

**ANKARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

DOKTORA TEZİ

**BİR PROSES KONTROL SİMÜLATÖRÜNDE ENERJİNİN ETKİN
KULLANIMI İLE KABLOSUZ SICAKLIK KONTROLÜ**

Adnan ALDEMİR

KİMYA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ANKARA
2014**

Her hakkı saklıdır

ETİK

Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez içindeki bütün bilgilerin doğru ve tam olduğunu, bilgilerin üretilmesi aşamasında bilimsel etiğe uygun davrandığımı, yararlandığım bütün kaynakları atıf yaparak belirttiğimi beyan ederim.

12.03.2014

Adnan ALDEMİR

ÖZET

Doktora Tezi

BİR PROSES KONTROL SİMÜLATÖRÜNDE ENERJİNİN ETKİN KULLANIMI İLE KABLOSUZ SICAKLIK KONTROLÜ

Adnan ALDEMİR

Ankara Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof.Dr. Mustafa ALPBAZ

Bu çalışmada kablosuz ölçüm ve kontrol deneyleri gerçekleştirilen bir proses kontrol simülatöründe kablosuz sıcaklık kontrolü gerçekleştirilmiştir. Simülatör ve bilgisayar arasındaki on-line veri alışverişini sağlamak amacıyla simülatör ve bilgisayara bağlı iki adet anten bulunmaktadır. Simülatördeki ekipmanlar kalibre edilerek bu ekipmanlar modüllere bağlanmıştır. Yatışkın hal, dinamik hal ve kontrol deneyleri MATLAB/Simulink ortamında hazırlanan blok diyagramında on-line olarak gerçekleştirilmiştir. Yapılan sıcaklık ölçüm ve kontrol deneylerinde simülatörde giriş değişkeni olan ısıtıcı % açıklığının davranışına bağlı olarak çıkış değişkeni olan ısıtıcı çıkış sıcaklığının zamanla değişimi takip edilmiştir. Yatışkın hal deneylerinde, ısıtıcı açıklığının sabit değerlerinde sıcaklığın zamanla sabitlenerek sistemin kontrol edilebilirliği gözlenmiştir. Dinamik hal deneyleri basamak etki, PRBS etki ve kare dalga etki verilerek yapılmıştır. Basamak etki sonucu ısıtıcı çıkış sıcaklığının zamanla değişimine bağlı olarak PID kontrol parametrelerinin belirlenmesi amacıyla reaksiyon eğrisi elde edilmiştir. Dinamik hal deney sonuçları kullanılarak birinci mertebeden ölü zamanlı sistem varsayımı ile iletim fonksiyon katsayıları ve ARMAX model katsayıları MATLAB 'System Identification Toolbox' yardımıyla belirlenmiştir. Kablosuz kontrol deneyleri, Oransal-İntegral-Türevsel (PID), Genelleştirilmiş Öngörmeli Kontrol (GPC) ve Fuzzy kontrol olmak üzere üç kontrol yöntemi kullanılarak farklı sıcaklıklarda gerçekleştirilmiştir. MATLAB programlama dilinde m-file dosyası olarak hazırlanmış PID, GPC ve Fuzzy kontrol algoritmaları on-line olarak kullanılmıştır. PID kontrol algoritmasındaki PID kontrol parametreleri Cohen-Coon, Ziegler-Nichols ve deneme-yanılma yöntemleri kullanılarak belirlenmiştir. GPC kontrol ve Fuzzy kontrol algoritmasındaki kontrol parametreleri değiştirilerek farklı sıcaklıklarda kontrol deneyleri gerçekleştirilmiştir. PID, GPC ve Fuzzy kontrol yöntemleri kullanılarak farklı sıcaklıklarda yapılan kontrol deneyleri ile bu kontrol yöntemlerinin etkinliği izlenmiş ve bu kontrol algoritmaları ile elde edilen deneysel sonuçlar karşılaştırılmıştır. Proses kontrol simülatöründe on-line bilgisayar bağlantısı ile üç farklı kontrol yöntemi kullanılarak kablosuz sıcaklık kontrolü başarıyla gerçekleştirilmiştir.

Mart 2014, 161 sayfa

Anahtar Kelimeler: Kablosuz proses kontrol, Genelleştirilmiş Öngörmeli Kontrol, Fuzzy Kontrol, PID Kontrol, MATLAB/Simulink

ABSTRACT

Ph.D. Thesis

IN A PROCESS CONTROL SIMULATOR WIRELESS TEMPERATURE CONTROL BY UTILIZING EFFECTIVE ENERGY

Adnan ALDEMİR

Ankara University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Chemical Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Mustafa ALPBAZ

In this study, in a process control simulator which carried out wireless measurement and control experiments wireless temperature control is performed. To ensure on-line data communication between the computer and simulator there are two antennas connected to the computer and the simulator. The equipment on the simulator is calibrated and this equipments connected to the modules. Steady state, dynamic state and control experiments are on-line carried out which prepared MATLAB/Simulink block diagram. In the measurement and control experiments, depending on the behavior of the input variable which is % heater value in the simulator, followed the change of the output variable which is the heater outlet temperature. On the steadystate experiments, in the fixed values of the heater, controllability of the system is observed fixing the temperature by time. Dynamic state experiments is made by giving step effect, PRBS effect and square wave effect. Reaction curve is determined with step effects result, depending on the change of the heater outlet temperature to obtained PID control parameters. Using dynamic state experiment results with the assumption that the first order plus dead time system, transfer function coefficients and ARMAX model coefficients were obtained with the aid of MATLAB System Identification Toolbox. Wireless control experiments were carried out using three control methods Proportional-Integral-Derivative(PID), Generalized Predictive Control(GPC) and Fuzzy control at different temperatures. PID, GPC and Fuzzy control algoritms prepared MATLAB m-file were used as on-line. PID control parameters in the PID control algorithm were determined with Cohen-Coon, Ziegler-Nichols and trial-error methods. GPC and Fuzzy control experiments were carried out at different temperatures by changing the control parameters in the GPC control and Fuzzy control algorithm. The activity of PID, GPC and Fuzzy control methods were followed by control experiments were made at different temperatures and the experimental results obtained by these algorithms are compared. Wireless temperature control have been successfully performed at the process control simulator with on-line computer connection using three different control methods.

March 2014, 161 pages

Keywords:Wireless process control, Generalized Predictive Control (GPC), Fuzzy Control, Proportional-Integral-Derivative (PID) Control, MATLAB/Simulink

TEŞEKKÜR

Doktora öğreniminin her aşamasında tecrübe ve önerileriyle ile yol gösteren, maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen, hertürlü sorun karşısında soğukkanlı davranarak pratik çözümler üreten, hayatım boyunca iyiliklerini unutamayacağım saygıdeğer danışman hocam Sayın Prof.Dr. Mustafa ALPBAZ’a sonsuz teşekkür ederim.

Deneyisel çalışmalarım süresince bilgi ve desteklerini esirgemeyen değerli hocalarım Prof.Dr. Hale HAPOĞLU (Ankara Üniversitesi Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı), Prof.Dr. Zehra ZEYBEK (Ankara Üniversitesi Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı) ve Doç.Dr. Ayla ALTINTEN (Gazi Üniversitesi Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı), Ankara Üniversitesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Proses Kontrol Grubuna teşekkür ederim.

Tez kapsamındaki deneyisel çalışmalar sırasında karşılaştığım her türlü teknik sorunlarda zaman ayırarak, tecrübesiyle pratik çözümler üreten, yardımlarını esirgemeyen Kimya Yüksek Mühendisi Uğur YILDIZ’a teşekkür ederim.

Doktora eğitimi süresince beni hiç yalnız bırakmayan, her zaman sıkıntılarımı paylaşan, maddi-manevi desteklerini esirgemeyen kıymetli ailem, eşim ve neşe kaynağım küçük kızıma çok teşekkür ederim.

Adnan ALDEMİR

Ankara, Mart 2014

İÇİNDEKİLER

TEZ ONAY SAYFASI

ETİK.....	i
ÖZET.....	ii
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	iv
SİMGELER DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
ÇİZELGELER DİZİNİ	xv
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	6
3. KURAMSAL TEMELLER.....	12
3.1 Kablosuz İletişim Sistemleri.....	15
3.1.1 Kablosuz geniş alan ağları (WWAN)	15
3.1.2 Kablosuz metropol alan ağları (WMAN).....	15
3.1.3 Kablosuz yerel alan ağları (WLAN).....	16
3.1.4 Kablosuz kişisel alan ağları (WPAN)	16
3.1.5 Radyo frekansı teknolojisi.....	17
3.1.6 Kızılötesi teknolojisi	18
3.1.7 Bluetooth teknolojisi	19
3.1.8 GPS (Global Positioning System) teknolojisi	20
3.1.9 GPRS (General Packet Radio Service)teknolojisi	20
3.1.10 Yıldız tipi kablosuz ağ yapısı.....	21
3.1.11 Ağaç tipi kablosuz ağ yapısı	21
3.1.12 Örgü tipi kablosuz ağ yapısı.....	22
3.2 Sistem Tanımlama.....	23
3.2.1 Sistem modelleri	23
3.2.2 Sinyal modelleri.....	24
3.2.3 Sistem ve Sinyal modellerinin birleştirilmesi	26
3.3 PID Kontrol Yöntemi.....	27
3.3.1 Cohen-Coon yöntemi ile PID kontrol katsayılarının belirlenmesi.....	30

3.3.2 Ziegler-Nichols yöntemi ile PID kontrol katsayılarının belirlenmesi	31
3.4 Model Öngörmeli Kontrol (MPC)	32
3.4.1 Model öngörmeli kontrol avantaj ve dezavantajları	35
3.5 Genelleştirilmiş Öngörmeli Kontrol (GPC).....	36
3.5.1 GPC yönteminin uygulama esasları	37
3.6 Fuzzy Kontrol Yöntemi	42
3.6.1 Fuzzy küme teorisi	45
3.6.2 Fuzzy üyelik fonksiyonları	47
3.6.3 Fuzzy kural temeli.....	50
3.6.4 Fuzzy kontrol basamakları	51
3.6.4.1 Fuzzyleştirme.....	52
3.6.4.2 Fuzzy kontrol.....	52
3.6.4.3 Ters Fuzzyleştirme	53
3.6.5 Fuzzy modele dayalı kontrol	53
3.6.6 Fuzzy model belirlemesi	55
3.6.7 Fuzzy kontrol edici tasarımı.....	56
3.6.8 Fuzzy kontrol avantaj ve dezavantajları	57
3.7 MATLAB	59
3.7.1 MATLAB/Simulink	60
4. MATERYAL VE YÖNTEM.....	63
4.1 Proses Kontrol Simülatörü.....	63
4.2 Proses kontrol simülatöründesıcaklık kontrol döngüsü.....	66
4.2.1 Proses kontrol simülatöründe yapılan sıcaklık kontrol deneyleri.....	66
4.2.2 Kablosuz kontrol amacı için geliştirilen proses kontrol simulatörü	67
4.3 Deney Yöntemi	69
4.3.1 Kablosuz Sıcaklık Deneyleri	69
4.3.2 Yatışkın hal deneyleri	70
4.3.3 Dinamik hal deneyleri.....	71
4.3.4 Kontrol deneyleri	72
5. DENEY VERİLERİ VE SONUÇLAR.....	74
5.1 Yatışkın Hal Deney Sonuçları.....	74
5.2 Dinamik Hal Deney Sonuçları	75

5.2.1 Basamak etki uygulanan dinamik hal deney sonuçları.....	76
5.2.2 PRBS etki uygulanan dinamik hal deney sonuçları	78
5.2.3 Kare dalga etki uygulanan dinamik hal deney sonuçları	80
5.3 Sistem Tanımlama Sonuçları	81
5.4 Sıcaklık Kontrol Deney Sonuçları	83
5.5 PID Kontrol Sonuçları.....	84
5.5.1 Cohen-Coon yöntemi ile katsayıları belirlenen PID kontrol sonuçları	85
5.5.2 Ziegler-Nichols yöntemi ile katsayıları belirlenen PID kontrol sonuçları.....	88
5.5.3 Deneme-yanılma ile katsayıları belirlenen PID kontrol sonuçları.....	92
5.6 GPC Kontrol Sonuçları	95
5.6.1 Tset=40 °C için GPC kontrol deney sonuçları	97
5.6.2 Tset=50 °C için GPC kontrol deney sonuçları	103
5.6.3 Tset=60 °C için GPC kontrol deney sonuçları.....	108
5.7 Fuzzy Kontrol Sonuçları	114
5.7.1 Tset=40 °C için Fuzzy kontrol deney sonuçları	117
5.7.2 Tset=50 °C için Fuzzy kontrol deney sonuçları	119
5.7.3 Tset=60 °C için Fuzzy kontrol deney sonuçları	121
6. TARTIŞMA VE SONUÇ.....	124
KAYNAKLAR	130
EKLER.....	133
EK 1 PID Kontrol Algoritması	134
EK 2 GPC Kontrol Algoritması.....	140
EK 3 Fuzzy Kontrol Algoritması.....	149
EK 4 Fuzzy Kontrolde Değişken Hataları için Üyelik Fonksiyon Kümeleri.....	158
EK 5 Fuzzy Kontrolde Kullanılan İlişki Matrisi.....	159
ÖZGEÇMİŞ.....	160

SİMGELER DİZİNİ

$e(t)$	Hata
K_C	Oransal sabit
N_U	Kontrol ufku
N_1	Minimum öngörme ufku
N_2	Maksimum öngörme ufku
$r(t)$	set noktası
$s(t)$	yük değişkeni
t	Zaman, s
t_d	Ölü zaman, s
T	Sıcaklık (°C)
$u(t)$	Ayarlanabilen değişken
$y(t)$	Çıkış değişkeni
Δt	Örnekleme zaman aralığı
z	Gürültü

Yunan Alfabeti

λ	Kontrol Ağırlık Faktörü
$\mu_A(x)$	A parametresinin fuzzy üyelik fonksiyonu
$\varepsilon(t)$	Gerçek çıkış değişkeni ile model çıkış değişkeni arasındaki fark
θ	Parametre vektörü
τ	Zaman sabiti
τ_D	Türevsel zaman sabiti
τ_I	İntegral zaman sabiti

Kısaltmalar

AP	Access Point
ARMA	Auto Regressive Moving Average
ARMAX	Auto Regressive Moving Average eXogenous
ARIMAX	Auto Regressive Integral Moving Average eXogenous
CV1	Flow Control Valve
CV2	Level Control Valve
CV3	Pressure Control Valve
DDC	Direct Digital Control
FLC	Fuzzy Logic Control
GA	Genetik Algoritma
GMV	Generalized Minimum Variance Control
GPC	Generalized Predictive Control
IAE	Integral of Absolute Error
ISE	Integral of Square Error
MIMO	Multi input/Multi output
MPC	Model Predictive Control
PID	Proportional Integral Derivative Control
PRBS	Pseudo Random Binary Sequence
RF	Radio Frequency
SISO	Single input/Single output

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1 Kapsama alanlarına göre kablosuz ağlar	17
Şekil 3.2 Yıldız tipi kablosuz sistem yapısı	21
Şekil 3.3 Ağaç tipi kablosuz sistem yapısı.....	22
Şekil 3.4 Örgü tipi kablosuz sistem yapısı	22
Şekil 3.5 Geri beslemeli kontrol sisteminin blok diyagramı.....	28
Şekil 3.6 Cohen-Coon yöntemi proses reaksiyon eğrisi	30
Şekil 3.7 Ziegler-Nichols yöntemi proses reaksiyon eğrisi	32
Şekil 3.8 Model öngörmeli kontrolün çalışma stratejisi	33
Şekil 3.9 Kendinden ayarlamalı kontrol edici yapısı	36
Şekil 3.10 Klasik kümeye karşı fuzzy kümesinin örnek bir gösterimi	45
Şekil 3.11 Sıcaklık için bir klasik küme örneği	46
Şekil 3.12 Sıcaklık için fuzzy küme örneği	46
Şekil 3.13 Fuzzy kümelerde örtüşüm örneği	47
Şekil 3.14 Üçgen şeklindeki üyelik fonksiyonu.....	48
Şekil 3.15 Yamuk şeklindeki üyelik fonksiyonu	48
Şekil 3.16 Çan eğrisi şeklindeki üyelik fonksiyonu.....	49
Şekil 3.17 Beş üçgenli bir fuzzy üyelik fonksiyonu kümesi.....	50
Şekil 3.18 Bir fuzzy kontrol sisteminin blok diyagramı	52
Şekil 3.19 Fuzzy modele dayalı kontrol.....	55
Şekil 3.20 Simulink blok kütüphanesinin genel görünümü	62
Şekil 4.1 Proses kontrol simülatörü	64
Şekil 4.2 Proses kontrol simülatörünün akım şeması	65
Şekil 4.3 Proses kontrol simülatöründe sıcaklık kontrol döngüsü	67
Şekil 4.4 Kablosuz kontrol amacı ile geliştirilen proses kontrol simülatörü	68
Şekil 4.5 Kablosuz iletişimi sağlayan anten ve modüller	68
Şekil 4.6 Yatışkın hal sıcaklık deneyinin MATLAB/Simulink blok diyagramı.....	70
Şekil 4.7 Basamak etki uygulanan dinamik hal deneyiMATLAB/Simulink gösterimi..	71
Şekil 4.8 PRBS etki uygulanan dinamik hal deneyiMATLAB/Simulink gösterimi.....	72
Şekil 4.9 Kablosuz sıcaklık kontrol deneyininMATLAB/Simulink blok diyagramı.....	73
Şekil 5.1 Yatışkın hal deneyinde sıcaklığın zamanla değişim grafiği	75

Şekil 5.2 Yatışkın hal deneyinde ısıtıcı açıklığının zamanla değişim grafiği	75
Şekil 5.3 Basamak etki uygulanan dinamik hal deneyinde sıcaklığın zamanla değişim grafiği (%0-100 ısıtıcı açıklığı).....	76
Şekil 5.4 Basamak etki uygulanan dinamik hal deneyinde ısıtıcı açıklığının zamanla değişim grafiği (%0-100 ısıtıcı açıklığı).....	77
Şekil 5.5 Basamak etki uygulanan dinamik hal deneyinde sıcaklığın zamanla değişim grafiği (%10-90 ısıtıcı açıklığı).....	78
Şekil 5.6 Basamak etki uygulanan dinamik hal deneyinde ısıtıcı açıklığının zamanla değişim grafiği (%10-90 ısıtıcı açıklığı).....	78
Şekil 5.7 PRBS etki uygulanan dinamik hal deneyinde sıcaklığın zamanla değişim grafiği	79
Şekil 5.8 PRBS etki uygulanan dinamik hal deneyinde ısıtıcı açıklığının zamanla değişim grafiği.....	80
Şekil 5.9 Kare dalga etki uygulanan dinamik hal deneyinde sıcaklığın ısıtıcı açıklığının zamanla değişim grafiği	81
Şekil 5.10 Kare dalga etki uygulanan dinamik hal deneyinde ısıtıcı açıklığının zamanla değişim grafiği	81
Şekil 5.11 PID sıcaklık kontrol deneyinin MATLAB/Simulink blok diyagramı	84
Şekil 5.12 Basamak etki sonucu sıcaklık değişimi ile oluşturulan reaksiyon eğrisi.....	85
Şekil 5.13 PID kontrol deneyinde sıcaklığın zamanla değişim grafiği (Tset=40 °C)	86
Şekil 5.14 PID kontrol deneyinde ısıtıcı açıklığının zamanla değişim grafiği (Tset=40 °C)	86
Şekil 5.15 PID kontrol deneyinde sıcaklığın zamanla değişim grafiği (Tset=50 °C).....	87
Şekil 5.16 PID kontrol deneyinde ısıtıcı açıklığının zamanla değişim grafiği (Tset=50 °C)	87
Şekil 5.17 PID kontrol deneyinde sıcaklığın zamanla değişim grafiği (Tset=60 °C).....	87
Şekil 5.18 PID kontrol deneyinde ısıtıcı açıklığının zamanla değişim grafiği (Tset=60 °C)	88
Şekil 5.19 PID kontrol deneyinde sıcaklığın zamanla değişim grafiği (Tset=40 °C)	89
Şekil 5.20 PID kontrol deneyinde ısıtıcı açıklığının zamanla değişim grafiği (Tset=40 °C)	89
Şekil 5.21 PID kontrol deneyinde sıcaklığın zamanla değişim grafiği (Tset=50 °C).....	90

