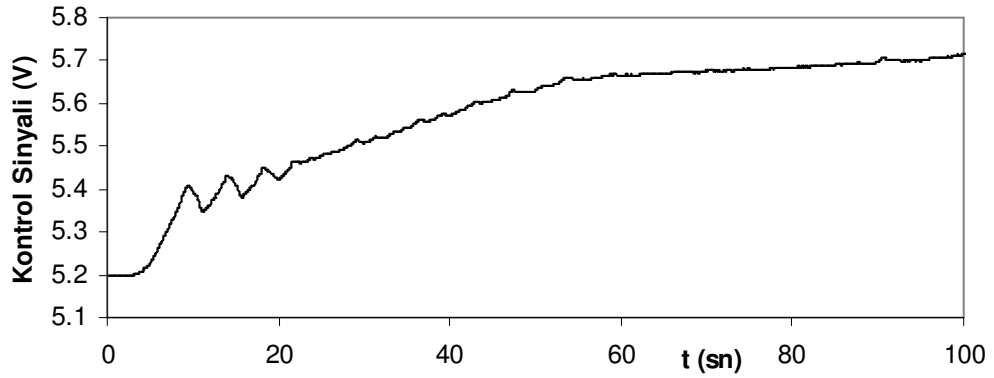
Şekil-V.24 Yörüngeli 1250 devir/dakika çalışma.

(a) Pnömatik motor hız bilgisi (b) Kontrol Sinyali (c) Basınç değişimi

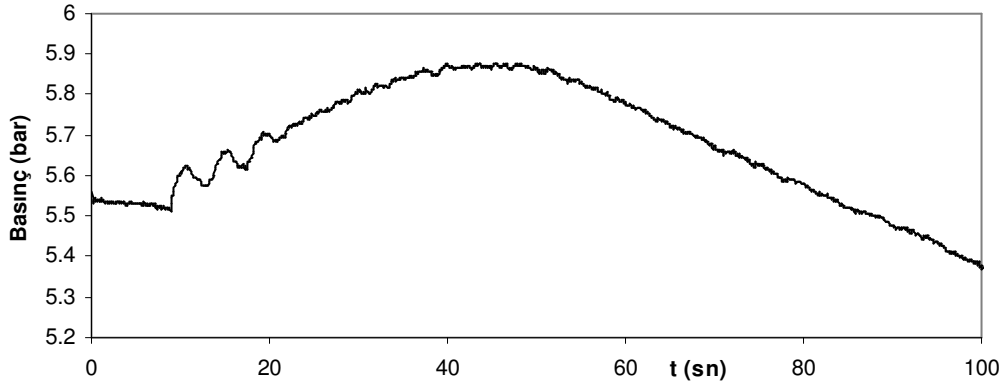
Üçüncü uygulamada, pnömatik motorun 2000 devir/dakika hızla dönmesi istenmiştir. Pnömatik motorun hız bilgisi, genetik-bulanık kontrol sinyali ve motorun besleme basınç eğrileri Şekil-V.25 de verilmiştir.



(a)



(b)



(c)

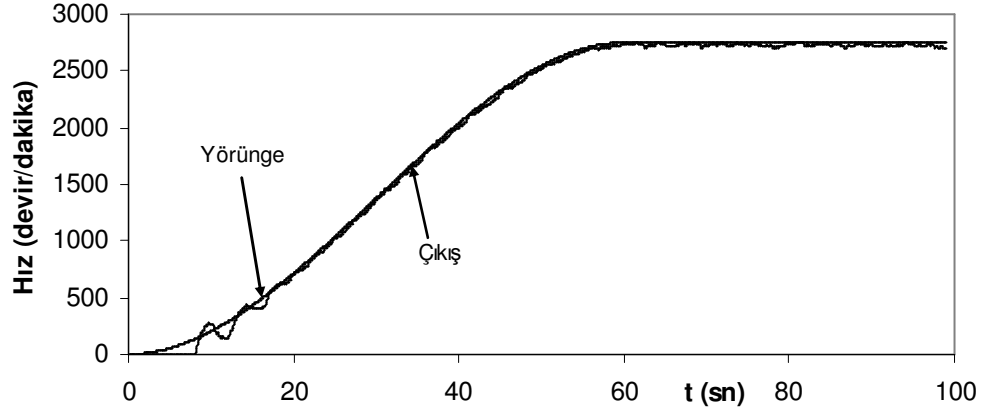
Şekil-V.25 2000 devir/dakika çalışma.

(a) Motor hız bilgisi (b) Kontrol sinyali (c) Basınç değişimi

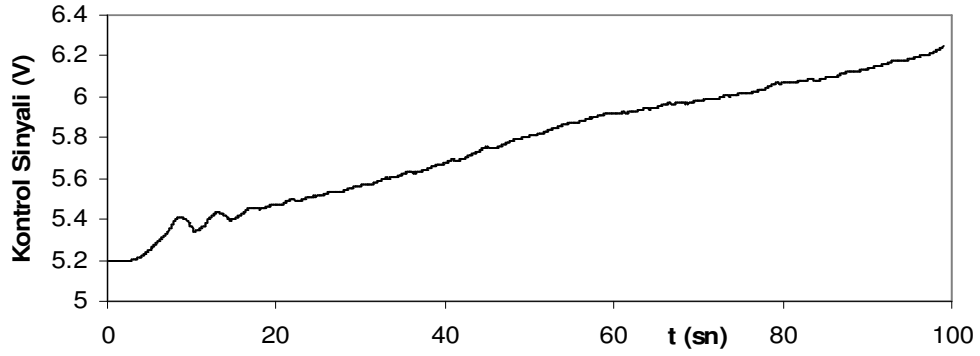
Genetik-bulanık kontrolör üretmiş olduğu kontrol sinyali çalışmanın 11,5. sn de pnömatik motorunu döndürmeye başlayıp ve istenilen referans değerine çalışmanın 27. sn de aşısız bir şekilde getirmiştir.

Genetik-bulanık kontrolör ile yörünge değerine yaklaşılrken bir salınım gözlenmiştir.

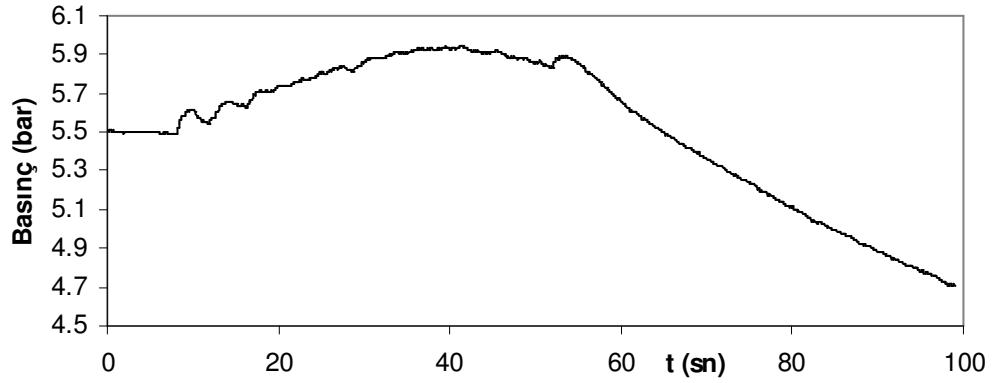
Motor hızının 2750 devir/dakika olarak ayarlanan son çalışmaya ait motor hız bilgisi, genetik-bulanık kontrol sinyali ve motor besleme basınç grafikleri Şekil-V.26 da verilmiştir.