Şekil 5.22 PID kontrol deneyinde ısıtıcı açıklığının zamanla değişim grafiği ($T_{set}=50\text{ }^{\circ}\text{C}$)	90
Şekil 5.23 PID kontrol deneyinde sıcaklığının zamanla değişim grafiği ($T_{set}=60\text{ }^{\circ}\text{C}$)	90
Şekil 5.24 PID kontrol deneyinde ısıtıcı açıklığının zamanla değişim grafiği ($T_{set}=60\text{ }^{\circ}\text{C}$)	91
Şekil 5.25 PID kontrol deneyinde sıcaklığının zamanla değişim grafiği ($T_{set}=40\text{ }^{\circ}\text{C}$)	92
Şekil 5.26 PID kontrol deneyinde ısıtıcı açıklığının zamanla değişim grafiği ($T_{set}=40\text{ }^{\circ}\text{C}$)	92
Şekil 5.27 PID kontrol deneyinde sıcaklığının zamanla değişim grafiği ($T_{set}=50\text{ }^{\circ}\text{C}$)	93
Şekil 5.28 PID kontrol deneyinde ısıtıcı açıklığının zamanla değişim grafiği ($T_{set}=50\text{ }^{\circ}\text{C}$)	93
Şekil 5.29 PID kontrol deneyinde sıcaklığının zamanla değişim grafiği ($T_{set}=60\text{ }^{\circ}\text{C}$)	93
Şekil 5.30 PID kontrol deneyinde ısıtıcı açıklığının zamanla değişim grafiği ($T_{set}=60\text{ }^{\circ}\text{C}$)	94
Şekil 5.31 GPC sıcaklık kontrol deneyinin MATLAB/Simulink blok diyagramı	96
Şekil 5.32 GPC deneylerinde λ 'nın 1'den büyük değerleri için sıcaklığının zamanla değişim grafiği	96
Şekil 5.33 GPC deneylerinde λ 'nın 1'den büyük değerleri için ısıtıcı açıklığının zamanla değişim grafiği	97
Şekil 5.34 GPC deneylerinde $T_{set}=40\text{ }^{\circ}\text{C}$ için ısıtıcı açıklığının zamanla değişim grafiği	98
Şekil 5.35 $N_U=1$, $N_2=2$ $\lambda=0.001, 0.01, 0.1$ için sıcaklığının zamanla değişim grafiği	98
Şekil 5.36 $N_U=1$, $N_2=2$ $\lambda=0.005, 0.05, 0.5$ için sıcaklığının zamanla değişim grafiği	99
Şekil 5.37 $N_U=1$, $N_2=4$ $\lambda=0.001, 0.01, 0.1$ için sıcaklığının zamanla değişim grafiği	99
Şekil 5.38 $N_U=1$, $N_2=4$ $\lambda=0.005, 0.05, 0.5$ için sıcaklığının zamanla değişim grafiği	100
Şekil 5.39 $N_U=2$, $N_2=2$ $\lambda=0.001, 0.01, 0.1$ için sıcaklığının zamanla değişim grafiği	100
Şekil 5.40 $N_U=2$, $N_2=2$ $\lambda=0.005, 0.05, 0.5$ için sıcaklığının zamanla değişim grafiği	101
Şekil 5.41 $N_U=2$, $N_2=4$ $\lambda=0.001, 0.01, 0.1$ için sıcaklığının zamanla değişim grafiği	101
Şekil 5.42 $N_U=2$, $N_2=4$ $\lambda=0.005, 0.05, 0.5$ için sıcaklığının zamanla değişim grafiği	102
Şekil 5.43 GPC deneylerinde $T_{set}=50\text{ }^{\circ}\text{C}$ için ısıtıcı açıklığının zamanla değişim grafiği	103
Şekil 5.44 $N_U=1$, $N_2=2$ $\lambda=0.001, 0.01, 0.1$ için sıcaklığının zamanla değişim grafiği	104

Şekil 5.45 $N_U=1$, $N_2=2$ $\lambda=0.005, 0.05, 0.5$ için sıcaklığın zamanla değişim grafiği	104
Şekil 5.46 $N_U=1$, $N_2=4$ $\lambda=0.001, 0.01, 0.1$ için sıcaklığın zamanla değişim grafiği	105
Şekil 5.47 $N_U=1$, $N_2=4$ $\lambda=0.005, 0.05, 0.5$ için sıcaklığın zamanla değişim grafiği	105
Şekil 5.48 $N_U=2$, $N_2=2$ $\lambda=0.001, 0.01, 0.1$ için sıcaklığın zamanla değişim grafiği	106
Şekil 5.49 $N_U=2$, $N_2=2$ $\lambda=0.005, 0.05, 0.5$ için sıcaklığın zamanla değişim grafiği	106
Şekil 5.50 $N_U=2$, $N_2=4$ $\lambda=0.001, 0.01, 0.1$ için sıcaklığın zamanla değişim grafiği	107
Şekil 5.51 $N_U=2$, $N_2=4$ $\lambda=0.005, 0.05, 0.5$ için sıcaklığın zamanla değişim grafiği	107
Şekil 5.52 GPC deneylerinde $T_{set}=60$ °C için ısıtıcı açıklığının zamanladeğişim grafiği	109
Şekil 5.53 $N_U=1$, $N_2=2$ $\lambda=0.001, 0.01, 0.1$ için sıcaklığın zamanla değişim grafiği	109
Şekil 5.54 $N_U=1$, $N_2=2$ $\lambda=0.005, 0.05, 0.5$ için sıcaklığın zamanla değişim grafiği	110
Şekil 5.55 $N_U=1$, $N_2=4$ $\lambda=0.001, 0.01, 0.1$ için sıcaklığın zamanla değişim grafiği	110
Şekil 5.56 $N_U=1$, $N_2=4$ $\lambda=0.005, 0.05, 0.5$ için sıcaklığın zamanla değişim grafiği	111
Şekil 5.57 $N_U=2$, $N_2=2$ $\lambda=0.001, 0.01, 0.1$ için sıcaklığın zamanla değişim grafiği	111
Şekil 5.58 $N_U=2$, $N_2=2$ $\lambda=0.005, 0.05, 0.5$ için sıcaklığın zamanla değişim grafiği	112
Şekil 5.59 $N_U=2$, $N_2=4$ $\lambda=0.001, 0.01, 0.1$ için sıcaklığın zamanla değişim grafiği	112
Şekil 5.60 $N_U=2$, $N_2=4$ $\lambda=0.005, 0.05, 0.5$ için sıcaklığın zamanla değişim grafiği	113
Şekil 5.61 Fuzzy sıcaklık kontrol deneyinin MATLAB/Simulink blok diyagramı	116
Şekil 5.62 Fuzzy kontrol deneyinde sıcaklığın zamanla değişim grafiği ($T_{set}=40$ °C)	118
Şekil 5.63 Fuzzy kontrol deneyinde ısıtıcı açıklığının zamanla değişim grafiği ($T_{set}=40$ °C)	118
Şekil 5.64 Fuzzy kontrol deneyinde sıcaklığın zamanla değişim grafiği ($T_{set}=50$ °C)	120
Şekil 5.65 Fuzzy kontrol deneyinde ısıtıcı açıklığının zamanla değişim grafiği ($T_{set}=50$ °C)	120
Şekil 5.66 Fuzzy kontrol deneyinde sıcaklığın zamanla değişim grafiği ($T_{set}=60$ °C)	122
Şekil 5.67 Fuzzy kontrol deneyinde ısıtıcı açıklığının zamanla değişim grafiği ($T_{set}=60$ °C)	122

ÇİZELGELERDİZİNİ

Çizelge 5.1 Basamak etki uygulanan dinamik hal deney koşulları (%0-100)	76
Çizelge 5.2 Basamak etki uygulanan dinamik hal deney koşulları (%10-90)	77
Çizelge 5.3 PRBS etki uygulanan dinamik hal deney koşulları	79
Çizelge 5.4 Kare dalga etki uygulanan dinamik hal deney koşulları.....	80
Çizelge 5.5 Isıtıcıya verilen farklı dinamik etkiler ile belirlenen birinci mertebeden ölü zamanlı model katsayıları	82
Çizelge 5.6 Isıtıcıya verilen farklı dinamik etkiler ile belirlenen birinci mertebeden ölü zamanlı modeller.....	82
Çizelge 5.7 Reaksiyon eğrisi üzerinde belirlenen katsayılar	85
Çizelge 5.8 Cohen-Coon yöntemi ile belirlenen PID kontrol katsayıları	86
Çizelge 5.9 Ziegler-Nichols yöntemi ile belirlenen PID kontrol katsayıları	89
Çizelge 5.10 Deneme-yanılma yöntemi ile belirlenen PID kontrol katsayıları	92
Çizelge 5.11 $T_{set}=40\text{ }^{\circ}\text{C}$ için hesaplanan ISE değerleri	102
Çizelge 5.12 $T_{set}=40\text{ }^{\circ}\text{C}$ için hesaplanan IAE değerleri.....	102
Çizelge 5.13 $T_{set}=50\text{ }^{\circ}\text{C}$ için hesaplanan ISE değerleri	108
Çizelge 5.14 $T_{set}=50\text{ }^{\circ}\text{C}$ için hesaplanan IAE değerleri.....	108
Çizelge 5.15 $T_{set}=60\text{ }^{\circ}\text{C}$ için hesaplanan ISE değerleri	113
Çizelge 5.16 $T_{set}=60\text{ }^{\circ}\text{C}$ için hesaplanan IAE değerleri.....	113
Çizelge 5.17 Fuzzy kontrol parametreleri ve işlevleri	115
Çizelge 5.18 $T_{set}=40\text{ }^{\circ}\text{C}$ için Fuzzy kontrol deney koşulları	117
Çizelge 5.19 $T_{set}=50\text{ }^{\circ}\text{C}$ için Fuzzy kontrol deney koşulları	119
Çizelge 5.20 $T_{set}=60\text{ }^{\circ}\text{C}$ için Fuzzy kontrol deney koşulları	121
Çizelge 5.21 Fuzzy kontrol sonuçlarına göre hesaplanan ISE ve IAE değerleri	123

1. GİRİŞ

Kablosuz iletişim, iki veya daha fazla nokta arasındaherhangi bir kablo olmadan bilgi aktarımıdır. Kablosuz iletişimde kablolu iletişime göre kablo hattı döşeme, bakım onarım maliyetleri olmamakla birlikte gürültü problemleri de düşük seviyededir. Kablolu iletişimin zorluklarından kaynaklanan sorunlara alternatif olarak geliştirilmiş kablosuz iletişimde bilgi alış-verişi havada yayılan elektromanyetik dalgalarla gerçekleştirilmektedir. Kablosuz iletişimde herhangi bir kablo bağlantısı olmadığından sistemi kullanan kişi iletişim sırasında rahatça hareket edebilmektedir. Böylece kablosuz iletişim kullanıcılar için yer ve zaman kısıtlamalarını ortadan kaldırmaktadır.

Kablosuz iletişim sistemlerin kurulumu, kablolu sistemlere göre daha hızlı ve basittir. Ayrıca kablolu iletişim için gerekli hatların kurulum maliyetinin kablosuz iletişimde bulunmaması başka bir avantajdır. Kablonundöşenemeyeceği, kablolu hat kurulamayacak ve insanoğlunun bulunması ve çalışmasının tehlikeli olduğu yerlerde kablosuz iletişim ağları ile iletişim imkanı sağlanır. Dağ, tepe, nehir, göl, deniz gibi kablolu iletişimi zor olan doğal alanlarda radyo dalgaları ile kablosuz iletişim kolaylıkla sağlanabilir.

İnsan hayatını oldukça kolaylaştıran kablosuz iletişim teknolojilerinin uygulama alanları çok geniştir. Kablosuz iletişim genel olarak eğitim, sağlık, ulaşım, ticaret, güvenlik, endüstri alanlarında kullanılmaktadır. Günümüzde kablosuz iletişim teknolojisinin kullanıldığıen yaygın örnekler, telsizler, cep telefonları, kablosuz sabit telefonlar, cep bilgisayarları, kablosuz ağlarve dijital uydulardır. Kablosuz iletişim teknolojilerindeki gelişmeler sayesinde yakın gelecekte pek çok işin evden yönetileceği, bu nedenle trafik, çevre kirliliği ve işyerlerindeki insan yoğunluğunun azalmasının yanında insanları rutin işlerden kurtaracağı ve boş zamanlarını arttıracacağı düşünülmektedir.

Kablosuz iletişim teknolojisi, çok hızlı gelişmesinden ve yayılmasından dolayı, farkında olmadan insanoğlunun tüm hayatına girmiş ve firmaların geliştirdiği farklı özelliklere sahip çekici cihazları her yerde kullanabilmesi sayesinde vazgeçilmez bir konumdadır.

Örneğin internet bağlantısı olan bir cep telefonu kullanıcısı istediği her zamannöbetçi eczane bulabilmekte, haberleri takip etmekte veya e-posta bilgilerini kullanabilmektedir. Lokantalarda müşterinin siparişini alan garson siparişleri hemen mutfağa iletebilmektedir. Yöneticiler bilgiye kablosuz olarak ulaşabildikleri için daha güvenilir ve hızlı karar verebilmekte ve piyasaların durumunu takip edebilmektedir. Güvenlik kameraları sayesinde kamu kurumları, işyerleri ve diğer yaşam alanları sürekli izlenebilmekte ve görüntüler anlık olarak görevlilere veya kontrol noktalarına iletilebilmektedir. Yangın ve duman sensörleri sayesinde insanların zarar görmesi önlenebilmektedir. Ayrıca geliştirilen kablosuz iletişim teknolojileri sayesinde lojistik firmaları araçlarını sürekli takip edilebilmekte ve hız kontrolu yapabilmektedir. Ayrıca trafik yol durumu izlenerek araçlar trafiğin az yoğun olduğu yollara yönlendirilebilir ve trafik kazalarına anında müdahale edilerek can ve mal kayıpları azaltılabilir.

Kablosuz iletişim ağlarında veri alış-verişi hava yolu ile gerçekleştirildiğinden bu ağları kullanan veya ağlara izinsiz giren kullanıcıların, verilerin çalınma veya sistemi çökertme ihtimali göz önüne alınarakkablolulu ağlara benzer güvenlik önlemleri geliştirilmiştir. Kullanıcıların iş türüne, büyüklüğüne, taşıdıkları verilerin niteliğine ve kullanıcı sayılarına göre farklı güvenlik sistemleri geliştirilmiştir. WEP (Wired Equivalent Privacy) şifreleme, kimlik sorgulama amaçlı EAP (Extensible Authentication Protocol), bölgeden bölgeye VPN (Virtual Private Network), ateş duvarları (Firewalls), SSID (Ağ Kimliği-Network ID), MAC (Media Access Control), adres filtreleme sistemleri kullanılabilecek bazı güvenlik önlemleridir.

Sürekli artan dünya nüfusu ile birlikte enerji ihtiyacı da sürekli artmakta ve daha çok enerji tüketimi gerçekleşmektedir. Diğer taraftan teknolojik alandaki gelişmeler insanoğluna daha fazla konfor ve daha yüksek yaşam kalitesi sunmakta ancak yaşam kalitesinin arttırılması yüksek enerji tüketimini de beraberinde getirmektedir. Günümüzde tüketilen enerjinin çok büyük bölümü yenilenemeyen enerji kaynaklarından yani rezervleri sınırlı olan fosil yakıtlardan elde edilmekte ve elektrik enerjisi şeklinde kullanılmaktadır. Fosil yakıtların yakılmasıyla birlikte karbon emisyonları sürekli artmakta ve bununla birlikte iklim değişikliği, küresel ısınma, asit yağmurları şeklinde kendini göstermektedir. Büyük çevre felaketlerinin önlenmesi ve

dünyadaki yaşamın devam edebilmesi için enerjinin etkin kullanımı insanoğlu için zorunludur. Günümüzde enerji tüketiminin önemli düzeyde artmasından dolayı devlet politikaları ile enerjinin korunması ve etkin kullanılmasına yönelik çalışmalar sürmekte ve enerjinin verimli kullanılmasına yönelik çeşitli yönetmelikler hazırlanarak, sosyal ve görsel medya aracılığı ile insanlar bilgilendirilmektedir. Ülkemizde de bu konuda hazırlanan iki yönetmelik 2 Mayıs 2007 ve 27 Ekim 2011 tarihlerindeki resmi gazetede yayınlanarak yürürlüğe girmiştir. Değişik istatistiklere göre ülkemizde enerji tüketiminin %35'i binalarda %35'i sanayide, %20'si ulaşımda ve %10'u da diğer sektörlerde gerçekleşmektedir. Binalarda tüketilen enerjinin de %85'i ısıtma, soğutma, havalandırma ve sıcak su temini için kullanılmaktadır. Dolayısıyla ülkemizdeki tüm enerji tüketiminin %30'u doğrudan sıcaklık değişimlerini ilgilendirdiğinden sistemlerin sıcaklık kontrolünün iyi yapılarak kontrol performanslarının artırılması ile enerjinin etkin kullanımı sağlanacaktır.

Bilgisayar sistemlerinin gelişmesi ile birlikte endüstrideki otomasyon sistemlerinin kullanımı artmış ve proseslerin bilgisayarla gerçek zamanlı kontrolü önem kazanmıştır. Endüstriyel ölçekli prosesler incelendiğinde zamanla değişen birçok parametrenin proses üzerinde etkisi olduğu görülmektedir. Bunun yanında proseslerin doğrusal olmayan yapıları ile kontrolleri ve optimizasyonları zordur. Büyük bir hızla gelişen teknolojinin yarattığı rekabet ve hızlı değişen tüketici beklentileri dikkate alınırsa, proseslerde ileri kontrol algoritmalarının önemi anlaşılabilecektir. Diğer taraftan proses değişkenlerinin çok sayıda olması, bu değişkenlerin ürün kalitesini ve üretim maliyetini etkilemesinden dolayı bu değişkenlerin on-line bilgisayarlarla anlık ve sürekli olarak kontrol edilmesi oldukça önemlidir. Üretim kalitesinde oluşan farklılığın en aza indirilmesi, sistem değişkenlerinin gerçek zamanlı olarak takibinin yanında, sistemde oluşan yük etkilerinin kontrolü ve üretim sırasında oluşabilecek değişimlerin on-line olarak tespit edilebilmesiyle sağlanabilecektir.

Kimyasal proseslerde istenilen ürün kalitesinin elde edilmesi için gerekli işletim koşullarının sağlanması ve çalışanlar için güvenli bir çalışma ortamının sağlanması için sıcaklık, basınç, derişim, seviye, akış hızı gibi parametrelerin iyi kontrol edilmesi gerekmektedir. İyi kontrol edilmeyen sistemlerde ekonomik kayıpların yanında çeşitli

arızalar da meydana gelebilir. Örneğin bir proseste etkin olmayan sıcaklık kontrolü gereksiz yakıt tüketimi ve enerji kaybı ile birlikte üretim maliyetinin artmasına neden olmaktadır. Diğer taraftan etkin olmayan basınç kontrolü proseste bulunan makine-ekipmanların zorlanmasına ve dayanımı zayıf sistemlerde ise patlamalara neden olmaktadır. Amaca yönelik, güvenilir ve sürekli bir kontrolün sağlanabilmesi için kontrol parametrelerinin belirlenmesi ve kullanılan kontrol yönteminin etkinliği son derece önemlidir.

Model öngörmeli kontrol (MPC), sistem davranışının formüle edilebilir olmasının yanında proses kontroldaki başarısından dolayı son yıllarda yoğun ilgi görmektedir. MPC yöntemine bağlı olarak geliştirilmiş farklı kontrol uygulamaları bulunmaktadır. Cutter ve Remarker (1980) Dynamic Matrix Control (DMC), Garcia ve Morari (1982) Internal Model Control (IMC), Ydstie (1984) Model Algorithmic Control (MAC) ve Clarke vd. (1987) Generalized Predictive Control (GPC) bu uygulamalara örnek olarak verilebilir. Literatürde GPC yönteminin kullanıldığı değişik proseslerde farklı parametrelerin kontrolüne yönelik çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. GPC yöntemi, önerilen modelin formülüne bağlı olarak proses çıktısının gelecekteki değerlerini tahmin etmek suretiyle iyi bir kontrol performansı göstermektedir. Proses için tahmin edilen bu değerler ile set değerleri karşılaştırılır ve hata değerleri belirlenir. Hesaplanan hata değerleri formüle edilerek kontrol edici hareketleriyle hata minimize edilir.