(a)



(b)



(c)

Şekil-V.26 2750 devir/dakika çalışma.

(a) Motor hız bilgisi (b) Kontrol sinyali (c) Basınç değişimi

Genetik-bulanık kontrolör, pnömatik motorun hızını yörünge değerine çalışmanın 10,5.sn de aşımli bir şekilde getirmiştir. Pnömatik motor hızı istenilen yörünge ve referans değerinde genetik-bulanık kontrolör tarafından kontrol edildiği

gözlenmiştir. Şekil-V.26b ve Şekil-V.26c grafikleri incelendiğinde, pnömatik motorun yüksek devirlerde hava tüketim hızının fazla olduğunu ve genetik-bulanık kontrolörün, pnömatik motorun hızını istenilen referans değerinde tutabilmek için kontrol işaretini sürekli olarak arttırdığı gözlenmiştir.

Gerçekleştirilen genetik-bulanık kontrolörün davranışı, pnömatik motorun 750, 1250, 2000 ve 2750 devir/dakika değerlerinde incelenmiştir. Genetik-bulanık kontrolör, pnömatik motorun hızı 1000 devir/dakika ve altındaki yörüngeli referans değerlerinde, yörüngenin takip edildiği ancak kalıcı hal durumunda salınımlar olduğu gözlenmiştir. 1000 devir/dakika yörüngeli referans değerlerinde ise bulanık kontrolörden daha hızlı bir şekilde kontrol ettiği, aşım yapmadan istenilen referans değerine ulaştığı ve kalıcı hal durumunda salınımların olmadığı gözlenmiştir.

Yapılan uygulamalarda genetik-bulanık kontrolörün üretmiş olduğu kontrol sinyalleri incelendiğinde, pnömatik motorun yüksek devirlerdeki çalışmalarda, kalıcı durumda kontrol işaretinin arttığı gözlenmiştir. Bu artışın nedeni hava tüketiminden kaynaklanan basınç azalmasının etkisini kaldırmak üzeredir.

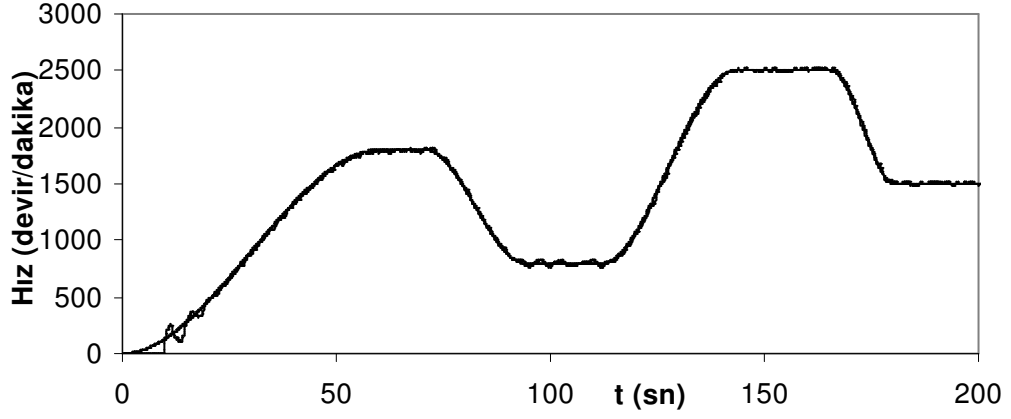
Uygulamalar sonucunda basınç değişim eğrileri incelendiğinde, pnömatik motorun çalışma hızı yükseldikçe hava sarfiyatı da artmak da bu da besleme basıncının düşmesine sebep olmaktadır. Bu etki pnömatik motor hızı üzerinde doğal bir bozucu etki olarak yansımaktadır. Yapılan uygulamalarda genetik-bulanık kontrolörün sistemi istenilen referans devir değerlerinde tutabildiği gözlenmiştir.

V.2.2.1 Referans Geçiş Cevabı

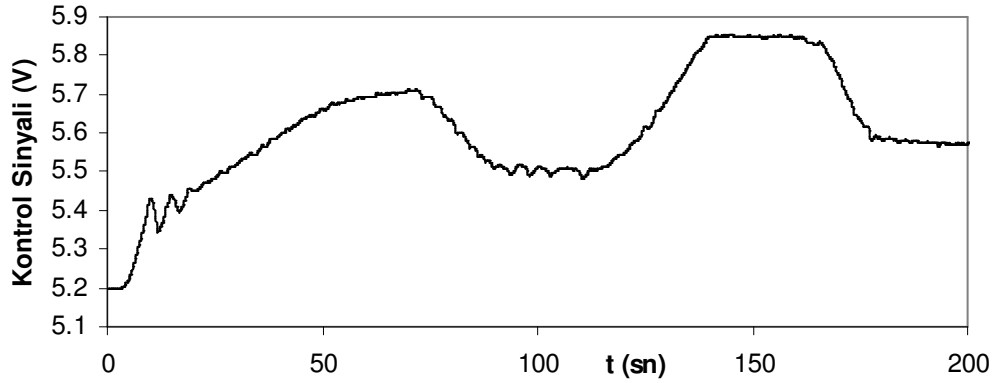
Bu çalışmada bulanık kontrolörün, sistemi çalışma anında değişik referans değerine geçiş cevabını görebilmek için sırasıyla pnömatik motorun hızı 1800, 800, 2500 ve 1500 devir/dakika değerlerinde çalıştırılması istenmiştir. Şekil-V.27 de bu çalışmaya ait grafikler verilmiştir.

Yapılan bu çalışmada, pnömatik motorun 1800 devir/dakikada dönmesi için referans değeri girilerek sistem çalıştırıldı. Genetik-bulanık kontrolör, pnömatik motorun hızını istenilen referans değerine ulaşması için yörüngeye çalışmanın 14,9. sn de aşımli bir şekilde getirmiştir. Pnömatik motorun hızı yörünge değerini ve kalıcı hal durumunda istenilen referans değerinde döndüğü gözlenmiştir. Çalışmanın 70,9.sn de devir değeri 800 devir/dakika yeni referans noktası olarak değiştirildi. Genetik-bulanık kontrolör, istenilen referans noktasına çizilen yörüngeyi takip ederek aşımsız bir şekilde getirmiştir. Deneyin 112,2. sn de referans noktası 2750 devir/dakika olarak değiştirilmiştir. Genetik-bulanık kontrolörün, pnömatik motorun hızını yapılan deneyin 143,1. sn de istenilen referans noktasına yörüngeyi takip

ederek aşırı bir şekilde getirebilmiştir. Referans değerleri 1500 devir /dakika olarak ayarlanmış ve genetik-bulanık kontrolörün hızlı bir şekilde sistemi istenilen yeni referans noktasına yörünge üzerinden getirdiği görülmüştür. İstenilen referans değerlerinde ve yörünge takibi sırasında kalıcı hal hatası gözlenmemiştir.



(a)



(b)

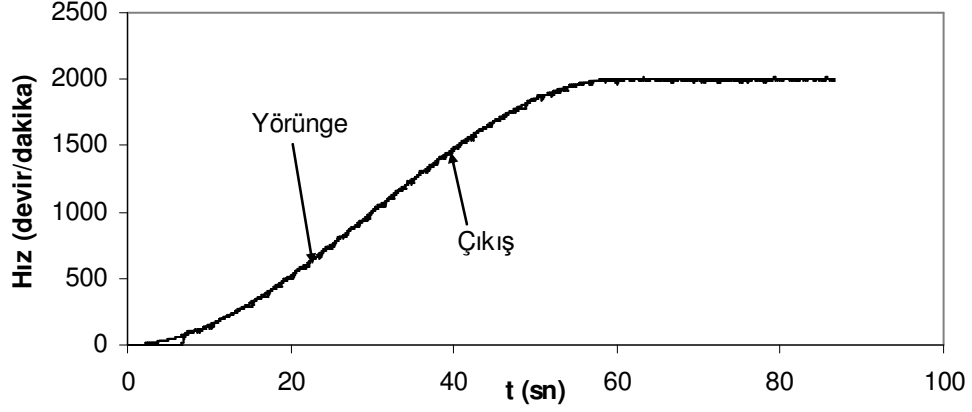
Şekil-V.27 Yörüngeli referans geçiş çalışması

(a) Motor hız bilgisi (b) Kontrol işareti

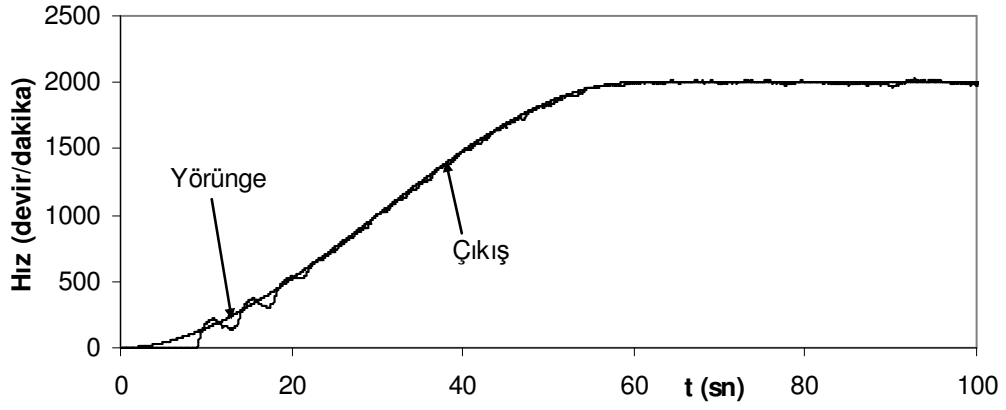
Yapılan bu çalışma sonucunda, genetik-bulanık kontrolör referanslar arası geçişte sistemi istenilen yeni referans noktalarına hızlı bir şekilde getirebildiği görülmüştür. 1000 devir/dakika ve altındaki devir değerlerinde kalıcı hal durumunda referans çevresinde ufak salınımlar yaptığı, yüksek devirlerde ise istenilen referans değerinde salınım ve kalıcı hal hatası olmadığı gözlenmiştir.

V.2.2.2 Örnekleme Zamanı Etkisi

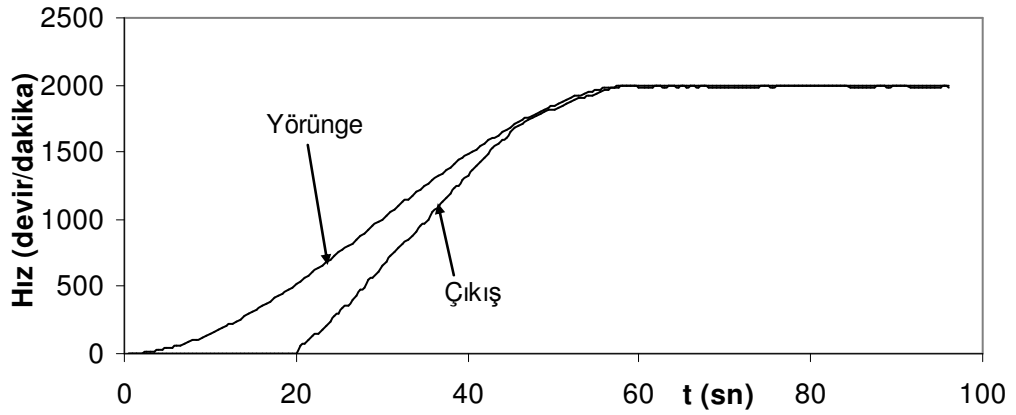
Örnekleme zamanının, tasarlanan genetik-bulanık kontrolör davranışına etkisini görmek için 50 msn, 100 msn ve 500 msn örnekleme zamanları seçilerek deneyler gerçekleştirilmiştir. Uygulamaya ilişkin eğriler Şekil-V.28 de verilmiştir.



(a)



(b)



(c)

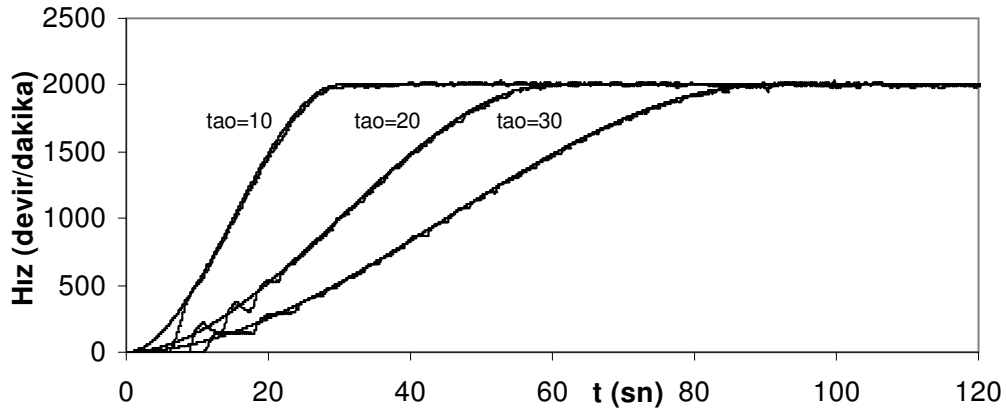
Şekil-V.28 Örnekleme zamanının etkisi

(a) 50 msn (b) 100 msn (c) 500 msn

Bu üç deney çalışmasında, genetik-bulanık kontrolör, pnömatik motorun hızını yörünge değeri üzerinden istenilen referans değerine ulaştırdığı görülmüştür. Örneklem zamanının etkisi pnömatik motorun hızının yörünge değerini yakalama süresi üzerinde etkili gözlenmiştir. Örneklem aralığı büyüdükçe yörünge değeri bir kalıcı hal hatası ile takip etmektedir.