Fuzzy kontrol, farklı endüstriyel proseslere uygulanan ileri ve güncel bir kontrol yöntemidir. Fuzzy kontrolde kontrol kuralları ve üyelik fonksiyonları genellikle deneme-yanılma yöntemiyle belirlenmektedir. Fuzzy kontrol ediciler, klasik kontrol edicilerden farklı olarak insan tecrübelerinden elde edilen bilgilere açıktır. Matematiksel modellerin kurulmasının zor olduğu yada elde edilen modellerin kullanımının ekonomik olmadığı veya kısıtlı olduğu durumlarda proseslerin kontrolü daha da zor olabilir. Bu tip zorluklar genellikle proseslerin doğrusal olmama özelliğinden, kontrol edilecek proseslerin zaman-değişimi (time-varying) doğasından, önceden tahmin edilemeyen çevresel etkilere, düşük hassasiyetli algılayıcılardan veya doğru ve güvenilir ölçümlerin elde edilememesinden kaynaklanabilir. Bu durumda proses operatörünün işletim tecrübeleri kontrol edilen prosesin modeline alternatif olarak kullanılabilir.

Prosesin kontrolu için gerekli bilgileri doğru terimlerle ifade etmek zor olduğu halde, kontrol davranışının bir dilbilimsel tanımlanması operatör tarafından kolayca ifade edilebilir. Bu dilbilimsel tanımlama, fuzzy kontrol yöntemini kullanarak oluşturulan kontrol kurallarının bir kümesinden oluşmaktadır.

Yapılan tez kapsamında Temel İşlemler Laboratuvar'ında bulunan Cussons P3005 model proses kontrol simülatöründe kablosuz sıcaklık ölçüm ve kontrolu gerçekleştirilmiştir. Deneylerin gerçekleştirilmesinde proses kontrol simülatörü ile bilgisayar arasında veri aktarımını sağlamak için kablosuz iletişim sistemi kurulmuştur. Bunun için yapılan deneylerde kablosuz veri alışverişi, simülatöre ve bilgisayara bağlı bulunan antenler aracılığıyla on-line olarak sağlanmıştır. Deneysel çalışmalarda yatışkın hal, dinamik hal ve kontrol deneyleri için MATLAB/Simulink ortamında hazırlanan blok diyagramı kullanılmıştır. Ayarlanabilen değişken olan simülatördeki elektrikli ısıtıcının davranışına bağlı olarak çıkış değişkeni olan ısıtıcı çıkış sıcaklığının değişimi gözlenmiştir. Başlangıçta açık hat dinamik deneyler gerçekleştirilerek çıkış değişkeni olan ısıtıcı çıkış sıcaklığının kontrol edilebilirliği gözlemlenmiştir. Bu kapsamda sistemde basamak etki, kare dalga etki ve PRBS etkiler verilerek ısıtıcı çıkış sıcaklığının zamanla değişimi gözlemlenmiştir. Kapalı hat kontrol deneylerinde PID, GPC ve Fuzzy kontrol yöntemleri ile ısıtıcı çıkış sıcaklığının farklı set değerleri için kontrolu gerçekleştirilmiştir. Bilgi alışverişi ve gerekli hesaplamaları yapabilmek için MATLAB programında m-file olarak hazırlanmış PID, GPC ve Fuzzy kontrol algoritmaları on-line olarak kullanılmıştır. Kullanılan kontrol algoritmalarının etkinliğini görebilmek amacıyla deney sonuçları karşılaştırılmıştır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Zadeh (1965), yaptığı yayınla fuzzy küme teorisinin temellerini oluşturmuştur. Buna göre fuzzy kümesi evrensel kümede tanımlı 0 ve 1 arasında değerler alan ve farklı üyelik derecelerine sahip olan elemanları kapsayan küme olarak tanımlanmıştır. Ayrıca bu çalışma kapsamında fuzzy kümelerde birleşim, kesişim, tümlleme gibi kavramlar ve bunların özelliklerini göstermiş, fuzzy kümelerde cebirsel işlemleri anlatmıştır.

Clarke vd. (1987), genelleştirilmiş öngörmeli kontrol (GPC) yöntemini geliştirmişler ve bu konudaki çalışmalarını iki ayrı yayında toplamışlardır. Bu yayınlarda kontrol yöntemi tasarımı için ARIMAX modelini kullanmışlardır. İlk çalışmada simulasyon sonuçlarıyla GPC'nin PID ve GMV kontrol yöntemlerinden daha üstün olduğunu göstermişlerdir. Bu kontrol yönteminde gelecekteki proses çıkış değişkeni tahmin edilmektedir. Yapılan ikinci çalışmada proseste bulunan ölü zaman değişimlerinin GPC kontrol algoritması tarafından bertaraf edildiğini göstermişlerdir. Sistem parametrelerinin tesbitinde kök yerleştirme, GMV ve PID karşılaştırmaları yapılmıştır. Model parametrelerinin tahmininde yinelemeli en küçük kareler yöntemini uygulamışlardır. Çalışmalarda elde edilen sonuçlara dayanarak endüstriyel proseslerin kontrolü amacıyla GPC yönteminin kullanılmasını önermişlerdir.

Zimmerman (1992), eserinde fuzzy kümeler, fuzzy matematiksel işlemler, fuzzy kümelerle olasılık dağılımlarını karşılaştırmalı olarak anlatmıştır. Fuzzy küme uygulamaları bölümünde uzman sistemler ve fuzzy kontrol sistemlerden bahsetmiştir. Fuzzy kontrol amacının insan deneyimleri aracılığı ile sistemleri kontrol etmek olduğundan fuzzy kontrol ve uzman sistemlerin aynı amaçla çalıştığı ancak bunlar arasındaki farkların da göz ardı edilemeyeceğini belirtmiştir.

Klir ve Yuan (1995) yaptıkları çalışmada, klasik ve fuzzy kümeleri karşılaştırmış ve fuzzy kümelerin avantajlarını göstermiştir. Fuzzy kümelerde aritmetik işlemler, fuzzy veri tabanları, fuzzy karar verme kavramlarını ve fuzzy mantığın mühendislik uygulamaları eşliğinde göstermişlerdir.

Babuska vd. (1996) yaptıkları çalışmada, doğrusal olmayan basınç sistemlerine Mamdani Tip' in direkt fuzzy kontrolü, fuzzy'e dayalı öngörmeli kontrol ve sinir ağları modellerini uygulamışlardır. Bu çalışmada amaç; bu farklı kontrol tiplerini gelişen zaman içerisinde kontrol tasarımı için gerekli ön bilgilerin miktarını tespit etmek, gerekli parametre ayarlamalarını ve kapalı hat performanslarını test etmektir.

Zupancic (1998) yaptığı çalışma, MATLAB-Simulink programlarının kullanılması ile kontrol yöntemlerinin tasarlanmasını ve bu kontrol yöntemlerinin uygulanmasını içermektedir. Gerekli uygulamaların yapılabilmesi için Mitsubishi PLC kullanılmıştır. Bilgisayar ile Simulink arasındaki ilişkiyi en uygun şekilde oluşturabilmek için çeşitli MATLAB/Simulink program kombinasyonları denenmiştir. Örnek olarak hidrolik tipi işletmeler için Kaskat kontrolü vermişlerdir. Kontrol edici olarak PID kullanmışlardır.

Chen vd. (2004) yaptıkları çalışmada, bir fabrikadaki akışkan prosesler için kontrol sistemi önermişlerdir. Sıcaklık ve akış hızı okumalarında uygun algılayıcılar, prosesi kontrol edebilmek için de uygun vana ve motorlar kullanılmıştır. Birçok hallerde kullanılan algılayıcılar birbirleri ile uyum içerisinde. Bu nedenle wireless sistemler içinde bir uyumluluk olmalıdır. Bu çalışmada proses kontrol amaçlı kullanılan algılayıcılar ve ayarlayıcıların, kontrol için kullanılan bilgisayarlarla uyumluluğu gösterilmiştir.

Murari ve Lotto (2004), çok zor ve pahalı bir işlem olan vakum tanklarındaki veri aktarımı için 90 mm genişliğinde ve 140 mm uzunluğundaki küçük bir sensör düzeneği ile 2.4 GHz frekansında bluetooth sinyalleri kullanılarak bir vakum bölmesinden sıcaklık ve ışık değerlerinin ölçümünü gerçekleştirmişlerdir. Bilgisayara on-line veri aktarımı yapılan sistemde termočift ile sıcaklık ve optik sensör ile ışık miktarı voltaj olarak ve pil değeri bilgisayardan takip edilmektedir.

Song vd. (2004) yaptıkları çalışmada, proses kontrol sistemleri için çeşitli sensörler ile bilgisayar arasındaki iletişim için wireless sistemlerini incelemişlerdir. Önce büyük sistemler için sensör /algılayıcı networkleri araştırmışlardır. Bu araştırmada bir tankta sıvı seviyesi kontrolü için sensör networkünü uygulamalı olarak göstermişlerdir.

Antures vd. (2005) yaptıkları çalışmada, metil metakrilatın kesikli bir polimerizasyon reaktöründe sıcaklık kontrolü için “fuzzy logic” (bulanık mantık) yöntemini kullanmışlardır. Polimerizasyon reaksiyonu için çözücü olarak etil asetat ve başlatıcı olarak benzoil peroksit kullanılmıştır. Deneysel çalışmada reaksiyon dönüşümünü belirlemek için on-line yoğunlukölçer kullanılmıştır. Soğutma suyu akış hızı ayarlanabilen değişken olarak seçilmiştir. Fuzzy-PID kontrol tasarımı proses reaksiyon eğrisinden elde edilen bilgi üyelik fonksiyonlarını belirlemek için kullanılmıştır. Deneysel sonuçlar incelenerek Fuzzy-PID kontrolün performansı geleneksel PID kontrol ile karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak çalışılan polimerizasyon prosesi için Fuzzy-PID kontrolün PID kontrole göre daha uygun ve güvenilir performans gösterdiği görülmüştür.

Çekinkaya vd. (2006) ceketli bir reaktörde stirenin radikalik çözelti polimerizasyon tepkimesinin sıcaklık kontrolünü incelemişlerdir. Sıcaklık kontrolü için fuzzy ilişki modeli dinamik matriks kontrol (fuzzy-DMC) yöntemini kullanarak minimum zamanda istenen monomer dönüşümü, molekül ağırlığı ve zincir uzunluğu değerlerine ulaşmak için kontrol yönteminin performansını incelemişlerdir. Q ısıısı ayarlanabilen değişken olarak kullanılmıştır. Reaktör sisteminin matematiksel modeline Hamiltonian optimizasyon yöntemi uygulanarak teorik sonuçlar belirlenmiştir. Fuzzy-DMC kontrolün performansı, doğrusal olmayan model öngörmeli kontrol (NLGPC) ile karşılaştırmışlardır. Deneysel çalışmalar sonucunda, istenilen sıcaklık değerinde istenilen monomer dönüşümü, molekül ağırlığı ve zincir uzunluğunun elde edilmesi için fuzzy-DMC kontrol performansının NLGPC’den daha iyi olduğu anlaşılmıştır.

Nygaard vd. (2006) yaptıkları çalışmada, doğrusal olmayan model öngörmeli kontrol yöntemini iyi yağlanmış matkap basıncının kararlılığı için kullanmışlardır. Önerilen kontrol çalışmasında Levenberg-Marquardt optimizasyon algoritması parametre ayarlaması için kullanılmıştır. Gerekli karşılaştırmaları yapabilmek için PI kontrol sistemi kullanılmıştır. Kontrol parametreleri Ziegler-Nichols yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır. PI kontrol yöntemi ile kontrolde işletim şartları değişince yeni kontrol yöntemi bulma ihtiyacı duyulmuştur ve iyi ayarlanmış bir model ile model öngörmeli kontrol yönteminin daha iyi çalıştığı görülmüştür.

Leung vd. (2006) yaptıkları çalışmada, gerçek zamanlı model öngörmeli kontrol sistemini uzman teknolojisi kullanarak anlatmışlardır. Üç ana elemanın bu kontrol yöntemi için önemli olduğunu belirtmişlerdir. Bunlar; gösterme ve kontrol çıktısının gösteriminin belirlenmesi, operatör/işletmeci için gerekli bilgilerin oluşması, adaptasyon mekanizmaları olarak belirtilmiştir. Gerçek sistem olarak sürekli karıştırılmalı tank içeren bir proses seçmişlerdir.

Zeybek vd. (2006) yaptıkları çalışmada, kesikli çalıştırılan soğutma ceketli bir polimerizasyon reaktörünün sıcaklık profilinin kontrolünde genelleştirilmiş delta kuralı (GDR) algoritması ile birleştirilen GPC algoritması kullanılmıştır. Set noktası için seçilen sıcaklık profili, optimizasyon yöntemi ile belirlenmiştir. Reaktör sıcaklığı ile ilişkili olan model, yapay sinir ağı tekniği ile bulunmuştur. Önerilen kontrol sisteminin iyi performans gösterdiği deneysel sonuçlardan görülmüştür.

Altınten. (2007) yaptığı çalışmada, NaOH ve Asetik asit çözeltilerinin sürekli akım borusal reaktörde nötralizasyonu gerçekleştirilmiş ve bu sistemde pH'ın istenilen değerde tutulması için GPC yöntemi kullanılmıştır. GPC algoritması için sistem modeli olarak ARIMAX modeli kullanılmıştır. λ (kontrol ağırlık faktörü)'nin göreceli küçük değerleri seçildiğinde, pH değeri kontrol değişkeni olarak set noktasına erişmiş fakat salınımlı davranış sergilemiştir. Uygun λ değeri genetik algoritmaları (GA) kullanılarak elde edilmiştir. Elde edilen deneysel sonuçlarla, GA'dan ölçülen değere yakın λ değeri çalışılan her durumda GPC algoritması için oldukça uygun olduğu görülmüştür.

Woodard ve Taylor (2007) kablosuz sıvı seviye ölçümü için bir sensör sistemi geliştirmişlerdir. Sensör ince bir kapasitör ve indüktör plaka arasına yerleştirilerek bu plakalar arasındaki elektronların geçişi ile oluşan akım ile sensörün ihtiyacı olan güç herhangi bir fiziksel bir akım kaynağı kullanmadan karşılanmaktadır. Hazırlanan bu 22.86 cm boyundaki ve 2 cm kalınlığındaki sensör yardımıyla farklı sıvıların seviye ölçümü gerçekleştirilmiş ve maksimum hata miktarı 1.07 cm olarak belirlenmiştir.

Jackson vd. (2008) yeryüzü ve atmosfer arasındaki su ve ısı enerjisi değişiminin canlı yaşamı üzerinde çok etkili olduğundan toprağın nem ve sıcaklığını kablosuz ölçümü için MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) sensör geliştirmişlerdir. 2.4 GHz RF ile çalışan bu sensör kullanılarak %0 ile %100 arasında bağıl nem ve -30 ile +100 °C çalışma aralığında ölçümler yapılabilmektedir. Birbirine uzaklığı 8m olan ve 100 mm derinliğinde toprağa gömülmüş iki çubuğa bağlı sensörler 20 m uzaklıktaki veri alıcısına sinyallerini başarılı bir şekilde iletmektedir. Veri alıcısına bağlı 2MB kapasitesinde usb bellek tarafından veriler kaydedilmektedir.

Lopez vd. (2009) bir balık çiftliğindeki pH, amonyum ve sıcaklık değerlerinin kablosuz olarak izlenebilmesi için bir sistem geliştirmişlerdir. Çalışmada Te sensör ve kablosuz modül olmak üzere iki tür sensör kullanmışlardır. Sensör modülünde pH ve NH₄ sensörleri bulunmaktadır. Sensör modülü bilgileri toplayarak kablosuz modüle aktarır. Kablosuz modül radyo frekansı ile merkeze tekrar iletir. Bu çalışmadaki amaç sıcaklık, pH ve NH₄ iyonlarını kablosuz olarak görüntülemek ve bunun için kablosuz sensör ağının uygulamasıdır.

Capella vd. (2010) kablosuz sensör ağı ile iyon seçici elektrotlar kullanarak içme suyundaki nitrat, amonyum ve klorit iyonlarının analizlerini gerçekleştirmişlerdir. Yapılan ölçümler sonucunda elde edilen sonuçlar klasik yöntemlerle karşılaştırıldığında birçok sonucun aynı olduğu aynı olmayan sonuçların birbirine oldukça yakın olduğu belirlenmiştir. Çalışma sonunda kablosuz sensör sisteminin daha güvenilir, daha hızlı, daha ekonomik daha uzun ömürlü olduğu sonucuna varılmıştır.

Attarakih vd. (2012) fermentasyon prosesinden gelen CO₂'nin etanol ile absorplandığı bir kademeli gaz absorpsiyon kolonunun yatışkın hal ve kapalı-hat dinamik hal davranışının simülasyonu ve kontrolü MATLAB/Simulink programı ile gerçekleştirilmiştir. Çalışmada diferansiyel ve cebirsel eşitliklerden oluşan sistemin matematiksel modeli geliştirilmiştir. Basamak etki verilen kolona giren gaz akış hızında kontrol edilen değişkenin oldukça yükseldiği görülürken giren gaz bileşiminde bu basamak etkiye karşı PID kontrol edici performansının iyi olduğu belirlenmiştir. Kapalı-hat dinamik analizler, kontrol edilen değişken olan çıkan gaz bileşiminin set noktasındaki basamak etkiden dolayı oldukça doğrusal dinamiğe sahip olduğunu göstermiştir. Sistemin iki farklı zaman sabitinden küçük olan zaman sabiti kolon hidrodinamiği ile ilişkili iken büyük zaman sabiti de gaz faz bileşimindeki değişime bağlı olduğu şeklinde tanımlanmıştır. Ayrıca Murphree etkinliğinin kolon dinamik davranışı üzerinde az etkili olduğu belirlenmiştir.

Barroca vd. (2013) inşaat mühendisliği yapıları için, beton içindeki sıcaklık ve nem değişimini takip etmek üzere kablosuz sensör izleme sistemi geliştirmişlerdir. Bu sistem ile beton yapısının özellikle ilk evrelerde ve katılaşma sürecinde hem sıcaklık hemde nem değişimlerinin gözlenmesi amaçlanmıştır. Küp şeklindeki beton kalıplarının içinde sıcaklık ve nem değerlerinin aynı anda izlenebileceği iki farklı tür sensör kullanılmıştır. Verilerin kablosuz olarak gönderilmesine izin veren IEEE 802.15.4 standardına dayalı kablosuz sensör ağı kurulmuştur.

İncelenen literatür araştırmasında görüldüğü gibi kablosuz iletişim tekniği ile farklı sistemlerdeki değişkenlerin ölçümleri yapılarak bu değişkenlerin zamanla değişimleri izlenmiştir. Diğer taraftan literatürde farklı proseslerin kablolu kontrolü için PID, GPC ve Fuzzy kontrol yöntemleri kullanılarak bu proseslerdeki değişkenlerin kontrolü başarıyla gerçekleştirilmiştir. Bu iki yaklaşımın kesişiminden yola çıkarak bir proses kontrol simülatoründe yukarıda belirtilen kontrol yöntemlerini kullanarak kablosuz sıcaklık kontrolünün gerçekleştirilmesi amaçlanmıştır. Aynı koşullarda gerçekleştirilen kablosuz sıcaklık kontrol deneylerinde kullanılan kontrol yöntemlerinin etkinliği ve sıcaklık kontrolündeki performansları deney sonuçları karşılaştırılarak belirlenmiştir.

3. KURAMSAL TEMELLER

İtalyan bilim adamı Guglielmo Marconi 12 Aralık 1901’de, İngiltere’deki Cornwall’dan Kanada’ya bağlı Newfoundland’e ilk Atlantik ötesi radyo sinyali göndermeyi başardığında bugünün teknoloji uzmanlarının dillerinden düşürmedikleri “kablosuz iletişimin” ilk büyük adımı da atılmış oldu. Mors alfabesinde “s” harfini temsil eden ve üç noktadan oluşan mesaj 2.700 km mesafeyi katederek radyo sinyallerinin uzun mesafeleri kat edebileceğini ve dünyanın yuvarlılığına rağmen uzun mesafelerden yakalanabileceğini kanıtladı. Bu buluş radyo, televizyon ve modern iletişim araçlarına uzanan teknolojik gelişmenin öncüsü oldu. Aradan geçen yüz senenin ardından aralarında Marconi’nin oğlunun da bulunduğu bilim severler mesajın gönderildiği Cornwall’da bir araya geldi. İngiliz Kraliyet Donanması’nda görevli bir grup mühendis Marconi’nin kullandığı metodun aynısını kullanarak aynı mesajı Newfoundland’e bir kez daha geçti.

Marconi’nin giriştiği deneme 20. yüzyılın ilk günlerinde diğer bilim adamları tarafından macera olarak değerlendiriliyordu. Dönemin bilim dünyası, elektromanyetik dalgaların düz dalgalar halinde ilerledikleri ve bu nedenle dünyanın eğimi tarafından emilecekleri ya da uzayda kaybolacakları gerekçelerini savunarak, uzun mesafeler arasında kablosuz iletişimin imkansız olduğunu savunuyorlardı. Zamanının bilimsel önyargılarını yıkan Marconi hayatı boyunca hayali olan radyo istasyonlarının dünyayı birbirine bağladığı günleri yaşayarak gördü. Ancak muhtemelen kendisi de elde ettiği başarınengelecekte birgün insanların görüşmelerini cep telefonlarıyla, yazışmalarını da fax, e-posta ve sms yoluyla kablosuz olarak gerçekleştirecekleri günleri tahmin etmemişti.

1970 ve 80’li yıllar iletişim alanında dünyada devrimler yaşanmasına sahne oldu. Analog FM teknolojisi kullanılarak hücresel iletişim teknikleri geliştirilmeye başlandı. FM teknolojisi kablosuz iletişim devriminin ilk adımı sayılır ve çoğu zaman birinci nesil teknoloji olarak adlandırılır.90’lı yıllarda ikinci nesil hücresel kişisel iletim sistemleri PCS, (Personel Communications Systems) geliştirildi. Yeni sistemler, zaman bölüşümlü çoklu erişim TDMA (Time Division Multiple Access) ve darband kod bölüşümlü çoklu erişim CDMA (Code Division Multiple Access) standartlarına

dayanmaktadır. Sayısal teknoloji kullanan yeni teknolojiler, analog sistemlere nazaran daha yüksek kapasiteli veri iletimine sahip olmalarına rağmen, halen spektrum kullanımında etkili değiller ve yeterince yüksek hızda veri taşıyamıyorlar. Ayrıca harici frekans girişimlerine karşı korunaklı değildirler.

Günümüzde dünyada üç tane ikinci nesil teknik hakimdir. Bu teknikler GSM, CDMA, PDC'dir. Bunlar arasında GSM (Global System for Mobile Communications) dünya üzerinde en yoğun kullanılan sistemdir. GSM, TDMA temelli bir sistemdir ve Amerika kıtası ve Japonya, Kore haricinde hemen hemen dünyanın her alanında kullanılmaktadır. CDMA sistemler, dünya telsiz hücresel iletişim sistemlerinin yaklaşık yüzde 20'si oranında kullanılmakta ve yoğun kullanıldığı yerler Kuzey ve Güney Amerika kıtasıdır. PDC ise TDMA tabanlı Japon hücresel telsiz iletim sistemi. Bu sistemler değişik yöntemler kullanılarak birbirleri ile haberleşebilecek duruma getirilebilseler dahi, genel olarak dünya üzerinde tek bir değişim ortamı oluşturulamamıştır.

İkinci nesil teknikler çok dar frekans bantları kullanırlar. Bu alan bu sistemlere ses iletimi için yeterli imkanı sağlasa da, veri iletişimi için yeterli değildir. Şu anda ikinci nesil teknikler üzerinden iletilebilecek veri hızı sadece 9.6 Kbps oranındadır. Bu oran veri iletimi için çok düşük düzeyde ve çok pahalıya mal olacak bir durumdur.

Geliştirilen bu iletişim teknikleri ile birlikte bir sıra farklı iletişim teknolojileri de geliştirilmiş durumdadır. Bunların da kendilerine göre avantajları ve dezavantajları vardır. Kullanım alanına ve amacına göre bu teknolojiler birbirinden farklılık arz etmektedir. Uyduları kullanarak küresel iletişim fikri ilk olarak ünlü İngiliz bilim adamı ve bilim kurgu yazarı Arthur C. Clarke tarafından 1945'te ortaya atılmıştır. İkinci Dünya Savaşı sayesinde büyük gelişme kaydedilen güdümlü füze ve mikrodalga haberleşme teknolojileri beraber kullanımları sayesinde yeni bir teknolojinin, Uydu Haberleşme Sisteminin doğmasına neden olmuştur. 1957 yılında uzaya ilk uydunun (Sputnik) gönderilmesi ile uzay çağı başlamıştır. 1958 yılında Amerika Birleşik Devletleri Başkanı Eisenhower'in uydu üzerinden Amerika'ya yılbaşı mesajı yollaması,

1960 yılında ilk yansıtıcı uydunun kullanılması, 1962 yılında ilk röle uyduların kullanılması ve ilk yere göre durağan (Geostationary) uydunun kullanılmaya başlanması uydu haberleşme sistemlerinin gelişim hızını göstermede örnek teşkil etmektedirler.

Bluetooth iletişim tekniği adını 10.yüzyılda Danimarka ve Norveç'i birleştiren Danimarka kralı Harald(Bluetooth, Blatand)'dan almıştır.İsim verme olayı bir telsiz teknolojisi ile başlangıçta telekom vebilgisayar endüstrilerini birleştirmek amacıyla ortak çalışma yapan ve bugün de Bluetooth Special Interest Group(SIG) Bluetooth özel çalışma grubunda etkili olan Ericson ve Nokia firmalarının çalışması sonucu ortaya çıkmıştır.

1994 yılında Ericsson, cep telefonları ve cep telefonu aksesuarları arasında kablosuz iletişim kurabilecek düşük güç tüketimli, düşük maliyetli bir radyo arabirimi üzerinde araştırma yapmaya karar verdi. Bu karar Bluetooth teknolojisinin kapılarını açan adımdı. Benzer şekilde bir cep telefonu ve bir taşınabilir bilgisayar arasında kablosuz iletişim kurmak için de her iki cihaza küçük bir radyo alıcısı yerleştirilebilirdi. Bir yıl sonra mühendislik çalışmaları başladı ve Bluetooth teknolojisinin gerçek potansiyeli daha net bir şekilde görülebilir oldu. Cihazlar arası iletişimde kabloları kaldırmak amacıyla başlatılan bir fikir zamanla yepyeni imkanları da gözler önüne serdi: Bluetooth uygulamaları; mevcut veri ağlarına uzanan evrensel bir köprü, çevre birimleri için bir arabirim ve küçük çaplı cihaz ağları oluşturmak için bir araç olarak da kullanılabilirdi. 1998 Şubat ayında Special Interest Group (SIG) kuruldu. SIG çatısı altında 3Com, Ericsson, IBM, Intel, Lucent, Microsoft, Motorola, Nokia ve Toshiba gibi öncü firmaların yanı sıra binlerce irili ufaklı üye firma da yer almaktadır. SIG'nin başlangıçtaki görevi, teknolojinin sadece tek bir şirket tarafından sahiplenilmesini önlemek amacıyla, kısa menzilli radyo iletişimi sahasında yaşanan teknik gelişmeleri izlemek ve açık, global bir standardın oluşmasını sağlamaktı. Yapılan çalışmaların neticesinde 1999 Temmuz ayında ilk Bluetooth spesifikasyonu çıkarıldı. SIG'nin önemli çalışmaları arasında bu spesifikasyonun geliştirilmesi yer alıyor. Kuruluşun önde gelen diğer görevleri ise birlikte çalışabilirlik gereksinimleri, frekans bandı harmonizasyonu ve teknolojinin kitlelere tanıtılmasıdır.

3.1 Kablosuz İletişim Sistemleri

Kablosuz iletişim sistemleri, iki veya daha çok bilgisayar veya cihaz arasında kablosuz veri iletişimi sağlayan ağlardan oluşmaktadır. Bu ağlar ticaret, eğitim, ulusal veya kişisel kullanım amaçlı olarak kurulabilirler. Kablosuz iletişim ağlarının kapsama alanları, hizmet yapısı, çalışma prensipleri, kurulum mimarisine (topoloji) göre farklı şekillerde gruplandırılabilirler. Kablosuz ağlar kapsama alanlarına göre kablosuz geniş alan ağları, kablosuz metropol alan ağları, kablosuz yerel alan ağları, kablosuz kişisel alan ağları olarak dört gruba ayrılırlar.

3.1.1 Kablosuz geniş alan ağları (Wireless wide area networks, WWAN)

Yüzlerce veya binlerce kilometre mesafe arasında iletişim sağlayan kablosuz ağlardır. Tüm dünya veya ülkeler arasında kullanılan bu ağlarda uydu veya telsiz iletişimi ile çok sayıda bilgisayar veya cihaz arasında kablosuz bağlantı sağlanır. Bu ağların kullanımı için CDMA (Code Division Multiple Access), GSM (Global System for Mobile Communications), GPRS (General Packet Radio Service), 3G (Third Generation) örnek olarak gösterilebilir. Bu ağlarda iletişim yükünün büyük bölümünü ses ve görüntü iletişimi oluşturur.

3.1.2 Kablosuz metropol alan ağları (Wireless metropol area networks, WMAN)

Bir şehri kapsayacak şekilde yapılandırılmış kablosuz iletişim ağlarıdır. Bu ağlarda uydu veya RF iletişimi kullanılmaktadır. WMAN'lar kablolu ağlardan çok daha ucuz, esnek ve kolay kurulum özelliklerine sahiptir. WMAN'lar şubeleri olan kurum ve kuruluşlarda, büyük şirketlerde ve üniversite kampüslerinde yaygın olarak kullanılmaktadır.

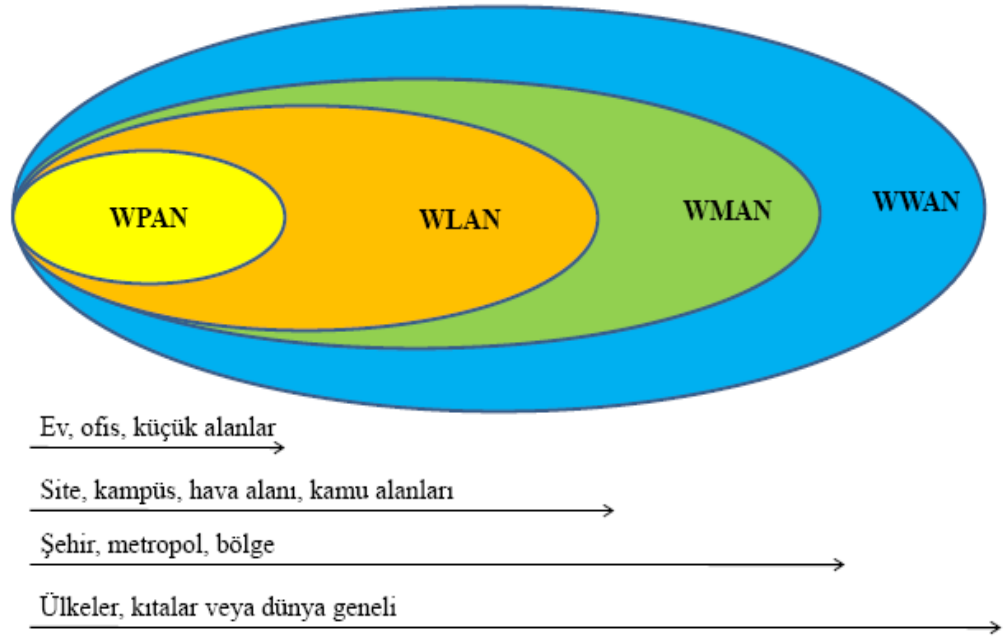
3.1.3 Kablosuz yerel alan ağı (Wireless local area networks WLAN)

WLAN sistemleri kullanıcılara kablosuz geniş bant internet erişimi, sunucu üzerindeki uygulama ve programlara ulaşım, aynı ağa bağlı kullanıcılar arasında elektronik posta hizmeti ve dosya paylaşımı gibi çeşitli imkanlar sağlamaktadır. Ayrıca bu kablosuz sistemler cadde, park, bahçe ve benzeri açık alanlarda başarılı bir şekilde kullanılmaktadır. Ancak bu sistemlerin bağlantı mesafesi 25-100 metre arasındadır. Dünyada yaygın olarak kullanılan iki tür WLAN teknolojisi mevcuttur. Bunlardan biri Amerika tabanlı IEEE 802.11x ve IEEE 802.12 standartları diğeri de Avrupa tabanlı HiperLAN sistemleridir. Bunların dışında Japonya’da geliştirilen MMAC(Multimedia Mobile Access Communication) sistemi de mevcuttur. Ancak MMAC sistemi 3-60 GHz frekans bandında çalışmakta olup, ülkemizde uygulanan Avrupa standartlarından farklıdır.

3.1.4 Kablosuz kişisel alan ağı (Wireless personal area Networks WPAN)

Ev veya küçük işyerlerinde birkaç bilgisayar ve çevre biriminden oluşan kablosuz ağlardır. Yakın mesafedeki elektronik cihazların kablosuz olarak birbirine bağlayan ağlardır. Bu tür sistemler diğer ağlara kıyasla daha düşük veri hızına ve daha kısa iletişim mesafesine sahiptirler. Bu ağların hızları 1 Mbps ve menzilleri 10 metre civarındadır. En yaygın uygulamaları Bluetooth ve HomeRF’dir. Bluetooth daha çok kişinin etrafındaki sayısal cihazlar arasında kablosuz bağlantı kurmak için geliştirilmiştir. HomeRF ise ev veya küçük işyerlerinde bir kablosuz ağ oluşturmak üzere tasarlanmıştır. Her iki sistemde de veri iletişim hızını arttırmak, kapsama alanını genişletmek ve yeni özellikler eklenmesine yönelik çalışmalar devam etmektedir.

Kapsama alanlarına göre kablosuz ağların gruplandırma ve her grubun hizmet alanları şekil 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3.1 Kapsama alanlarına göre kablosuz ağlar

Kablosuz iletişim teknolojisinde iletim ortamı olarak hava kullanılmaktadır. Kablosuz iletişimde veri aktarımı farklı teknolojilerle gerçekleştirilmektedir. Bunların en önemlileri elektromanetik dalgaları kullanan radyo frekansı (RF) ve çıplak gözle görülebilen ışığın altındaki frekansları kullanan kızılötesi teknolojisidir. Bunların yanında Bluetooth, GPS, GPRS gibi kablosuz iletişim teknolojileri de geliştirilmiştir.

3.1.5 Radyo frekansı teknolojisi

Radyo Frekansı (RF) teknolojisinde kablo yerine elektromanyetik dalgalar kullanılarak kablosuz iletişim gerçekleştirilmektedir. Kablosuz yerel ağlarda yaygın olarak kullanılmasına rağmen frekans spektrumu tükenebilen bir kaynak olması nedeniyle verimli kullanılması gerekmektedir. Artan sistem ve kullanıcı sayısı ile frekans talebi artmakta ve yoğun frekans kullanımı sonucunda frekans kirliliği ve enterferans riski de artmaktadır. Bu nedenle son yıllarda frekans spektrumunu daha verimli kullanan ve enterferanstan daha az etkilenen RF teknolojileri geliştirilmiştir.

RF teknolojisinde dar bant ve dağınık spektrum olmak üzere iki teknik kullanılmaktadır. Dar bant tekniği: RF sinyalleri mümkün olduğunca dar frekans aralığına gönderilmeli ve alınmalıdır. Dar bant tekniğinde veri hızı düşüktür ama iletişim mesafesi uzundur. Bu sistemgirişime karşı duyarlı olduğundan her kullanıcının farklı frekans kullanması gereklidir. Bu nedenle kullanıcı sayısının fazla olduğu yerlerde kullanışlı bir teknik değildir. Frekans talebinin ve kullanım yoğunluğunun az olduğu, iletişim mesafesinin uzak, veri hızının ise çok önemli olmadığı durumlarda ve kırsal alanlarda kullanılması mümkündür (Öztürk 2004).

Dağınık spektrum tekniği: Gönderilecek RF sinyalleri kod kullanılarak bandın tümüne yayılarak yada belirlenmiş düzende devamlı frekans atlatılarak gönderilir. Özel alıcılar kodları ayırarak iletişimi gerçekleştirirler. Bu teknikte eğer alıcı özel kodu bilinmiyorsa alınan sinyalleri algılayamayacak ve sinyalleri çevre gürültüsü olarak algılayacaktır. Böylece bu teknik gizlilik sağlayacak ve girişimlere karşı da sistemi koruyacaktır. İyi geliştirilmiş bir modülasyon yöntemine sahip olan bu teknik kablosuz iletişim sistemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Öztürk 2004).

3.1.6 Kızılötesi teknoloji

Kızılötesi teknoloji elektromanyetik spektrumda gözle görülebilen ışığın altındaki frekansları (3×10^{14} kHz/850-950 nm) veri iletiminde kullanan bir teknolojidir. Kızılötesi teknoloji, alıcı ile verici cihaz arasında açık görüş hattının bulunduğu ortamlarda ve kısa mesafeler için çok uygundur. Kızılötesi bağlantı ve kablosuz veri aktarımı için alıcı ve verici cihazların kızılötesi teknolojisine sahip olması gerekmektedir. Kızılötesi teknoloji yoğun olarak uzaktan kumanda cihazlarında kullanılmaktadır. Ayrıca geçici ağ kurma ihtiyacı duyulan toplantılarda veya gezici satış elemanlarında, cep bilgisayarları ve cep telefonlarında da bu teknoloji kullanılmaktadır.

1993 yılında aralarında Hewlett Packard ve IBM'in de bulunduğu yaklaşık 30 firma, kızılötesi ışınlarla veri aktarımını standartlaştırmak için bir araya geldi. İlk standart kızılötesi birimi (SIR) 115.2 Kbps/s veri aktarım hızına sahipti. Daha sonra 'Fast

Infrared Standart' (FIR) geliştirildi. FIR ile 4 Mbit/s veri aktarım hızına ulaşıldı. Son olarak 'Very Fast Infrared Standart (VFIR) ile 16 Mbit/s veri aktarım hızına ulaşılması için çalışmalar sürmektedir.

Kızılötesi ışınlar, normal ışık ve yansıtıcı cisimler gibi etkenlerden kolayca etkilenirler. Kızılötesi ışınların parlak güneş ışığı altında menzilleri çok kısa, ancak evlerde kullanılan yapay ışık altında ise menzilleri daha uzundur. Kızılötesi teknolojisinde bağlantı herhangi bir cihaz üzerinden kurulabilir. Aktif olduklarını belirtmek için kızılötesi veri iletişim arabirimleri her iki saniyede bir bir ışık demeti yayınlarlar. Eğer çevrede başka bir kızılötesi cihaz bulunuyorsa, bu sinyalleri algılar ve böylece bağlantı kurulur. İlk aşamada cihazlar birbirlerine kendi özelliklerini bildiren verileri gönderirler. Daha sonra aynı özellikteki veri aktarımı gerçekleştirilir.

3.1.7 Bluetooth teknolojisi

Bluetooth, Ericsson, Nokia, IBM, Intel ve Toshiba tarafından kızılötesi ve kablolu bağlantılara alternatif olarak geliştirilen kısa mesafede yüksek hızda veri aktarımı sağlayan güvenli bir kablosuz iletişim yöntemidir. Bluetooth yöntemi fiziksel araçtan, iletişim sözleşmesine kadar tamamen en baştan tasarlanmıştır. Bluetooth, kablo bağlantısını ortadan kaldıran kısa mesafeli radyo frekansı teknolojisinin diğer adıdır. Bluetooth destekli cihazlar, 2.4 GHz frekans bandında yaklaşık 10 metre mesafede ses ve veri iletimi yapabilmektedir. Bluetooth teknolojisi, telsiz cihazlar arasında bağlantı kurmak ve veri aktarımı amacıyla kullanılabilir. Ayrıca GSM telefonları kullanılarak masaüstü ve mobil cihazlar kablosuz ağlara veya internete bağlanmak suretiyle dosya alışverişi yapmasına olanak sağlar. Bluetooth teknolojisi ile birden çok cihaz ile aynı anda iletişim kurulabilmektedir. Ayrıca iletişim kurulan cihazlar arasında görsel temas da ihtiyaç duyulmaz. Azami aktarım hızı 721 KBit/s ve kısa menzilli olması nedeniyle Bluetooth kablosuz iletişim teknolojisinin kullanım alanı kısıtlıdır.