V.2.2.3 Yükselme Zamanı Etkisi

Yapılan bu çalışmada, referans yörünge çiziminde kullanılan gecikme zamanın genetik-bulanık kontrolör üzerindeki etkisi incelenmiştir. Yapılan deneylerde gecikme zamanı 10, 20 ve 30 olarak alınmıştır. Çalışmaya ait grafik Şekil-V.29 da verilmiştir.



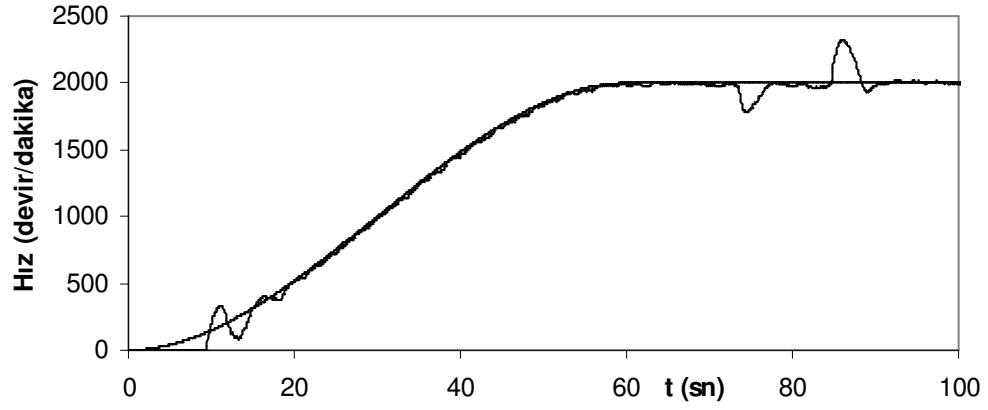
Şekil-V.29 Yörüngeli 2000 devir/dakika yükselme zamanı etkisi

Yükselme zamanının etkisi istenilen referans değerine ulaşma süresinde ve pnömatik motorun hızının yörünge değerine ulaşma zamanında bir etkisi olduğu gözlemlenmiştir. İstenilen referans değerine istenilen gecikme süresi sonunda varmaktadır. Genetik-bulanık kontrolör istenilen gecikme zamanında da pnömatik motorun hızını yörünge referans değerinde çalıştırdığı gözlemlenmiştir.

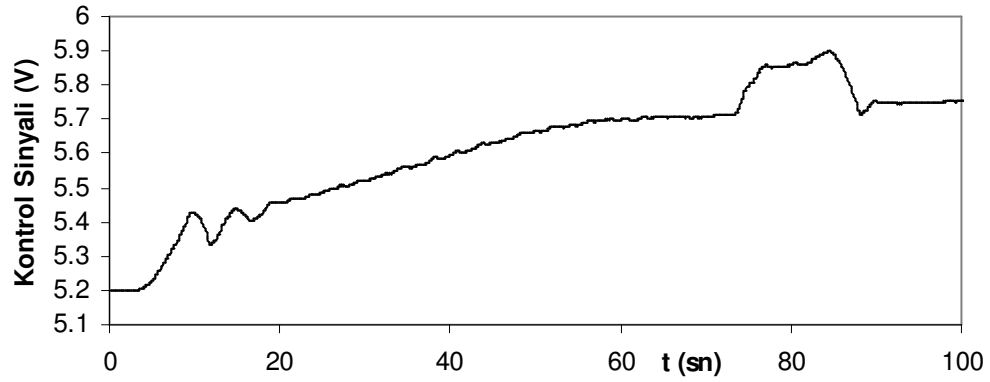
V.2.2.4 Bozucu Etki

Şekil-V.230 de ki grafikte, pnömatik motorun istenilen 2000 devir/dakika yörüngeli referans değerine ulaştıktan sonra sisteme etki eden bozucu etki karşısındaki bulanık kontrolörün davranışı verilmiştir. Pnömatik motor istenilen referans değerine ulaştıktan sonra çalışmanın 83,5. sn de pnömatik motorun egzoz çıkışı kapatılarak motorun dönmesini sağlayan iç basınç kuvveti değiştirilmiştir. Şekil-V.27 de görüleceği gibi motorun devrinde bir azalma olmaktadır. Bulanık kontrolör, motordaki

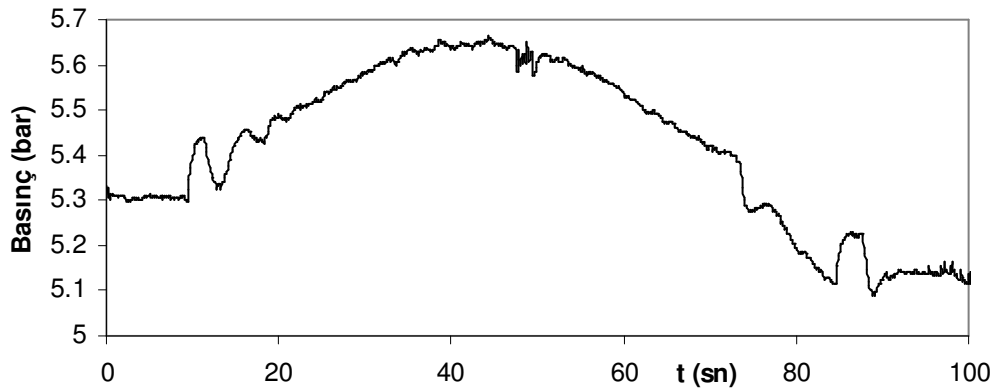
bu devir azalmasını hızlı bir şekilde durdurup tekrar sistemi çalıştığı referans noktasına 90. sn de getirtmiştir. 97. sn de sisteme ithal edilen bozucu etki kaldırıldığında, pnömatrik motorun devri artmıştır. Bulanık kontrolör, pnömatrik motorun devri istenilen yörüngeli referans değerine 103. sn de getirtmiştir. Bulanık kontrolörün çalışma boyunca üretmiş olduğu kontrol sinyali Şekil-V.28 de verilmiştir.