3.1.8 GPS (Global Positioning System) teknolojisi

GPS, Amerika Birleşik Devletlerine ait uydular kullanılarak dünyanın herhangi bir yerinde ve herhangi bir zamanda oldukça hassas bir şekilde yer ve pozisyon bilgisi sağlayan sistemdir. Bu sistemin temelinde yeryüzünden yaklaşık 20.000 Km yükseklikteki yörüngede ve sürekli olarak kendi pozisyon bilgisini gönderen 24 adet GPS uydusu bulunmaktadır. Sistemin kurulum değeri yaklaşık olarak 12 milyar ABD dolarıdır. Devam eden bakım masrafları sistemin değerini arttırmaktadır. Bu sistemin ilk kuruluş hedefi tamamen askeri amaçlar içindir. GPS alıcıları yön bulmakta, askeri çıkartmalarda ve roket atışlarında kullanılmak üzere tasarlanmıştır. Ancak, 1980’lerde GPS sistemi sivil kullanıma da açılmıştır. Artık birçok alanda hayati önem taşıyan bir araç olarak kullanıma girmiştir. GPS alıcısı en az 3, en çok 12 adet uyduyu izleyerek kendi pozisyonunu belirler ve alıcının hangi hızda ve hangi yönde hareket ettiği bilgisini üretir. GPS karada, havada ve denizde kullanılabilir. GPS kullanıcılarına bulundukları yeri işaretleme ve belirledikleri noktaya ulaşma imkanı sağlar. GPS kapalı alanlar ve su altı gibi sinyal alınmasının güçleştiği yerler dışında dünya üzerindeki her yerde çalışır.

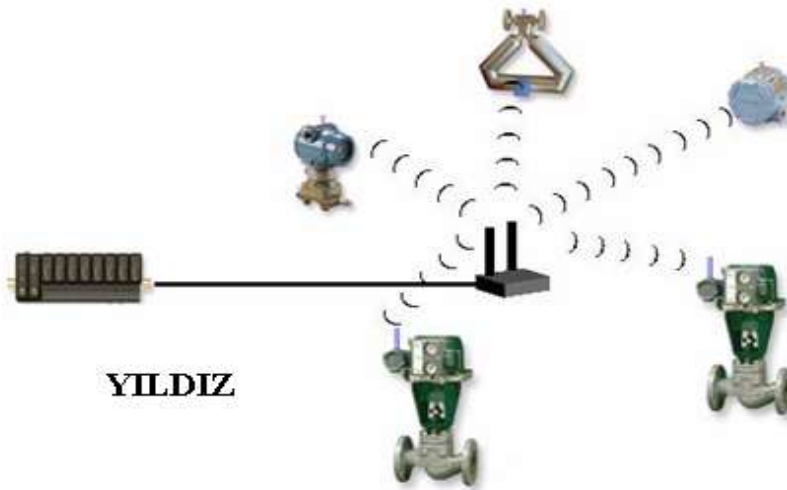
3.1.9 GPRS (General Packet Radio Service) teknolojisi

GPRS, verilerin mevcut GSM şebekeleri üzerinden 28.8-115 KBit/s hızla iletilebilmesine olanak sağlayan cep telefonu kullanıcılarına kesintisiz internet bağlantısı sunan bir mobil iletişim servsidir. GPRS birçok şebekenin kullanıcılarının veri uygulamalarına erişim sağlayabilmek için kullanmak durumunda olduğu faydalı bir teknolojidir. GPRS teknolojisi kullanıcıya kolay ve yüksek erişim hızının yanında bağlantı süresine göre değilde gerçekleştirilen veri alışverişi miktarı üzerinden tarifelendirilen ucuz iletişim olanağı sağlamaktadır. GPRS teknolojisi kullanabilmek için mobil şebeke ve servis sağlayıcı altyapısına GPRS donanım ve yazılımları entegre etmek ve GPRS uyumlu bir telefon kullanmak gereklidir. GPRS teknolojisi aynı hattı aynı anda birden çok kullanıcının paylaştığı bir mobil iletişim teknolojisidir.

Kablosuz ağlarda, kurulum mimarisine yani modüllerin konumu ve ağ bileşenlerinin konumu tarafından belirlenen düzen ve yapıya göre üç çeşit kablosuz ağ yapısı vardır. Bu ağ çeşitleri yıldız, ağaç ve örgü tipi kablosuz ağ yapılarıdır.

3.1.10 Yıldız tipi kablosuz ağ yapısı

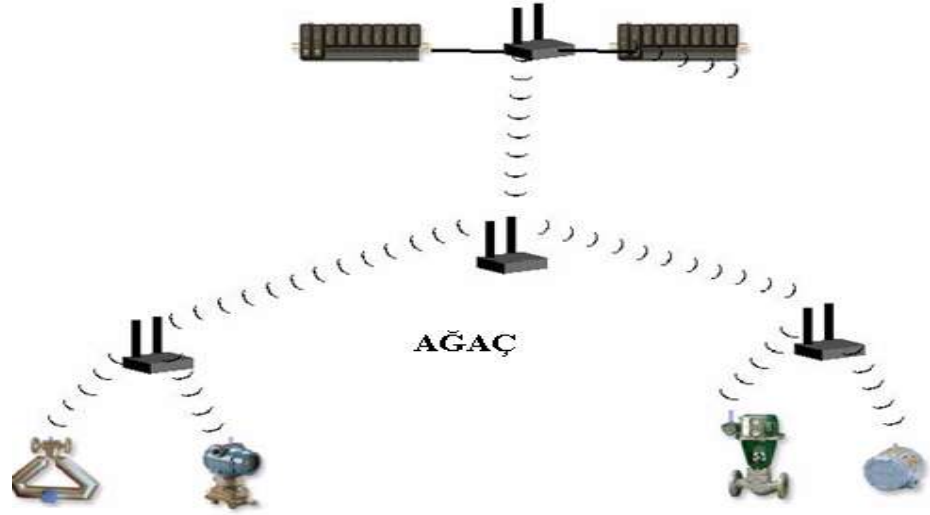
Kablosuz ağlardaki en tipik ve en geçerli diziliş yıldız tipi olan kablosuz ağ yapısıdır. Bunlarda erişim noktası (modül) ortadadır. Her bir kablosuz alet sadece bu erişim noktası ile veri alış-verişi yapıp iletişim kurabilmektedir. Kablosuz aletlerin kendi aralarında veri aktarımı gerekiyorsa bu iletişim kablolar aracılığı ile yapılmaktadır. Bu ağ tipinde bilinmeyen, yabancı herhangi bir sinyal gelmedikten sonra sorun çıkarmamaktadır (Şekil 3.2).



Şekil 3.2 Yıldız tipi kablosuz sistem yapısı (Caro 2008)

3.1.11 Ağaç tipi kablosuz ağ yapısı

Bu ağ tipinde iletişimi sağlayabilmek için farklı noktalarda birden çok modül bulunmaktadır. Kablosuz aletler arasında iletişim bu modüller aracılığı ile yapılmaktadır. Burada modüller kablo görevi görmektedir (Şekil 3.3).



Şekil 3.3 Ağaç tipi kablosuz sistem yapısı (Caro 2008)

3.1.12 Örgü tipi kablosuz ağ yapısı

En yeni ve devrim niteliğindeki ağ yapısıdır. Bu ağ tipinde bulunan her kablosuz alet kendi içlerinde sinyalleri ileten bir özelliğe sahiptir. Her alet hem birbirleri ile hem de modül ile iletişim halinde olup, veri aktarımı yapabilmektedir. Bu ağ tipi kendi kendini onarabilen ve yedekleyebilen bir ağ tipidir. Otomasyon endüstrisinde tercih edilen bir ağ tipidir. İletişim radyo frekansları ile sağlanmaktadır. İnternet bu ağ tipine örnek olarak verilebilmektedir (Şekil 3.4).



Şekil 3.4 Örgü tipi kablosuz sistem yapısı (Caro 2008)

3.2 Sistem Tanımlama

Sistem tanımlama, proses kontrol çalışmalarının başarısını etkileyen oldukça önemli ve zaman alan bir işlemdir. Kontrol edilecek bir prosesin giriş ve çıkış değişkenleri arasındaki ilişkiyi ifade eden matematiksel model kontrol algoritmasında yer alır. Proses kontrolün başarısı da sistemi temsil eden matematiksel modele bağlı olarak değişir. Dinamik bir sistemde gerçekleştirilen deneysel çalışmalarda elde edilen veriler kullanılarak sistemi en iyi şekilde tanımlayan matematiksel model belirlenmeye çalışılır. Sistemlerin modellenmesinde kullanılan matematiksel modelleri oluşturmanın iki yolu vardır.

1. Modelleme: Kütle-enerji denklilikleri ve fizik kanunları kullanılarak prosesi tanımlamak amacıyla kullanılan analitik bir yöntemdir.

2. Sistem Tanımlama: Bir prosesden elde edilen giriş-çıkış değişkenleri verilerinin öngörülen modele uygunluğunun araştırıldığı deneysel bir yöntemdir.

Kimyasal prosesler karmaşık olduklarından dolayı bazı prosesleri modellemek için kütle-enerji denklilikleri ve fizik yasaları yeterli olmamaktadır. Bu durumda sistem tanımlama yöntemleri uygulanır. Sistem tanımlama çalışmaları, sisteme herhangi bir etki (basamak, kare dalga, sinüsoidal, PRBS vb.) verilmesi ve belli zaman aralıklarında elde edilen çıkış değişkeni verileri kullanılarak prosesin dinamik davranışını ifade eden matematiksel model parametrelerini bulmaya dayanır.

3.2.1 Sistem modelleri

Sistem modeli kesikli bir zaman algoritmasıyla gösterilmiştir. Sistem girdisi $u(t)$ ve sistem çıktısı $y(t)$ kesikli zaman yapısında alınabilir ve zaman simgesi (t) tamsayı değerlerini gösterir. $u(t)$ ve gürültü olmaksızın sistem yanıtını $x(t)$ doğrusal bir fark eşitliği şeklinde aşağıdaki gibi tarif edilir.

$$x(t) + a_1 x(t-1) + \dots + a_{n_a} x(t-n_a) = b_0 u(t) + b_1 u(t-1) + \dots + b_{n_b} u(t-n_b) \quad (3.1)$$

Burada $x(t)$, gürültü içermeyen çıkış değerleridir. Geriye kaydırma operatörü q^{-1} eşitlik 3.2'deki gibi tanımlanırsa,

$$q^{-1}x(t)=x(t-1) \quad (3.2)$$

Eşitlik (3.1)'de verilen fark modeli kesikli zaman iletim fonksiyonu ile ifade edilirse;

$$x(t) = \frac{B}{A}u(t) \quad (3.3)$$

Burada A ve B q^{-1} terimlerinin polinomları şeklinde verilmektedir.

$$A(q^{-1}) = 1 + a_1q^{-1} + \dots + a_{n_a}q^{-n_a} \quad (3.4)$$

$$B(q^{-1}) = b_0 + b_1q^{-1} + \dots + b_{n_b}q^{-n_b} \quad (3.5)$$

A ve B polinomu sistemin kökleri ve sıfırlarıdır. A polinomunun köklerinden biri, birim çemberin dışında kalırsa sistem kararlı değildir. B polinomunun köklerinden biri, birim çemberin dışında kalırsa sistem minimum olmayan faz sistemi olur.

3.2.2 Sinyal modelleri

Kendinden ayarlamalı sistemlerde karşılaşılabilsinyaller iki grupta incelenebilir.

I.Tanımlı (deterministik) sinyaller:

Matematiksel bağıntı ile tekrarlanabilen ve tekrarlandığı zaman aynı sonuçları veren sinyallere tanımlı sinyal denir. Tanımlı sinyaller farklı şekillerde olabilir;

a) Sabit offset: Sinyallerin en basitidir. Offsetli bir sistem aşağıdaki şekilde tanımlanabilir.

$$s(t) = d \quad (3.6)$$

Burada d offset sabitidir. Kontrol sistemlerinde offset geri beslemeli bir kontrol için integral işlemi ile yok edilebilir.

b) Zamanla değişen offset: Sabit offsetin genelleştirilmiş şeklidir. Burada offset zamana bağlı olarak bir polinom şeklinde ifade edilebilir. Bu durumda s(t);

$$s(t) = R(t) = r_0 + r_1 t + \dots + r_{n_d} t^{n_d} \quad (3.7)$$

R(t), A'ya bölünerek, ilgili terim işlemi gerçekleştirilir.

$$s(t) = \frac{R(t)}{A} \quad (3.8)$$

c) Ölçülebilen Sinyal: Ölçülebilen bir kaynaktan gelen sinyal $v(t)$, kesikli zaman aktarım fonksiyonu şeklinde aşağıdaki gibi gösterilebilir.

$$s(t) = \frac{D}{A} v(t) \quad (3.9)$$

A ve D terimlerinin polinomları aşağıdaki şekildedir.

$$D = d_0 + d_1 q^{-1} + \dots + d_{n_d} q^{-n_d} \quad (3.10)$$

$$A = 1 + a_1 q^{-1} + \dots + a_{n_a} q^{-n_a} \quad (3.11)$$

II.Random (gelişigüzel) sinyaller:

Genelde, durgun gelişigüzel sinyal kaynağı kararlı transfer fonksiyonu modeliyle gösterilir.

$$s(t) = \frac{C}{A} e(t) \quad (3.12)$$

$$C = 1 + c_1 q^{-1} + c_2 q^{-2} + \dots + c_{n_c} q^{-n_c} \quad (3.13)$$

Bu model ARMA (Auto Regressive Moving Average) model olarak adlandırılır. Eşitlik 3.12 genellikle rastgele zamanla değişen ofset düzensizlikleri ifade etmek için yetersizdir. Böyle durumlarda rastgele gürültü modeli, $s(t)$ 'ye artış verilerek ifade edilmeye çalışılır.

$$s(t) = s(t-1) + \frac{C}{A} e(t) \quad (3.14)$$

$$s(t) = \frac{C}{\Delta A e(t)} \quad (3.15)$$

yazılabilir. $\Delta = 1 - q^{-1}$, fark işlemcisidir. Δ ifadesi gürültü modeli içerisine bir integral ifadesi olarak konulmuştur. Bu durumda ARIMA (Auto Regressive Integrated Moving Average) elde edilir. Karmaşık olmayan çözümler için $C=1$ alınır ve bu durumda $e(t)$ 'ye beyaz gürültü, 1'den farklı bir değer alındığında ise renkli gürültü denir.

III. Toplam sinyal modeli: Tanımlı, rastgele ve ölçülebilir düzensizlikler toplanarak daha geniş bir sinyal kombinasyonu elde edilir. Eşitlik 3.8, 3.9 ve 3.12'nin birleştirilmesiyle aşağıda Eşitlik 3.16 ile toplam sinyal elde edilebilir.

$$s(t) = \frac{R(t)}{A} + \frac{D}{A} v(t) + \frac{C}{A} e(t) \quad (3.16)$$

3.2.3 Sistem ve Sinyal Modellerinin Birleştirilmesi

Eşitlik 3.3 ile verilen sistem modeli birçok kontrol işlemi için oldukça uygundur. Sistem modeli ve sinyal modelinin birleştirilmesi ile proses çıktısı elde edilir.

$$y(t) = x(t) + s(t) \quad (3.17)$$

$$y(t) = \frac{B}{A} u(t-1) + \frac{R(t)}{A} + \frac{D}{A} v(t) + \frac{C}{A} e(t) \quad (3.18)$$

Bu terimlerin tümünün bir modelde olması çok nadirdir. Yukarıda gösterilen tüm yük ifadeleri aşağıda özetlenirse;

- i. Sabit offset kontrol sistemlerinde yaygın olarak gözlenmektedir. Sabit offset durumu prosesin doğasından veya ölçüm cihazlarından kaynaklanabilir.
- ii. $v(t)$, sistem çıktısını etkileyen, ölçülebilen fakat kontrol edilemeyen sinyaldir. İleri beslemeli kontrol sistemi ile ortadan kaldırılabilir.
- iii. $e(t)$, sistemin ölçülebilen çıktısını etkileyen bütün rastgele düzensizliklerdir.

Sadece (iii) göz önüne alınırsa aşağıdaki eşitlik elde edilmektedir.

$$y(t) = \frac{B}{A}u(t-1) + \frac{C}{A}e(t) \quad (3.19)$$

Bu model ARMA tipi modele bir kontrol girdisi eklenerek oluşmaktadır. Bu modele ARMAX (Auto Regressive Moving Average with eXogenous) modeli denir.

$$A(q^{-1})y(t) = B(q^{-1})u(t) + C(q^{-1})e(t) \quad (3.20)$$

$$y(t) + a_1y(t-1) + \dots + a_nay(t-na) = b_1u(t-1) + \dots + b_nbu(t-nb) + e(t) + c_1e(t-1) + \dots + c_nce(t-nc) \quad (3.21)$$

Bazı durumlarda daha iyi gürültü tanımlaması yapmak için integre edilmiş gürültü kullanılarak,

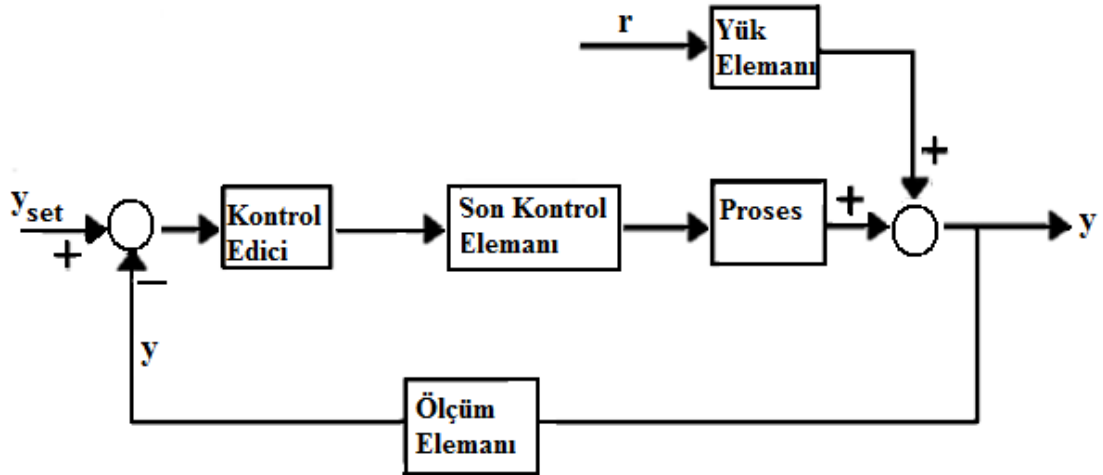
$$y(t) = \frac{B}{A}u(t-1) + \frac{C}{\Delta A}e(t) \quad (3.22)$$

Elde edilir. Bu modele ise ARIMAX (Auto Regressive Integrated Moving Average with eXogenous) modeli denir.