(a)



(b)



(c)

Şekil-V.30 Yörünge takipli bozucu etki çalışması

(a) Motor hız bilgisi (b) Kontrol sinyali (c) Basma değışimi

BÖLÜM – VI

TARTIŞMA VE DEĞERLENDİRME

Yaptığımız pnömatik sistem üzerinde esnek programlama tekniği kullanarak yörünge takipli devir kontrolü gerçekleştirilmiştir. Yörüngeli takipli devir kontrolü için bulanık kontrolör ve genetik bulanık kontrolör tasarlanmıştır. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen bulgular;

1. Tasarlanan bulanık kontrolör ile pnömatik motorun devir kontrolü referans veya yörünge takipli kontrolü gerçekleştirilmiştir. Pnömatik motoru kontrolü için Sugeno tipinde bir bulanık kontrolör tasarlanmıştır. Bulanık kontrolörde hata ve hatanın değişimi için 5 ve 3 adet üyelik fonksiyonu ve 15 kontrol kuralı kullanılmıştır. Üyelik fonksiyonlarının başlangıç değerleri ve değişim aralık değerleri ile aksiyon ağırlık değerlerinin değişim aralık değerleri tanımlanmıştır. Kontrol aşamasında motor devri değişik devir değerlerinde ve değişik yörünge değerlerinde çalıştırılmıştır. Tasarlanan bulanık kontrolör yapılan bu deneysel çalışmalarda pnömatik motorun devrini istenilen referans değerlerine veya yörünge değerinde kontrol edebilmektedir. Örneklem zamanının kontrol işlemi üzerinde etkisi incelenmiştir. Bulanık kontrolör pnömatik motoru devir değeri istenilen referans değerine veya yörünge değerine getirmeyi başarmasına karşın örneklem zamanının oturma süresine etki ettiği görülmüştür. Yapılan deney sürecinde çalışılan referans değerinden başka referans değerlerine geçiş yaparak bulanık kontrolörün davranışı gözlemlendiğinde pnömatik motorun devrini

istenilen devir değerine hızlı bir şekilde aşimsız ve kalıcı hal hatası olmadan getirebilmektedir. Yörünge takipli çalışmada girilen gecikme zamanı ile yapılan deneysel çalışmalarda yörünge eğim değeri değiştirilerek istenilen devir değerine ulaşma süresi değiştirilmiştir. Pnömatik motorun devir bilgisi çizdirilen yörünge değerini takip edebildiği görülmüştür.

Pnömatik sistemlerin hava tüketimi söz konusu olduğunda basınçlı hava miktarında bir azalma söz konusu olmaktadır. Bu etki pnömatik motor üzerinde bir doğal bozucu etki yaratmaktadır. Tasarlanan bulanık kontrolör deneysel çalışma süresinde etki eden bu doğal bozucu etkiye karşı pnömatik motoru istenilen devir seviyesinde tutmayı başarmıştır. Sistemdeki hava çıkışı engellemesi dışarıdan ithal edilen bozucu etki altında pnömatik motorun devrini hızlı bir şekilde aşimsız ve kalıcı hal hatası oluşmadan istenilen devir değerine getirmiştir.

2. Pnömatik sistemlerin, modelinin elde edilmesi zor veya uzun bir süreç almaktadır. Bu amaçla sistemin modeli yapay sinir ağı yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Pnömatik sistemin YSA modeli için, ileri yönlü besleme modeline dayanan ve eğitim için geriye doğru hata yayılma algoritması kullanan 3 katmanlı bir YSA oluşturulmuştur.

3. Bulanık kontrolörün dizayn aşamasında bir uzman tecrübesine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu uzman tecrübenin elde edilmesinin zor olduğu veya çok zaman gerektiren durumlar meydana gelebilir. Genetik algoritma kullanarak bu durum ortadan kaldırılabilir.

Gerçekleştirmiş olduğumuz genetik bulanık kontrolörde, SGA algoritması kullanılarak, bulanık kontrolör aksiyon ağırlık değerleri kromozom içinde kodlanmıştır. Bu amaç için, gerçekleştirilen klasik SGA algoritmasına bazı ilaveler yapılmıştır. Bunlardan bazıları: Turnuva seçim yöntemi, Rulet seçim yöntemi, çaprazlama ve mutasyon olasılığı, Elistik model, dinamik oran ve Random olarak sayılabilir.

Pnömatik motoru kontrolü için Sugeno tipinde bir bulanık kontrolör tasarlanmıştır. Bulanık kontrolörde hata ve hatanın değişimi için 5 ve 3 adet üyelik fonksiyonu ve 15 kontrol kuralı kullanılmıştır. Üyelik fonksiyonlarının başlangıç değerleri ve değişim aralık değerleri ile aksiyon ağırlık değerlerinin değişim aralık değerleri tanımlanmıştır. Ayrıca bulanık kontrolör aksiyon ağırlığı değerleri bulmak için genetik yöntem kullanılmıştır. Genetik bulanık kontrolör tarafından bulunan bulanık kontrolör parametreleri ile yapılan deneylerde,

pnömatik motorun devri değişik referans değerlerinde ve yörünge takipli kontrolü gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneysel çalışmalar incelendiğinde genetik bulanık kontrolör ile elde edilen sonuçlarda pnömatik motor devrini istenilen devir değerine bulanık kontrolör ile yapılan çalışmalardan daha hızlı bir şekilde getirdiği gözlenmiştir. Genetik bulanık kontrolör ile yapılan çalışmalarda kalıcı hal durumunda salınımların kabul edilebilir tolerans bandı içinde kaldığı gözlenmiştir. Örnekleme zamanının etkisi üzerine yapılan deneysel çalışmalarda genetik bulanık kontrolör, bulanık kontrolöre göre yörünge değerini yakalayabilmiş ve kontrol edebilmiştir. Bulanık kontrolör ise yörüngeyi kalıcı hal hatası ile takip edebilmiştir.

4. Genetik algoritmanın performansı, genetik algoritma parametrelerine ve bunların değerlerine bağlıdır. Bu parametrelerin birbirleri ile olan ilişkisi lineer değildir ve sistemden sisteme değişmektedir.
5. Eğitim açısından düşünüldüğünde kullanımı kolay, görsel bir ara yüzü olan, parametreleri kullanıcı tarafından değiştirerek genetik algoritmanın çalışmasının anlaşılmasını sağlayan bir genetik bulanık kontrolör, bulanık kontrol simülatörü ve bulanık kontrolör gerçekleştirilmiştir. Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesinde Lisans düzeyinde ve Lisansüstü derslerinde kullanılabilir.
6. Yapılan bu çalışmaya ilave olarak yapılacak bazı ekler ileri çalışmalarda daha verimli sonuç alınmasını sağlayabilir. Bunlar;
 - Pnömatik motorun hava tüketim hızı fazla olduğundan basınç tankındaki basınçlı hava miktarı kısa sürede azalmaktadır. Buda pnömatik motorun kararlı bir şekilde sürekli çalışmasını engellemektedir. Basınç tankının daha büyük seçilmesi pnömatik motorun sürekli çalışması sağlanabilir.
 - Genetik algoritma yöntemi olarak Basit Genetik Algoritma yöntemi kullanılmıştır. Bugünkü uygulamalarda birçok genetik algoritma çeşidi kullanılmaktadır. Mevcut genetik algoritmalar ile veya yeni yaklaşımlar ile daha iyi bir performans çalışması yapılabilir.
 - Bu çalışmada bulanık kontrolörün aksiyon ağırlık değerleri kromozomun içine kodlanmıştır. Bir sonraki çalışmada üyelik tipi ve sınır değerleri kromozom içine kodlama yapılarak performans araştırması yapılabilir.