3.3 PID Kontrol Yöntemi

Geri beslemeli kontrolün amacı, set noktası ile kontrol edilmek istenen parametrenin ölçülen değeri arasındaki farkı yok ederek kontrol edilen değişkeni istenilen değerde tutmaktır. Geri beslemeli kontrol sistemindeki kontrol edici, kontrol edilecek çıkış değişkeninden alınan sinyal ile istenilen set noktasını karşılaştırır ve ortaya çıkan hata

değerinin yapısına ve kendi kontrol etkisine bağlı olarak uygun bir hata sinyalini üretir. Son kontrol elemanının hareketi ile kontrol edici de üretilen hata sinyalini küçültecek bir değişim meydana gelir. Son kontrol elemanının ayarlanması sonucu sistem istenilen set noktası değerlerine ulaşmaya çalışır. Son kontrol elemanı, sistemde bir kumanda sinyali ile hareket eden bir motor, ısıtıcı, vana olabilir. Karşılaştırma elemanı veya hata seçicide ayarlanan giriş sinyali ile kontrol edilen çıkış sinyalinin aynı türden olması gerekir. Ölçüm elemanında kontrol edilen değişken değerleri ölçülerek kontrol ediciye iletilmektedir. Sistemde sıcaklık kontrolu için bir termočift veya basınç kontrolu için manometre ölçüm elemanı olabilir. İşlevlerini düzenli olarak gerçekleştiren bu kontrol ekipmanları ve kontrol edilen proses ile birlikte kapalı-hat kontrol sistemini oluşturmaktadır. Prosese dışarıdan giren bir gürültü sinyali ile set noktasındaki sapmalar nedeniyle dinamik olarak kontrol edici çıktıları zamanla değişebilir. Şekil 3.5’de bir geri beslemeli kontrol sisteminin blok diyagramı gösterilmiştir.



Şekil 3.5 Geri-beslemeli kontrol sisteminin blok diyagramı

Kontrol edilen sistem için en uygun kontrol sisteminin seçimi tasarımcı tarafından gerçekleştirilir. PID kontrol ediciler, kontrol hassasiyeti, uygulama prensiplerinin basitliği, dayanıklılığı ve kontrol parametrelerinin ayarlamasındaki kolaylığı nedeniyle endüstriyel alanlarda çok yaygın olarak kullanılmaktadır. PID kontrol ediciler ayrı bir sistem olarak kullanılabildiği gibi gömülü sistemlere algoritma şeklinde de işlenebilmektedir. PID kontrol sinyali, oransal, integral ve türev olarak adlandırılan üç

terimin toplanması ile kontrol çıktısı oluşturulur. PID kontrolün matematiksel gösterimi aşağıda verilmiştir;

$$u(t) = Kc \left(e(t) + \frac{1}{\tau_I} \int_0^t e(t) dt + \tau_D \frac{de(t)}{dt} \right) \quad (3.23)$$

Eşitlik 3.23'ün laplace dönüşümü alınarak elde edilen PID kontrol transfer fonksiyonu aşağıda gösterilmiştir;

$$u(s) = Kc \left(1 + \frac{1}{\tau_I s} + \tau_D s \right) e(s) \quad (3.24)$$

$$G_C(s) = \frac{u(s)}{e(s)} = Kc \left(1 + \frac{1}{\tau_I s} + \tau_D s \right) \quad (3.25)$$

Buna göre PIDkontrol terimlerinin sistem üzerindeki etkisi aşağıda verilmiştir.

- a) Oransal Terimi (Kc): Kontrol edici çıkışına hatanın belirli bir “Kazanç” değeri ile çarpımı kadar etki gösterir. Bu terim sistem cevabını hızlandırır ancak çok düşük değerleri sistemi kararsızlığa götürür.
- b) Integral Etki (τ_I): Kontrol edici çıktısında kontrol işlemi başladığı andan etkinin hesaplandığı ana kadar geçen tüm anlardaki hatanın toplamına orantılı olarak etkisini gösterir. Bu integral etkisi sistemin geçmişteki yaptığı hataların toplamını ifade eder.
- c) Türevsel Etki (τ_D): Kontrol edici çıkışına hatanın değişimi ile doğru orantılı olarak etkisini gösterir. Salınımı azaltarak kontrolün iyileşmesini sağlar.

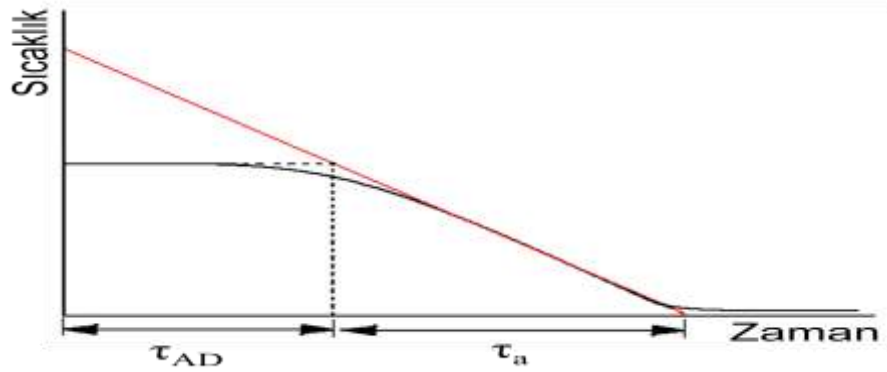
PID kontrol parametrelerinin belirlenmesi için bazı deneysel yöntemler geliştirilmiştir. Ziegler-Nichols (1942) ve Cohen-Coon (1953) yöntemleri en yaygın kullanılan temel parametre belirleme yöntemleridir. Bu yöntemler kontrolün olmadığı açık-hat

sistemlere uygulanır. Sistemin giriş değişkenine bir etki uygulanması sonucunda çıkış değişkeninin zamanla değişimini gösteren reaksiyon eğrisi kullanılır (Stephanopoulos 1984). Reaksiyon eğrisi yönteminde sistem yanıtlarının aşağıda verilen birinci mertebe ölü zamanlı transfer fonksiyonuna uyduğu kabul edilmiştir.

$$G(s) = \frac{U_s e^{-(\tau_{AD}s)}}{1 + \tau_a s} \quad (3.26)$$

3.3.1 Cohen-Coon yöntemi ile PID kontrol katsayılarının belirlenmesi

Sisteme verilen basamak etki sonucu hazırlanan reaksiyon eğrisine maksimum tırmanma noktasında bir teğet çizilir. Teğetin absisi kestiği nokta, ölü zaman olarak adlandırılır (Şekil 3.6).



Şekil 3.6 Cohen-Coon yöntemi için reaksiyon eğrisi

Bu yöntem ile PID kontrol parametrelerinin hesaplanmasında kullanılan denklemler aşağıda verilmektedir:

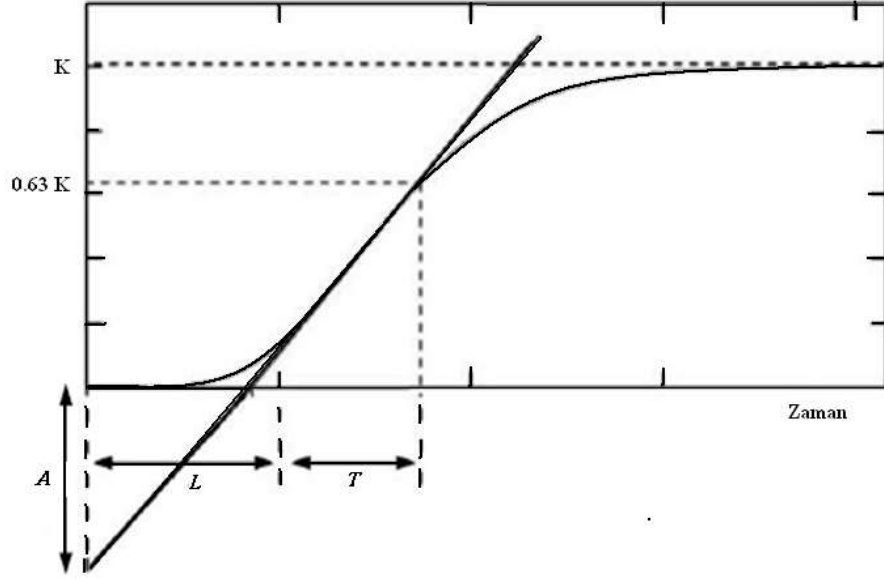
$$K_c = \frac{1}{U_s} \frac{\tau_a}{\tau_{AD}} \left[\frac{4}{3} * \frac{\tau_{AD}}{4\tau_a} \right] \quad (3.27)$$

$$\tau_I = \left[\frac{32 + 6\left(\frac{\tau_{AD}}{\tau_a}\right)}{13 + 8\left(\frac{\tau_{AD}}{\tau_a}\right)} \right] \quad (3.28)$$

$$\tau_D = \tau_{AD} \left[\frac{4}{11 + 2\left(\frac{\tau_{AD}}{\tau_a}\right)} \right] \quad (3.29)$$

3.3.2 Ziegler-Nichols yöntemi ile PID kontrol katsayılarının belirlenmesi

Prosesin başlangıç yatışkın hal değerleri elde edilir. Kontrol sistemi devreden çıkarılır. Ayarlanabilen değişken üzerine belli bir değerde basamak etki verilir. Kontrol edilecek değişkenin yeni yatışkın hale ulaşması beklenir. İkinci yatışkın durum değerleri zamana karşı grafiğe geçirilir. Elde edilen bu grafik reaksiyon eğrisi olarak tanımlanır. K, L, ve T parametrelerinin değerleri belirlenir. Burada K ilk ve son yatışkın koşullar arasındaki farkı, L sisteme verilen etkiden sonra sistemin gösterdiği tepkiye kadar geçen zamanı temsil eden ölü zamanı ve T ise sistemin zaman sabitini göstermektedir (Şekil 3.7).



Şekil 3.7 Ziegler-Nichols yöntemi proses reaksiyon eğrisi

Bu yöntem ile PID kontrol parametrelerinin hesaplanması için kullanılan denklemler aşağıda verilmektedir;

$$K_C = \frac{1.2T}{KL} \quad (3.30)$$

$$\tau_I = 2L \quad (3.31)$$

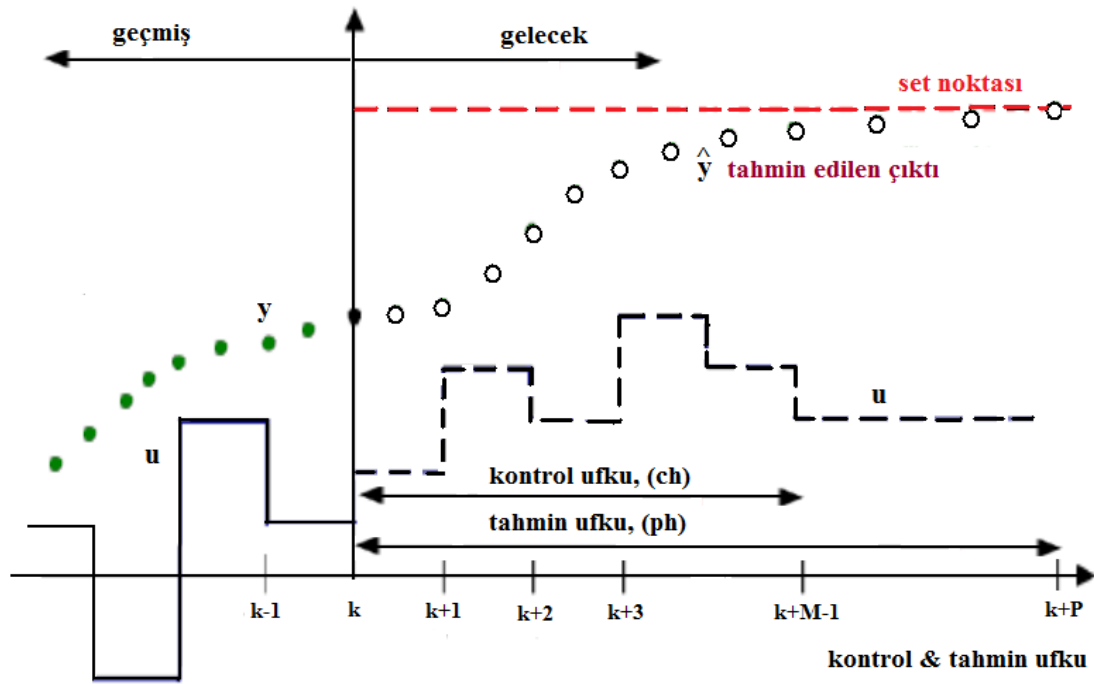
$$\tau_D = 0.5L \quad (3.32)$$

3.4 Model Öngörmeli Kontrol (MPC) Yöntemi

Model öngörmeli kontrol(Model Predictive Control, MPC), sistem davranışının formüle edilebilir olmasının yanında proses kontroldaki başarısından dolayı son yıllarda yoğun ilgi görmektedir. MPC yöntemine bağlı olarak geliştirilmiş farklı kontrol uygulamaları bulunmaktadır. Cutter ve Remarker (1980) Dynamic Matrix Control (DMC), Garcia ve Morari (1982) Internal Model Control (IMC), Ydstie (1984) Model Algorithmic Control (MAC) ve Clarke vd (1987) Generalized Predictive Control (GPC) bu uygulamalara

örnek olarak verilebilir. Literatürde MPC yönteminin kullanıldığı değişik proseslerde farklı parametrelerin kontrolüne yönelik çeşitli çalışmalar bulunmaktadır.

Model öngörmeli kontrol (MPC), başta petrol rafinerisi ve petrokimya tesislerinde olmak üzere kimya endüstrisinde yaygın olarak kullanılan ileri kontrol tekniğidir. MPC belirlenmiş proses modelini kullanarak sistemin gelecekteki yanıtını tahmin eder. İstenen yanıt ile tahmin edilen yanıt arasındaki farklara göre düzenlenmiş bir amaç fonksiyonunu en aza indirgeyecek şekilde kontrol eylemlerini hesaplar ve böylece tahmin edilen yanıt optimal bir şekilde set noktasına yaklaşır. Gerçek çıktı y , tahmin edilen çıktı $\hat{y}$, ve ayarlanabilen değişken u olmak üzere MPC'nin temel çalışma stratejisi şekil 3.8'de gösterilmiştir.



Şekil 3.8 Model öngörmeli kontrolün çalışma stratejisi

Şekil 3.8'den de anlaşıldığı gibi, her zaman aralığında (k) optimizasyon problemi çözülür. Model öngörmeli kontrol, tahmin ufkü (P) boyunca her zaman aralığında yapılan çıkış tahminlerini temel alan objektif fonksiyonun kontrol ufkü (M) boyunca M tane kontrol basamağı için ayar değişkenlerini seçerek minimizasyonunu yapar

(Bequette 2003). Kontrol ufku boyunca amaç fonksiyonunun minimizasyonundan bulunan sonuçlardan sadece ilk kontrol eylemi sisteme uygulanır. Diğerleri bir sonraki optimizasyon işlemi için başlangıç değeri olarak kullanılır. Bu işlem sistem istenilen set noktasına ulaşana kadar devam eder.

Model öngörmeli kontrol için birkaç farklı amaç fonksiyonu seçilebilir. En yaygın olarak kullanılan yöntem en küçük kareler yöntemidir. Burada, amaç fonksiyonu tahmin edilen hatalar (set noktası ile model çıktısı arasındaki fark) ile kontrol eylemi arasındaki farkların kareleri toplamına eşittir. Bu amaç fonksiyonu tahmin ufku üç olan ve kontrol ufku iki olan bir sistem için yazılacak olursa aşağıdaki denklem elde edilir.

$$\phi = (y_{k+1} - \hat{y}_{k+1})^2 + (y_{k+2} - \hat{y}_{k+2})^2 + (y_{k+3} - \hat{y}_{k+3})^2 + w\Delta u_k^2 + w\Delta u_{k+1}^2 \quad (3.33)$$

Burada $\hat{y}$: tahmin edilen model çıktısını, r : set noktasını, Δu : bir örnekleme zamanından diğerine ayar değişkenindeki değişimi, w : ayar değişkenindeki değişim için ağırlık faktörünü belirtir. k değerleri farklı örnekleme zamanlarını gösterir (Bequette 2003). Tahmin ufku P ve kontrol ufku M ile ifade simgelenirse amaç fonksiyonu aşağıdaki şekilde olur.

$$\phi = \sum_{i=1}^P (y_{k+i} - \hat{y}_{k+i})^2 + w \sum_{i=0}^{M-1} \Delta u_{k+i}^2 \quad (3.34)$$

Model öngörmeli kontrolde kullanılan bir diğer amaç fonksiyonu ise tahmin edilen hata ile kontrol eylemlerinin toplamalarının mutlak değerlerinin minimize edilmesidir. Yine P tahmin ufku, M kontrol ufku için amaç fonksiyonu yazıldığında aşağıdaki denklem elde edilir.

$$\phi = \sum_{i=1}^P \left| y_{k+i} - \hat{y}_{k+i} \right| + w \sum_{i=0}^{M-1} \left| \Delta u_{k+i} \right| \quad (3.35)$$

Model denklemleri kullanılarak amaç fonksiyonları kullanılarak büyük çoğunlukla minimize edilerek sonuca ulaşılır. Sonuç olarak, MPC gelişmeye açık bir yöntem

olmakla birlikte kapsam ve uygulama bakımından endüstriye uygundur ve birçok farklı prosese uygulanabilir. Aşağıda MPC'nin uygulamadaki avantajları ve dezavantajları maddeler halinde verilmiştir.

3.4.1 Model öngörmeli kontrol avantaj ve dezavantajları

Model öngörmeli kontrol avantajları;

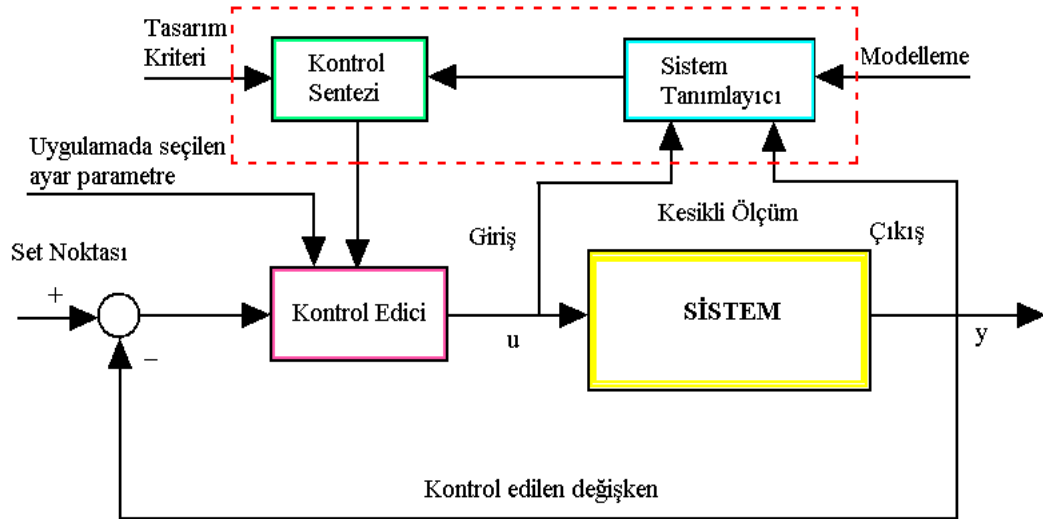
- 1) MPC çok değişkenli sistemlerin kontrolü için rahatlıkla kullanılabilir.
- 2) MPC kullanıcı sınırlamalarını göz önünde bulundurabilir.
- 3) MPC sistem kısıtlamalarına yakın koşullardaki işlemlere olanak sağlar.
- 4) MPC on-line hesaplamaları hızlı bir şekilde gerçekleştirebilir.
- 5) MPC ile yapısal değişimleri elimine etmek mümkündür.
- 6) MPC parametrelerinin ayarlamaları kolaydır.
- 7) MPC minimal olmayan faz ve kararsız proseslerin kullanımı için uygundur.
- 8) MPC hem doğrusal hemde doğrusal olmayan proseslere uygulanabilir.

Model öngörmeli kontrol dezavantajları;

- 1) MPC ile bir çıktının/sonucun tarif edilmesi için genellikle birkaç model katsayısına ihtiyaç vardır.
- 2) Bazı MPC modelleri çıktı gürültülerine göre formüle edilir ve bunlar da girdi gürültülerinin üstesinden gelemeyebilir.
- 3) MPC'de eğer tahmin ufku doğru formüle edilmezse model doğru olsa bile kontrol performansı kötü olacaktır.
- 4) MPC'nin bazı türlerinde sabit bir gürültü varsayımı kullanmaktadır. Bu varsayıma göre model tarafından tahmin edilen çıkış değerleri ile gerçek çıkış değerleri tamamen aynı değildir.