- Kromozom kodlama da ikili sayı sistemi kullanılmıştır. Kodlama çeşidi olarak farklı sayı sistemi veya fonksiyon yapısı kullanılabilir.
- Pnömatik sistemin modeli Yapay Sinir Ağı ile oluşturulmuştur. Farklı tip YSA kullanarak pnömatik sistemin modeli geliştirilebilir.
- Genetik algoritma çevrimdışı çalışma ile bulanık kontrolörün aksiyon ağırlık değerlerini bulmuştur. Genetik algoritmanın gerçek zamanlı olarak çalışarak bulanık kontrolörün aksiyon ağırlık değerleri bulması gerçekleştirilebilir.
- Pnömatik motorun devir bilgisi bir DC motor üzerinden alınmaktadır. Burada optik sensör ve kodlayıcı kullanarak devir bilgisi daha hassas bir şekilde elde edilebilir.
- Bu çalışmada kullanılan pnömatik motor tek yönlü hareket eden bir dönel tip pnömatik motordur. Çift yönlü bir pnömatik motor kullanılarak genetik-bulanık kontrolör performansı incelenebilir
- Pnömatik motorun diğer esnek programlama yöntemleri ile kontrolü gerçekleştirilebilir.

KAYNAKLAR

- [1] Wang, J.; PU, J.; Moore, P. R.; Zhang, Z.:” Modeling study and servo-control of air motor systems”, Int. J. Control, 1998, Vol.71, No. 3, 459-476
- [2] Pandian, S. R.; Takemura, F.; Hayakawa, Y.; Kawamura, S.:” Control Performance of an Air Motor?”, IEEE International Conference on Robotics & Automation Detroit, Michigan, May 1999
- [3] Takemura, F.; Pandian, S. R.; Nagase, Y.; Mizutani, H.; Hayakawa, Y.; Kawamura, S.:” Control of a Hybrid Pneumatic/Electric Motor”, IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, 2000
- [4] Able, S. D.:” Numerical simulation of reciprocating pumps and air-operated motors”, Chemical Engineering Progress, Aug 2002, 98, 8, ABI/INFORM Trade & Industry pg.54
- [5] Özçalık, H. R.; Küçüktüfekçi, A.:” Dinamik Sistemlerin Yapay Sinir Ağları ile Düz ve Ters Modellenmesi”, KSÜ Fen ve Mühendislik Dergisi 6(1), syf26-35, 2003
- [6] Shi, L.; Sepehri, N.:” Adaptive Fuzzy-Neural-Based Multiple Models for Fault Diagnosis of a Pneumatic Actuator”, American Control Conference Boston, Massachusetts, June 30 – July 2, 2004
- [7] Chillari, S.; Guccione, S., Muscato, G.:” An Experimental Comparison Between Several Pneumatic Position Control Methods”, Conference on Decision and Control Orlando, Florida USA, December 2001

- [8] Chan, S. W.; Lilly, J. H.; Repperger, D. W.; Berlin, J. E.:” Fuzzy PD+I Learning Control for a Pneumatic Muscle”, IEEE International Conference on Fuzzy Systems, 2003
- [9] Wang, J.; Wang, J. D.; Daw, N.; Wu, Q. H.:” Identification of Pneumatic Cylinder Friction Parameters Using Genetic Algorithms”, IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, Vol. 9, No. 1, March 2004
- [10] Marumo, R.; Tokhi, O. M.:” Intelligent Modeling and Control of a Pneumatic Motor”, IEEE
- [11] Ruihua, L.; Weixiang, S.; Qingyu, Y.:” Multi-region Fuzzy Tracking Control For a Pneumatic Servo Squeezing Forces System”, 5th Congress on Intelligent Control and Automation, June 15-19, 2004, Hangzhou, P. R. China
- [12] Shibata, S.; Jindai, M.; Shimizu, A.:” Neuro-Fuzzy Control for Pneumatic Servo System”, IEEE
- [13] Um, T.; Joo, Y.; Kong Y.; Chun, I.; Kim, S.; Bang, J.:” Optimization of Design Parameters of a Pneumatic System for Solid Freeform Fabrication System Using Genetic Algorithm”
- [14] Tokhi, M. O.; Al-Miskiry, M.; Brisland, M.:” Real-time control of air motors using a pneumatic H-bridge”, Control Engineering Practice 9, p. 449-457, 2001
- [15] Tong, C. P.:” Symbiosis of Fuzzy Systems and Genetic Algorithms for Modelling and Control”, Ph. D. in Engineering, The Hong Kong Polytechnic University, 2000
- [16] Kumbala, K. K.:”Adaptive Neuro-Fuzzy Controller for Passive Nonlinear Systems”, Ph. D. in Engineering, The University of New Mexico, 1997
- [17] Le Riche, R. G.:” Optimization of composite structures by genetic algorithms”, Ph. D. Virginia Polytechnic Institute and State University, 1994
- [18] Metin, M.:” Unterrichtseinheit zum Thema Pneumatik”, Institut der Deutschen Wirtschaft Köln, 2001
- [19] “Compressed Air and Gas Data”, 3. Edition, p. 29-1 – 29-30
- [20] Neidhard-Doll, A. T.:” Biomimetic Phenomenological Modeling of Skeletal Muscle Isometric Contraction and Its Application to a Pneumatic Muscle Force Control System”, Ph. D., Wright State University, 2003
- [21] www.cemdag.com.tr (erişim 2005)

- [22] Festo MPYE–5 Kullanım kılavuzu
- [23] Baba, A. F; Şafak, C.; Kutlu, Ö.;”The Position Control of Pneumatic Stimulated Manipulator Arm with the Fuzzy Logic Controller Method”, 3rd International Advanced Technologies Symposium, 40-47, Ankara, 2003
- [24] Stewart, H.:” Pneumatics and Hydraulics”, 1978, p.325
- [25] Yeaple, F. D.:” Hydraulic and Pneumatic Power and Control Design, Performance, Application”, 1966
- [26] GAST hava motoru kullanım kılavuzu
- [27] Topuz, V.:” Bulanık Genetik Proses Kontrolü”, Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2002
- [28] Dessouky, A.:” Adaptive Fuzzy Control for High Performance Induction Motor Drives”, Ph. D. in Electrical Engineering, Royal Military College of Canada, 2002
- [29] Hagan, T. M.:” Neural Network Design” PWS Publishing, 1999
- [30] Baba, A. F.:” İTÜ Triga Mark-II Reaktörünün Bulanık Kontrolü”, Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1995
- [31] Ross, J. T.:” Fuzzy Logic with Engineering Applications”, McGraw Hill Inc., ABD, 1995
- [32] Yen, J.; Langari, R.; Zadeh, L. A.:” Industrial Application of Fuzzy Logic and Intelligent Systems”, IEEE Pres, ABD, 1995
- [33] Erdal, H.:” Bir İklimlendirme Odasının Bulanık Mantık Yöntemi ile Kontrolü1, Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1998
- [34] Coley, A. D.:” An Introduction to Genetic Algorithms For Scientist and Engineers”, World Scientific Publishing, İngiltere, 1999
- [35] Quagliarella, D.; Periaux, J.; Poloni, C., Winter, G.:” Genetic Algorithms and Evolution Strategy in Engineering Computer Science”, John Wiley, ABD, 1998
- [36] Goldberg, D. E.:” Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning”, Addison Wesley Publishing Inc., ABD, 1989
- [37] Michalewicz, Z.:” Genetic Algorithms + Data Structures = Evolution Programs”, Springer Verlag, ABD, 1996