3.5 Genelleştirilmiş Öngörmeli Kontrol (GPC)

Son yıllarda genelleştirilmiş öngörmeli kontrol üzerine yapılan çalışmalar artmıştır. Farklı çalışmalar sonucunda GPC kontrol yönteminin STPID ve GMV'den daha iyi bir kontrol sağladığı belirlenmiştir. GPC sistem çıktısını birkaç örnek alma zamanını göz önüne alarak tahmin eder. Bunun için de gelecek kontrol değerlerini kullanır. GPC yöntemi, önerilen modelin formülüne bağlı olarak proses çıktısının gelecekteki değerlerini tahmin etmek suretiyle iyi bir kontrol performansı göstermektedir. Proses için tahmin edilen bu değerler ile set değerleri karşılaştırılır ve hata değerleri belirlenir. Hesaplanan hata değerleri formüle edilerek kontrol edici hareketleriyle hata minimize edilir.



Şekil 3.9 Kendinden ayarlamalı kontrol edici yapısı

Şekil 3.9'da kendinden ayarlamalı kontrol edici yapısı görülmektedir. Sisteme giren u değişkeni sistem yapısını tanımlayabilmek için rahatsız edilir. Bu işlem sisteme dinamik etki verilerek yapılır. Böylece farklı u değerleri için farklı çıkış değişkeni yani y elde edilir. Elde edilen u ve y değerleri kesikli ölçüm sinyalleri halinde sistem model parametrelerini bulmak için bir modelle birlikte sistem tanımlayıcıya gönderilir. Burada herhangi bir algoritmayla model parametreleri hesaplatılır ve tasarım kriter ile birlikte kontrol sentezine iletilir. Burada

kontrol katsayıları hesaplandıktan sonra uygulamada seçilen ayar parametresi ile birlikte kontrol ediciye gönderilir. Buradan sistemimize giriş değişkeni olarak bir u çıktısı elde edilir.

Proseslerin işletilmeleri sırasında değişik zorluklarla karşılaşmaktadır. Genelleştirilmiş öngörmeli kontrol ile minimum olmayan faz gösteren sistemler, açık-hat kararsız sistemler değişken veya bilinmeyen ölü zamana sahip sistemler ve bilinmeyen dereceden sistemler başarılı bir şekilde kontrol edilebilmektedir.

GPC ile değişen parametre içeren prosesler kararlı olarak kontrol edilir. Model derecesi belli aralıklarda değişen sistemlerde GPC kontrol sisteminin iyi çalışabilmesi için ilgili aralığın girdi ve çıktı verilerini alarak sistemi tanımlamaya yetecek kadar büyük olması gerekir. Bu kontrol açık-hat kararsız, minimum olmayan faz ve fazla parametrelili model için de etkilidir. Implicit (doğrudan) GMV kendinden ayarlamalı kontrol sistemi model derecesinin değişmesine karşın kontrolü gerçekleştirebilir, ancak değişken ölü zamanlı sistemleri kontrol edemez. Explicit (dolaylı) kök yerleştirme metodu STPID, değişen ölü zamanlı sistemleri kontrol etmesine rağmen model derecesi fazla olanlar için başarılı olamaz.

3.5.1 GPC yönteminin uygulama esasları

GPC yönteminin uygulanması çalışmanın başında set noktaları vektörel olarak aşağıdaki şekilde tanımlanır.

$$[r(t+1), r(t+2), \dots, r(t+j)]; \quad i = 1, \dots, j \quad (3.36)$$

Çoğu durumda $r(t+j)$ sabit olan $r(t)$ 'ye eşit alınır. Bazı durumlarda ise $r(t+j)$ 'deki gelecek değişimler bilinir. t anındaki $y(t)$ çıktısında r için doğrusal bir yaklaşım göz önünde bulundurulur. Bu ilişki basit bir birinci mertebeden modelle gösterilirse,

$$r(t) = y(t)$$

$$r(t+j) = \alpha r(t+j-1) + (1-\alpha)r, \quad j = 1, 2, \dots \quad (3.37)$$

Eğer $\alpha \cong 1$ alınırsa gelecekteki set noktaları gerçek set noktasına eşit alınır. Ayrıca GPC gelecekteki set noktası değişimleri için de uygulanabilir. GPC kontrol yönteminin amacı, gelecekteki sistem çıktıları olan $y(t+j)$ 'leri aşağıdaki şekilde gösterildiği gibi $r(t+j)$ 'lere yaklaştırmaktır. Kontrol etkinliği bunu gerçekleştirmeyi gerektirir. GPC tasarımında ileriye yönelik olarak bir nokta yerine bir kontrol aralığı kestirilmektedir. Bu aralık zaman gecikmesini de kapsamakta olduğu için sistemin zaman gecikmesindeki değişimler kontrol etkinliğini etkilememektedir. Bu aralıkta N tane tahmin yapılmakta ve maliyet fonksiyonu minimize olacak şekilde GPC kontrol tasarımını yapılmaktadır.

$$J(u, t) = E \left\{ \sum_{j=N_1}^{N_2} (y(t+j) - r(t+j))^2 + \lambda \sum_{j=1}^{N_u} (\Delta u(t+j-1))^2 \right\} \quad (3.38)$$

$$\Delta u(t+j) = 0 \quad \text{ve} \quad J = N_u, \dots, N_2$$

N_1 : Minimum maliyet ufku, N_2 : Maksimum maliyet ufku, $r(t)$: set noktasıdır. Set noktası sistem çıktısının izlemesi gereken yol olarak seçilir. Pozitif sabit bir değişken olan λ (kontrol ağırlık faktörü) kontrolde hatayı azaltmak için bir ağırlık etkisi yapar. Gerekli kontrol ayarını yapar. Optimizasyon işleminde, $N_2 - N_1 + 1$ gelecekteki sistem çıktısını ve N_u kadar geleceğe yönelik ayar değişkenini dikkate alarak gerçekleştirir. Bu algoritmanın önemli varsayımlarından biri gerçek sistem gecikmesinin N_1 ile N_2 arasında bir değer almasıdır. GPC ayar parametrelerinin seçimi aşağıda gösterilen koşullara göre yapılır.

a) Minimum Çıktı Ufku N_1 : Eğer prosesin ölü zamanı tam olarak biliniyorsa, N_1 k'ya eşit olarak alınmalıdır. Eğer N_1 k'dan küçük alınırsa gereksiz yere hesaplamalar yapılmış olur. Eğer k bilinmiyorsa veya değişkense $N_1 = 1$ alınır ve $B(z^{-1})$ 'in derecesi bütün k değerlerini içerecek şekilde genelleştirilir. Bu nedenle N_1 değeri genelde bir tasarım parametresi olarak kullanılmaz.

b) Maksimum Çıktı Ufku N_2 : Eğer sistem minimum olmayan faz ise başlangıçta negatif bir değer üretir. N_2 daha sonra pozitif bir çıktı üretecek şekilde seçilir. Bu, kesikli zaman sisteminde N_2 'nin $B(z^{-1})$ polinom derecesinden daha büyük seçilmesi demektir. Pratikte,

N_2 'nin genelde büyük değerleri kullanılır ve proses yükselme zamanına yakın bir değer seçilir.

c) Kontrol Maliyet Ufku N_u : Genelde $N_u=1$ koymak, kabul edilebilir bir kontrol sağlar. N_u 'nun arttırılması kontrolün daha aktif olmasına neden olur. Bu aktiflik bir noktaya kadardır. Bundan sonraki N_u değerinin arttırılması kompleks sistemler için uygundur. N_u en azından kararlı olmayan veya sönümlü köklerin sayısına eşit alındığında iyi kontrol gerçekleştirilir.

d) Kontrol Ağırlığı λ : Pratikte $\lambda = 0$ alınır, Eğer $\lambda = \delta$ ise (δ küçük bir değer), ilgili değer ile sayısal kontrol edilebilirliği gerçekleşir. λ iyi bir kontrol ayarı olarak değerlendirilir. N_u ise kontrol için kaba ayarlayıcı olarak belirlenebilir.

GPC kriteri $J(u,t)$ 'yi optimize edecek şekilde seçilir. Bu uygulama Diophantine eşitliğini de içine alır. Sistem modeli olarak ARIMAX modeli kullanılır. J basamak ileriye yönelik çıktı değişkenlerinin tahmini için Diophantine eşitliğinin çözülmesi gerekir. ARIMAX modeli,

$$Ay(t) = Bu(t-1) + \frac{C}{\Delta} e(t) \quad (3.39)$$

Diophantine eşitliği ise şu şekildedir;

$$C = EA\Delta + z^{-j}F \quad (3.40)$$

(3.40) eşitliği (3.39) 'da yerine yazılarak $t = t + j$ yazılırsa;

$$y(t+j) = \frac{B}{A}u(t+j-1) + Ee(t+j) + \frac{F}{A\Delta}e(t) \quad (3.41)$$

Burada $Ee(t+j)$ gelecekteki verileri temsil eder ve $(F/A\Delta)e(t)$ geçmiş ve şimdiki verileri gösterir. E değeri bütün bilinmeyen verileri t zamanda kapsar.

$$E = 1 + e_1z^{-1} + \dots + e_{j-1}z^{-j+1} \quad (3.42)$$

Eşitlik (3.39) 'dan $c(t)$ çekilip (3.41) 'da yerine konulursa;

$$y(t+j) = \frac{B}{A}u(t+j-1) + Ee(t+j) + \frac{F}{C}y(t) - \frac{FB}{AC}u(t-1) \quad (3.43)$$

$$y_{t+j} = \frac{F}{C}y(t) + \frac{EB}{C}\Delta u_{t+j-1} + Ee_{t+j} \quad (3.44)$$

Bu eşitlikteki son terim t. zamandaki ölçüm sinyallerinden bağımsız olan veriyi içerir. (3.39)'dan (3.40) elde edilir.

$$y_{t+j} = \frac{F}{C}y_t + \frac{EB}{C}\Delta u_{t+j-1} \quad (3.45)$$

Burada y_{t+j} t. zamandaki bilinen sinyal değerinin ve gelecek kontrol çıktısının bir fonksiyonudur. İkinci bir tanım eşitliği burada geçmiş ve gelecek kontrol değerlerini ayırmak için yapılır. Onun için tanım eşitliği uygulanarak (3.46) elde edilir.

$$\frac{EB}{C}\Delta u_{t+j-1} = G\Delta u_{t+j-1} + \frac{\Gamma}{C}\Delta u_{t-1} \quad (3.46)$$

$$G = 1 + g_1z^{-1} + \dots + g_{j-1}z^{-j+1} \quad (3.47)$$

$G\Delta u_{t+j-1}$ gelecek, $(\Gamma/C)\Delta u_{t-1}$ geçmiş ve bu zamandaki verileri kullanırlar. t. zamanda bütün bilinmeyen veriler G'de şekillenir. Böylece istenilen tanımlama;

$$\frac{EB}{C} = G + z^{-j} \frac{\Gamma}{C} \quad (3.48)$$

(3.45) eşitliği ile (3.48) eşitliği birleştirilirse,

$$\bar{y}_{t+j} = G\Delta u_{t+j-1} + \frac{\Gamma\Delta u_{t-1}}{C} + \frac{F}{C}y_t \quad (3.49)$$

$$\bar{y}_{t+j}|_t = \frac{\Gamma\Delta u_{t-1}}{C} + \frac{F}{C}y_t \quad (3.50)$$

Burada $\bar{y}_{t+j|t}$ ‘serbest yanıtımı’ gösterir ve serbest yanıtım tahminlerini f vektörüyle belirtir.

$$f = \bar{y}_{t+1|t}, \bar{y}_{t+2|t}, \dots, \bar{y}_{t+N_2|t} \quad (3.51)$$

Gelecek kontrol artışları olan ayarlanabilen değişken $\bar{u}$ vektörü aşağıdaki gibidir.

$$\bar{u} = [\Delta u_t, \Delta u_{t+1}, \dots, \Delta u_{t+N_u-1}]^T \quad (3.52)$$

Tahmin edilen ve kontrol edilen sistem çıktıları vektörü;

$$\bar{y} = [\bar{y}_{t+1}, \bar{y}_{t+2}, \dots, \bar{y}_{t+N_2}]^T \quad (3.53)$$

G matrisi g_i parametrelerinden oluşur. $g_i = \frac{B}{A\Delta}$ tanımından;

$$G = \begin{bmatrix} g_0 & 0 & . & . & . & 0 \\ g_1 & g_0 & . & . & . & 0 \\ . & . & . & . & . & . \\ gN_U - 1 & gN_U - 2 & . & . & . & g_0 \\ . & . & . & . & . & . \\ gN_2 - 1 & gN_2 - 2 & . & . & . & gN_2 - N_U \end{bmatrix} \quad (3.54)$$

Bu durum için $N_1 = 1$ alınır. Eşitlik (3.33)’in minimize edilmesiyle aşağıdaki eşitlik türetilir.

$$J = (\bar{y} - r)^T (\bar{y} - r) + \lambda (\bar{u})^T \bar{u} \quad (3.55)$$

Gelecek için kontrol değerlerini içeren $\bar{u}$ vektörü aşağıdaki şekilde tanımlanır.

$$\bar{u} = (G^T G + \lambda I)^{-1} (r - f) \quad (3.56)$$

Buradaki r set noktası vektörü veya referans sinyali tarif edilirse,

$$r = [r_{t+1}, r_{t+2}, \dots, r_{t+N_2}]^T \quad (3.57)$$

Eşitlik (3.56) gelecek için kontrol değerlerini t zamanı için verir. GPC’nin uygulanması ile elde edilen $\bar{u}$ vektörünün kontrol amacı ile ilk elemanı, Δu_t kullanılır. Optimum kontrolün

bu çözümünden sonra $t+1$ zamanı için elde edilen veriler kullanılarak gelecek basamak için hesap yeniden tekrarlanır. Eşitlik (3.56)'deki kontrol kazancı sabit kalır ve sadece f ve r vektörleri her örnek alma zamanı için yeniden bulunur.

3.6 Fuzzy Kontrol Yöntemi

Fuzzy mantık kavramı ilk defa 1965 yılında California Berkeley Üniversitesinden Prof. Dr. Lotfi A.Zadeh tarafından bu konu üzerine yazdığı yayınlar ile duyulmuştur. Temelde fuzzy mantığı doğru/yanlış, evet/hayır, düşük/yüksek gibi klasik değerler arasında tanımlanabilen ara değerleri de gösteren çok değerlikli bir mantıktır. Bilgisayarlar tarafından işletilen ve matematiksel olarak formüle edilebilen bilgisayar programlarını daha fazla insan gibi düşünen sistemlere uygulamak için uzun, çok hızlı gibi ifadeler kullanılabilir.

Fuzzy mantık teorisinin temeli fuzzy küme teorisi ile açıklanmaktadır. Örneğin “güzel” veya “çirkin” kavramları kişiden kişiye farklılık gösterebilir. Kesin sınırlar söz konusu olmadığı için de böyle kavramlar matematiksel olarak kolayca formüle edilemez ama genel olarak bazı kriterler ile sayısal olarak güzellik sınırları belirlenebilir. Bunun ölçüsü 0 ve 1 arasındaki herhangi bir değer olan üyelik fonksiyonudur. Fuzzy küme teorisinin gelişimi ve kontrol sistemlerine uygulanışı 1980'lerden bu yana oldukça hızlanmış ve 1965'den günümüze kadar 300.000 den fazla yayın yapılmıştır. Bunların çoğu farklı alanda geliştirilmiştir. Diğer taraftan 1990'dan itibaren fuzzy küme teorisi, yapay sinir ağları ve genetik algoritmalar birlikte hareket etmektedirler ve doğal olarak “computational intelligence” (ölçümsel zeka) olarak adlandırılmaktadır. Bu teori yapay zeka, bilgisayar bilimi, kontrol mühendisliği, expert sistemler, mantık, yönetim bilimi, işletme araştırmaları, kalıp tanıma ve robotlar gibi dallarda uygulama alanı bulmuştur (Zimmermann 1996).

Fuzzy kontrolün ilk deneysel uygulaması 1975 yılında Mamdani ve Assilian tarafından küçük bir buhar makinesinin kontrolü olarak gerçekleştirilmiştir. Bu uygulama sonucunda doğrusal olmayan kontrol problemleri için fuzzy kontrol edicinin

klasik kontrol edicilere göre daha pratik geliştirildiği ve daha iyi sonuçlar verdiği belirtilmiştir. Fuzzy kontrolün ilk endüstriyel uygulaması ise Danimarka’da 1978 yılında bir çimento fırınının kontrolüdür. Daha sonra 1980’de Japonlar ilk fuzzy mantık uygulaması olan Fuji Electric işletmesinin su arıtma tesisi kontrolünü gerçekleştirmiştir. 1983’te komutlarla kendi kendine park eden bir araba için fuzzy kontrollü robot çalışmasına başlandı. Bu sırada Hitachi firması Miyamoto-Sendai metrosu için fuzzy kontrol sistemi geliştirmeye başladı. 1987’de bu proje başarıyla tamamlanmış Sendai metrosunun devreye alınmasından sonra 1987’de Tokyo’da uluslar arası fuzzy kontrol sistemler konferansı yapılmıştır. Bu konferansta katılımcılara Sendai metrosunun fuzzy uygulaması tanıtıldıktan sonra fuzzy kontrol konusundaki çalışmalar yeni bir ivme kazanmıştır. Japonya, Amerika’dan sonra Avrupa’da fuzzy kontrol patlaması yaşanmış, elektrikli ev aletleri endüstrisi ve tüketici elektroniği ile başlayarak mekanik ve robotik sistemler, güç santralleri ve sistemleri, iletişim sistemleri, ulaştırma, nakliyat sistemleri, otomotiv sistemleri, kimyasal prosesler ve nükleer reaktörlere kadar fuzzy kontrol uygulanmıştır. Bu fuzzy kontrol patlaması elektronik teknolojinin ve bilgisayar sistemlerinin gelişimine katkıda bulunmuştur (Precup ve Hellendoorn 2011).

Fuzzy kontrol ediciler, klasik kontrol edicilerden farklı olarak, insandan elde edilen yararlı bilgilere ve sistemi çalıştıran operatörlerin deneyimlerine açıktır. Bu doğru matematiksel modeller kurulmasının zor olduğu ya da elde edilen modellerin kullanımının masraflı olduğu kontrol problemlerinde çok önemlidir. Bu tip zorluklar genelde proseslerin lineer olmama özelliğinden, kontrol edilecek proseslerin zaman-değişimi doğasından, önceden tahmin edilemeyen büyük çevresel etkilerden, düşük hassasiyetli algılayıcılardan ya da doğru ve güvenilir ölçümler elde edilmesindeki zorluklardan kaynaklanabilir. Genellikle bu şartlar altında çalışan prosesler deneyimli operatörler tarafından gözlenebilir. Deneyimli bir operatörün bilgisi kontrol edilen prosesin modeline alternatif olarak kullanılabilir. Bu bilgiyi doğru terimlerle ifade etmek zor iken, kontrol davranışının bir dilbilimsel tanımlaması kolaylıkla operatör tarafından ifade edilebilir. Bu dilbilimsel tanımlama fuzzy yöntemini kullanarak oluşturulan kontrol kurallarının bir kümesinden oluşur (Klir ve Yuan 1995).

Klasik kontrol sistemlerinde üzerinde çalışılan prosesin kontrolünde fiziksel modellerin yardımıyla tasarım gerçekleşir. Uygun modellerin üretilmesi ve sisteme uygulanması zaman alır ve mühendisin bilgi birikiminin iyi olması gerekir. Model prosesin basitleştirilmiş bir uyarlamasıdır. Hatalar, gürültü sinyalleri de ilave model oluşumları ile dağıtılır. Bunun yanısıra, birçok proses, herhangi bir model olmaksızın işletimci tarafından kontrol edilebilir. Bunlar klasik kontrol sistemleri ile istenen hassasiyette kontrol edilemezler, sadece insan kullanıcılar ile kontrol sağlanabilir. Örneğin, herhangi bir model olmaksızın bir arabanın kullanılması. Fuzzy kontrolün ana fikri, kullanıcıların veya deneycilerin deneyimlerinin formüle edilmesidir (Zimmermann 1996).