- [38] Janikow, C. Z.; Michalewicz, Z.: "An Experimental Comparison of Binary and Floating Point Representation in Genetic Algorithms", Proceeding of The Fourth International Conference on Genetic Algorithms, Morgan Kaufman, ABD, 1991
- [39] Kallel, L.; Schoenaur.: "Alternative Random Initialization in Genetic Algorithm", Proceeding of The Seventh International Conference on Genetic Algorithms, Morgan Kaufman, ABD, 1997
- [40] Mitchell, M.: "An Introduction to Genetic Algorithms", MIT Press, İngiltere, 1996
- [41] Back, T.; Hoffmeister, F.: "Extended Selection Mechanism in Genetic Algorithms", Proceeding of The Fourth International Conference on Genetic Algorithms, Morgan Kufman, ABD, 1991
- [42] Goldberg, E. D.; Sastry, K.: "A Practical Schema Theorem For Genetic Algorithms Design and Tuning", Illegal Report No 2001017, University of Illinois, ABD, 2001
- [43] Abdullah, N.: "Identification and Controlling of Linear Systems: Utilizing Adaptive Inverse Control Systems and Adaptive Hybrid Algorithms", Ph. D., The George Washington University, ABD, 2004
- [44] Xiao, J.: "System Identification for Transit Buses Using a Hybrid Genetic Algorithms", PhD, The Pennsylvania State University, 2002
- [45] Tonbul, T. S.; Sarıtaş, M.: "Beş Eksenli Bir Edubot Robot Kolunda Ters Kinematik Hesaplamalar ve Yörünge Planlaması", Gazi Üni. Müh. Mim. Fak. Der. Cilt 18, No 1, 145-167, 2003
- [46] Tu, J.: "Motion Planning and Tracking Control of Mobile Robot Using Genetic Algorithm Based Approaches", Msc Engg, Universty of Guleph, 2003
- [47] Kireççi, A.; Kapucu, S.; Topalbekiroğlu, M.: "On-line Trajectory planning and control for robotic manipulators", 7th International Machine Design and Production Conference, September 11-13, 1996, METU, Ankara, Türkiye
- [48] Can, B., "The optimal control of ITU Triga Mark II Reactor", The Twelfth European Triga User's Conference, NRI Bucuresti-Pitesti, Romania, 22-25, September 1992

EK – A

Dalgakıran firmasına ait kompresörün teknik özellikleri

İki Kademeli Kompresörler (DKKÇ 150-200, DKKD 12-15-15A, DKKS 12-12A)

Kompresör Bloğu

- Ağır hizmet tipi GG 22 döküm karter
- GG 26 döküm silindir ve silindir kafası
- Fan tipi etkin soğutma sağlayan GG 22 döküm kasnak
- Özel alaşım alüminyum pistonlar
- Özel alaşım alüminyum biyel kolu
- Sfero döküm özel taşlanmış krank
- Çarpmalı yağlama sistemi
- Her bir model için özel olarak seçilen uzun ömürlü rulmanlar
- Özel tasarlanmış valf sistemi
- Hava emiş filtresi
- Yağ seviye göstergesi
- Fabrika dolumu yağ

Motor ve Emniyet Sistemi

- IP 54 Korumalı F sınıfı sıcaklık sınıfına sahip elektrik motoru
- 5.5 HP'ye kadar yüksüz kalkış sağlayan kendinden tahliye basıncı sivici
- 5.5 HP üzerindeki güçlerde yüksüz kalkış için selenoid tahliye valfi
- Uzun yıllar sorunsuz ve emniyetli çalışma için özenle seçilmiş basıncı sivici
- Tank üzerine monte edilmiş çek valf

- C€ normlarına uygun kayış-kasnak koruyucu siperlik
- Emniyet valfı

Tank

- TSE normlarına ve kompresör kapasitesine uygun dizayn edilmiş CE onaylı hava tankları
- Darbeye dayanıklı elektrostatik toz boya
- Manüel su tahliye valfı
- Hava çıkış valfı

Teknik Özellikler ve Yerleşim

Tek Kademeli Pistonlu Kompresörler

MODEL	Litre	bar	L/dak.	1/dak.	kw/HP	(mm)	(kg)
DKT 100	100	8	205	800	1.1/1.5	115x420x850	85
DKÇ 150	125	8	327	800	1.5/2.0	1350x420x850	110
DKÇ 200	200	8	410	800	2.2/3.0	1400x500x1000	150
DKÇ 300	300	8	607	800	4.0/5.5	1750x500x1050	225
DKÇ 500	500	8	1013	750	5.5/7.5	1800x650x1280	360
DKS 600	500	8	1617	750	7.5/10.0	1800x650x1280	400
DKS 800	1000	8	2120	750	15.0/20.0	2250x1800x2300	675
DKS 1000	1000	8	3313	750	18.5/25.0	2250x1800x2300	725

İki Kademeli Pistonlu Kompresörler Serisi Teknik Serisi

MODEL	Litre	bar	L/dak.	1/dak.	kw/HP	(mm)	(kg)
DKKÇ 150	125	12	205	800	1.5/2.0	1350x420x850	110
DKKÇ 200	200	12	205	800	1.5/2.0	1400x500x1000	150
DKKD 15	300	12	507	800	4.0/5.5	1750x500x1050	225
DKKD 12	500	12	856	750	5.5/7.5	1800x650x1280	360
DKKD 15 A	500	12	828	750	7.5/10.0	1800x650x1280	400
DKKS 12	1000	12	1500	750	15.0/20.0	2250x1800x2300	675
DKKS 12 A	1000	12	2485	750	18.5/25.0	2250x1800x2300	725

EK – B

GAST firmasına ait 2AM serisi pnömatik motorun teknik özellikleri.

MODEL

2AM-FCC-1

(4 Vanes, CCW Rotation)

2AM-FCW-13

(4 Vanes, CW Rotation)

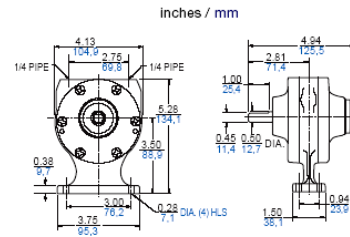
Net wt. 7 lbs. (3,2 kg)

FEATURES

- Foot mounting
- Any plane operation
- Metal muffler AC980 adds 2" height when installed

RECOMMENDED

- Filter AH103F
- Regulator AH104R
- Gauge AA806
- Lubricator AH105L
- Oil AD220 – 1 quart (.94 litres)
- Repair kit K202 (Single Rotation)



2AM-NCC-16

(4 Vanes, CCW Rotation)

2AM-NCW-7B

(4 Vanes, CW Rotation)

2AM-NRV-89

(4 Vanes, Reversible)

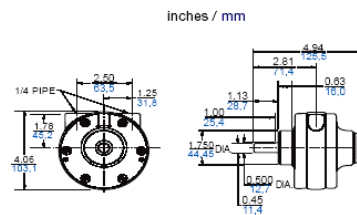
Net wt. 6 lbs. (2,7 kg)

FEATURES

- Hub mounting
- Any plane operation
- Metal muffler AC980 adds 2" height when installed

RECOMMENDED

- Filter AH103F
- Regulator AH104R
- Gauge AA806
- Lubricator AH105L
- Oil AD220 – 1 quart (.94 litres)
- Repair kit K202 (Single Rotation)
- Repair kit K509 (Reversible)



2AM-NCC-43A

(4 Vanes, CCW Rotation)

2AM-NRV-90

(4 Vanes, Reversible)

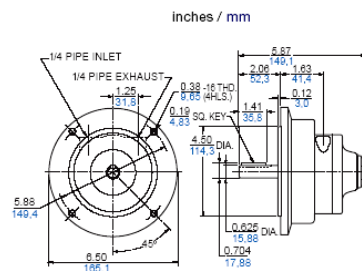
Net wt. 15 lbs. (6,8 kg)

FEATURES

- NEMA 56C mounting
- Any plane operation
- Metal muffler AC980 adds 2" height when installed

RECOMMENDED

- Filter AH103F
- Regulator AH104R
- Gauge AA806
- Lubricator AH105L
- Oil AD220 – 1 quart (.94 litres)
- Repair kit K203A (Single Rotation)
- Repair kit K510 (Reversible)



MODEL

2AM-ACC-88

(4 Vanes, CCW Rotation)
Flange Mount

2AM-ACC-91

(4 Vanes, CCW Rotation)
Face Mount

2AM-ARV-92

(4 Vanes, Reversible)
Flange Mount

2AM-ARV-93

(4 Vanes, Reversible)
Face Mount

FEATURES

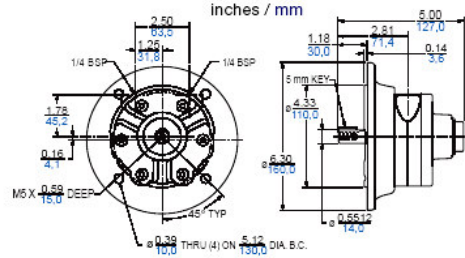
- IEC #72 mounting frame size:
D71 (2AM-ACC-88, 2AM-ARV-92)
D71C (2AM-ACC-91, 2AM-ARV-93)
- Any plane operation
- Muffler AL445

RECOMMENDED

- Repair kit K203A (Single Rotation)
- Repair kit K510 (Reversible)

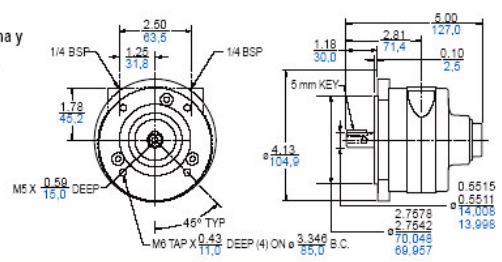


Models 2AM-ACC-88/2AM-ARV-92

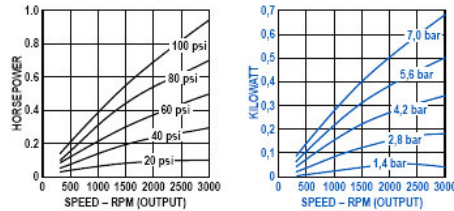


Delivers up to 0.56 kW (¾ hp). Speeds may be varied from 300 to 3,000 rpm. Max. recommended operating pressure 7 bar (100 psi).

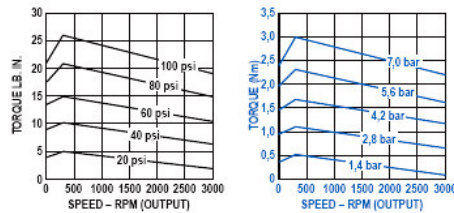
Models 2AM-ACC-91/2AM-ARV-93



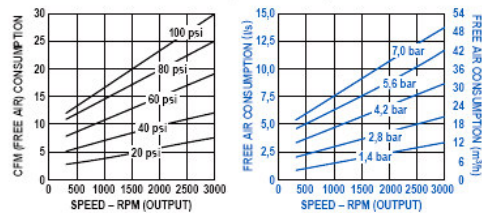
Output Power vs. Speed



Torque vs. Speed



Air Consumption vs. Speed

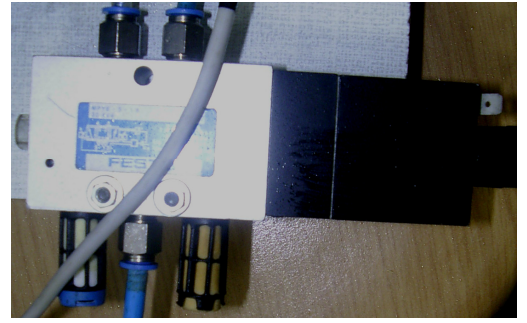


EK – C

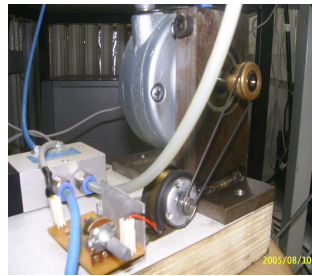
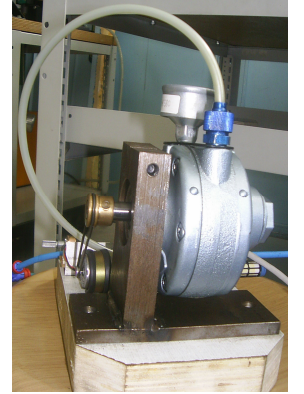
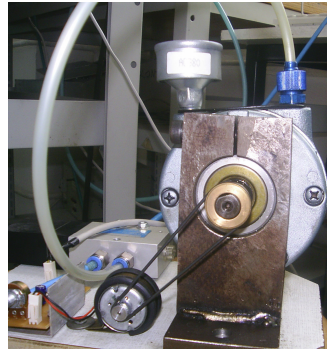
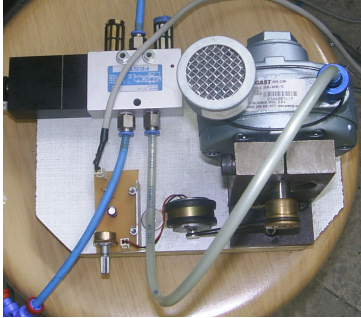
Tasarlanan pnömatik sisteme ait resimler



Dalgakiran çift etkili kompresör



FESTO debi oransa valf



Pnömatik sistemin görünüşü

EK – D

Pnömatik sistem için geliştirilen yazılımın kaynak kodları CD’ de verilmiştir.

ÖZGEÇMİŞ

1979 yılında İzmir 'de doğdu. İlk ve ortaokulu İzmir 'de tamamladı. 1997 yılında Buca Teknik Lisesi Bilgisayar Bölümünden okul 2. olarak mezun oldu. 2002 yılında Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Elektronik Bilgisayar Bölümü Bilgisayar ve Kontrol Eğitimi Programından mezun oldu. 2002 yılında Milli Eğitim Bakanlığına bağlı liselerde Bilgisayar Teknik Öğretmeni olarak çalışmaya başladı.