Dilbilimsel proses model kurallarını kullanan fuzzy kontrol ediciler özel bir DDC sistemleridir. Kontrol çıktısını, kontrol edici girdi değişkenlerinin bir fonksiyonu olarak tanımlayan algoritmaların yerine bir fuzzy kontrol edici tasarımcısı dilbilimsel değişkenler aracılığıyla kontrol değişkenleri ile girdi değişkenlerini birbirine bağlayan kurallar oluşturur. Örneğin yaşadığımız odanın ısıtılma sistemini düşünelim. Eğer sıcaklık bir parça düşerse, ısıtma gücünün birazcık artması istenir. Eğer bir fuzzy kontrol edici ile oda sıcaklığı kontrol edilmek istenirse, dilbilimsel değişkenler olarak “hafifçe düşük” ve “bir miktar” terimleri yorumlanarak, bu değişkenler arasında bağlantı kuracak kurallar yazılabilir. Buna örnek olarak;

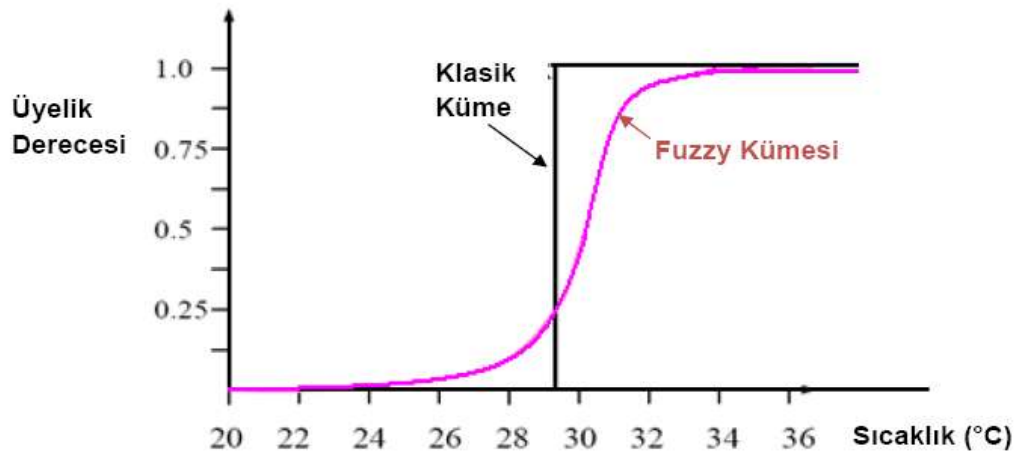
Eğer sıcaklık = “hafif düşük” ise ısıtıcı açıklığı = “bir miktar artırılır” verilebilir.

Tüm kurallar tanımlandıktan sonra, kontrol sistemi tüm kuralları taramakla başlar. Daha sonra sonuçlar, tanımlanan mümkün kontrol çıktılarının bir fuzzy kümesi içinde biraraya getirilir. Bu hesaplamalar bir hesaplama birimi ile yapılır. Yukarıdaki örnekte, ısıtma sistemi “bir miktar artırılır” gibi bir kontrol hareketini anlayamayacağı için, uygun olan fuzzy kümesi ters fuzzyleştirme modülü kullanılarak bir yeni kontrol hareketi ters fuzzyleştirilmiş olur. Bu basit örnek bir fuzzy kontrol edicinin temel ilkelerini gösterir. Bunlar; dilbilimsel değişkenler üzerinden işleyen kural temeli, girdi değerlerinin (bu örnek için sıcaklık) bir fonksiyonu olarak kurallar oluşturan fuzzyleştirme modülü, girdi koşulları ve kural temelinin bir fonksiyonu olarak çıktı değişkenlerinin şartlarını oluşturan hesaplama birimi ve fuzzy kümesini en iyi temsil eden tek bir değere dönüştüren ters fuzzyleştirme modülüdür (Zimmermann 1996).

Fuzzy kontrol kuralları temel olarak, operatörün deneyimleri, kontrol mühendisinin bilgisi, operatörün kontrol hareketlerinin fuzzy modeli, prosesin fuzzy modeli kullanılarak belirlenebilir. Ayrıca prosesin modeli ve sezgisel tasarım kuralları da mevcutsa bunlar kuralların belirlenmesinde kullanılabilir. Genellikle iyi bir sonuç elde etmek için bu metodların kombinasyonu gereklidir.

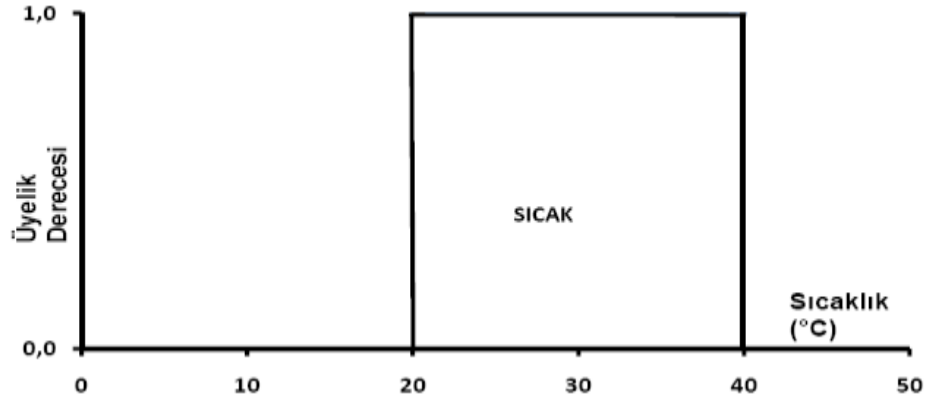
3.6.1 Fuzzy küme teorisi

İlk defa Lotfi A. Zadeh tarafından belirtilen ve insanoğlunun dilbilimsel olarak kullandığı derecelendirme ifadeleri ile oluşturulan fuzzy küme kavramı, klasik kümeye göre daha geniş ve esnek bir küme şeklidir. Bir klasik kümede, nesne kümeye dahildir yada dahil değildir. Nesnenin üyelik derecesi 1 ise kümenin elmanıdır veya üyelik derecesi 0 ise kümenin elemanı değildir. Klasik kümede üyelik derecesi 0 ve 1 arasında bir değer almazken fuzzy nesne kümesinde ise her bir nesne kümede bir üyelik derecesine sahiptir Üyelik derecesi sıfır ile bir arasında değerler alır ve üyelik fonksiyonuyla $M(x)$ gösterilir (Altınten 2001). Şekil 3.10'da klasik kümeye karşı fuzzy kümesinin sıcaklık için karşılaştırıldığı örnek bir gösterim verilmiştir.



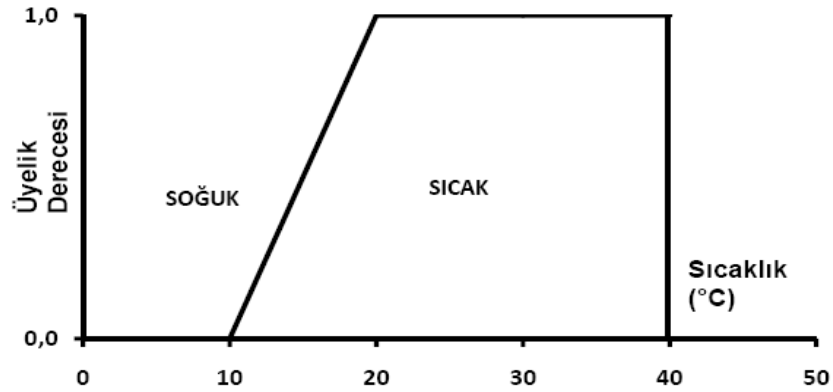
Şekil 3.10 Klasik kümeye karşı fuzzy kümesinin örnek bir gösterimi (Newell 1989)

Klasik küme için şekil 3.11’de bir örnek verilmiştir. Eğer sıcaklık 20 °C’nin altına düşerse sıcak değildir. Yani klasik küme mantığına göre 19.5 °C sıcak değildir. Doğal olarak bu mantığın hiç bir esnekliği yoktur. Ancak gerçek hayatta sınırlar bu kadar keskin değildir.

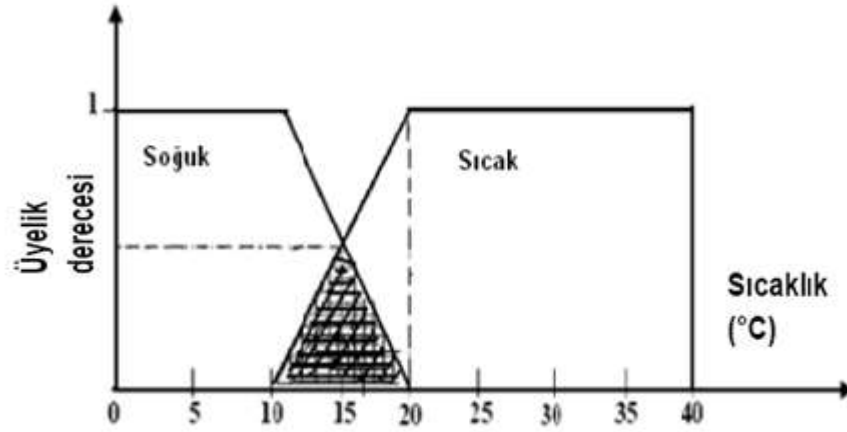


Şekil 3.11 Sıcaklık için bir klasik küme örneği

Fuzzy küme için şekil 3.12’de bir örnek verilmiştir. Burada 10-40°C arasındaki değerler sıcak kümesine üyedirler. 20-40°C arasındaki değerler üyelik dereceleri 1’dir. 10-20°C derece arasındaki sıcaklıkların ise üyelik dereceleri 0 ile 1 değerleri arasında değişmektedir. Başka bir deyişle örneğin 11°C az sıcak, 15°C biraz sıcak olarak değerlendirilir. Şekil 3.13’te görüldüğü gibi 15°C 0.5 üyelik derecesinde hem sıcak hemde soğuk fuzzy kümesine dahildir. Şekilde taranmış bölge fuzzy kümelerin kesişim bölgesidir ve bulanık kümelerin örtüşümü olarak adlandırılır.



Şekil 3.12 Sıcaklık için fuzzy küme örneği

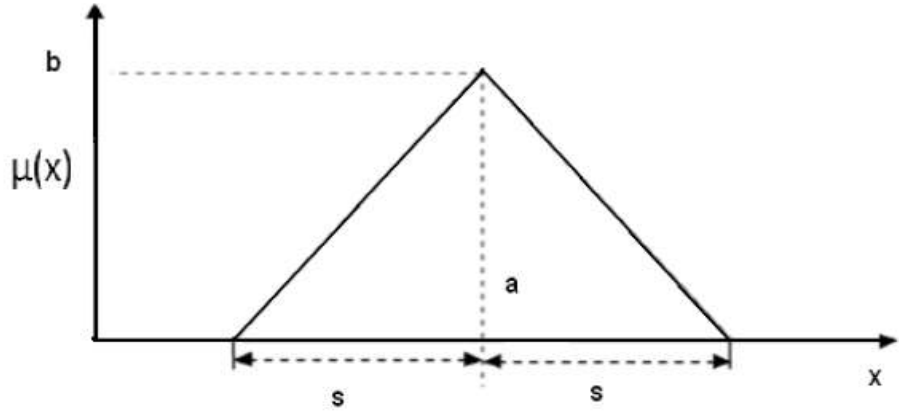


Şekil 3.13 Fuzzy kümelerde örtüşüm örneği

3.6.2 Fuzzy üyelik fonksiyonları

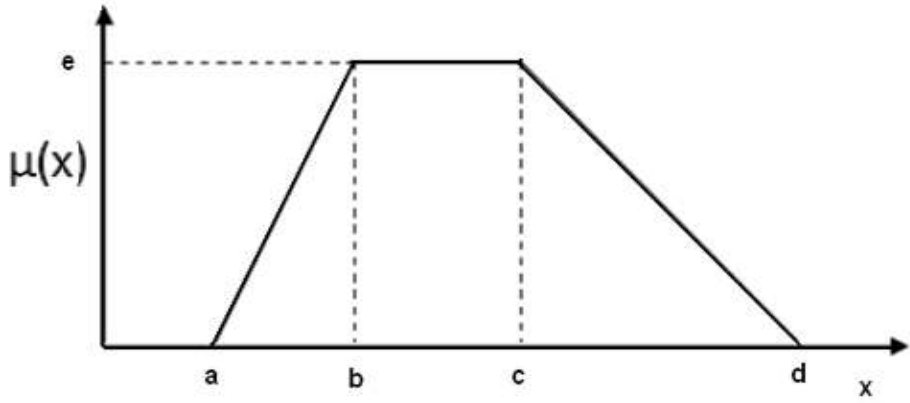
Fuzzy kümelerinde değişken ile üyelik derecesi arasındaki ilişki üyelik fonksiyonuyla belirtilir. Bu fonksiyonlar matematiksel olarak ifade edilebilirler ve $\mu(x)$ ile gösterilirler. Üyelik fonksiyonları, sistemin özelliğine bağlı ve biçimsel olarak üçgen, yamuk, çan eğrisi şeklinde olabilir. Fuzzy kontrolde en çok üçgen şeklindeki üyelik fonksiyonu kullanılmaktadır. Fuzzy mantık ile sistemin üyelik fonksiyonununundizaynı için genellikle uzman kişilerden sağlanan bilgiler kullanılmaktadır. Üyelik işlevleri şekil 3.14'te simetrik ve üçgen üyelik fonksiyonu görülmektedir. Bu fonksiyonun genel gösterimi Eşitlik 3.58'de verilmiştir.

$$\mu(x) = \begin{cases} \left(1 - \frac{|x-a|}{s}\right) & a-s \leq x \leq a+s \\ 0 & \text{aksi takdirde} \end{cases} \quad (3.58)$$



Şekil 3.14 Üçgen şeklindeki üyelik fonksiyonu

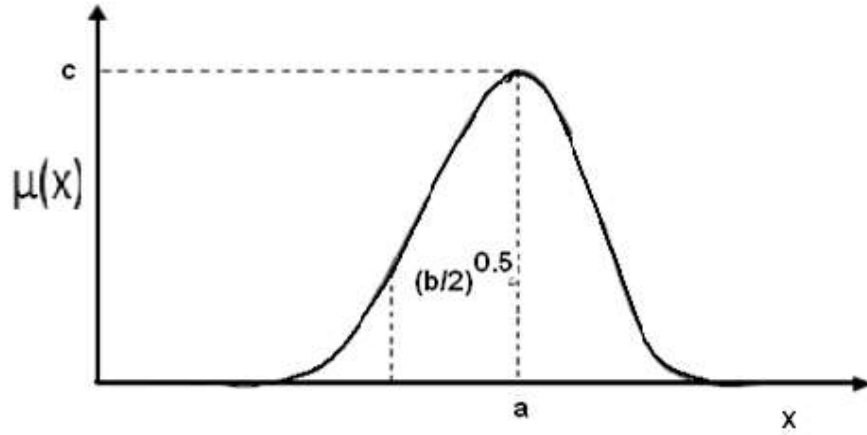
Simetrik ve üçgen şekilli üyelik fonksiyonları şekil 3.14'te gösterilen a , b ve s parametreleri ile gösterilir. Yani her bir üyelik fonksiyonu için sol genişlik, sağ genişlik ve pikin konumu optimize edilecek parametreler olarak seçilir.



Şekil 3.15 Yamuk şeklindeki üyelik fonksiyonu

Üyelik fonksiyonunun diğer önemli bir sınıfı da şekil 3.15'te gösterilen yamuk şeklindeki fonksiyondur. Bu fonksiyon a , b , c , d ve e olmak üzere beş parametreden oluşmaktadır. Bu fonksiyonun genel gösterimi eşitlik 3.59'da verilmiştir.

$$\mu(x) = \left\{ \begin{array}{ll} \frac{(a-x)e}{(a-b)} & a \leq x \leq b \\ e & b \leq x \leq c \\ \frac{(d-x)e}{(d-c)} & c \leq x \leq d \\ 0 & \text{Aksi takdirde} \end{array} \right\} \quad (3.59)$$

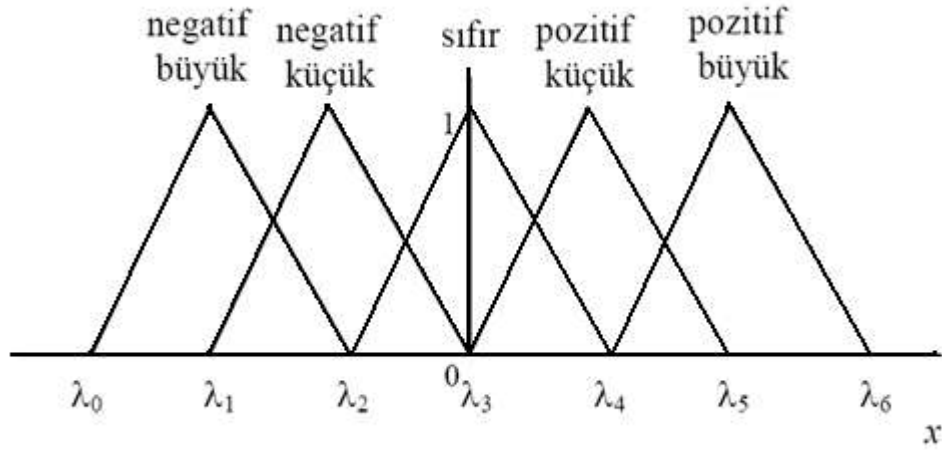


Şekil 3.16 Çan eğrisi şeklindeki üyelik fonksiyonu

Şekil 3.16’da gösterilen çan eğrisi şeklindeki üyelik fonksiyonun a , b ve c parametrelerinden oluşan formülü eşitlik 3.60’da verilmiştir.

$$\mu(x) = c \cdot e^{-\frac{(x-a)^2}{b}} \quad (3.60)$$

Fuzzy kümelerin üyelik fonksiyonlarının tanımlanmasında sayısal ve işlevsel olmak üzere iki yol vardır. Sayısal tanımlama, fuzzy kümenin üyelik fonksiyonunu ve üyelik derecesini belirten sayılardan oluşmuş vektör olarak tanımlar. Bu vektörün boyutu ayırıklaştırma seviyesine bağlıdır veya bir başka deyişle uzaydaki süreksiz elemanların sayısına bağlıdır. İşlevsel tanımlama ise fuzzy kümenin üyelik fonksiyonunu, tanım uzayındaki her bir eleman için üyelik derecesini hesaplayabilen analitik deyimlerle tanımlanır. Üyelik fonksiyonlarında genel olarak gerçek sayılar kullanılır. Bu işlevler $[0,1]$ aralığındaki bir üyelik derecesine sahiptirler. Fuzzy üyelik fonksiyonları birden çok şekilde gösterilebilirler.



Şekil 3.17 Beş üçgenli bir fuzzy üyelik fonksiyonu kümesi

3.6.3 Fuzzy kural temeli

Kural temeli fuzzy kurallarının bir seti, karar tablosu (look-up tablosu olarak da bilinir) ya da ilişki matrisi ile tanımlanabilir ve fuzzy model yapısını oluşturur. Kural temelinin değişik gösterim şekilleri mevcuttur. Buna örnek olarak;

1. Kural temeli fuzzy kurallarının bir seti ile gösterilebilir. Fuzzy IF-THEN yapısı ile kontrol hareketlerini ayarlamak için fuzzy kümelerine e ve Δe 'nin üyelik derecesiyle ilişkili bazı fuzzy kontrol kararları tanımlanır. Örnek bir kural kümesi çizelge 3.1'de gösterilmiştir. Burada e hatayı ve Δe hatanın değişimini göstermektedir.

Çizelge 3.1 Fuzzy kontrol edici için örnek bir kural kümesi

$\Delta e \setminus e$	NB	NK	S	PK	PB
PB	S	PK	PK	PB	PB
PK	NK	S	PK	PK	PK
S	NB	NK	S	PK	PB
NK	NB	NK	NK	S	PK
NB	NB	NB	NB	NK	S

Negatif Büyük	NB
Negatif Küçük	NK
Sıfır	S
Pozitif Küçük	PK
Pozitif Büyük	PB

2. Kural temeli, karar tablosu (look-up tablosu) ile de gösterilebilir. Örnek olarak, girdi hatası ve hatanın değişimine karşılık gelen 5x5 mümkün kontrol hareketi için örnek bir karar tablosu çizelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.2 Fuzzy kontrol hareketleri için örnek bir karar tablosu

	NB	NK	S	PK	PB
NB	1	2	1	1	1
NK	5	3	2	2	5
S	1	2	3	4	5
PK	3	5	4	4	4
PB	5	5	5	4	5

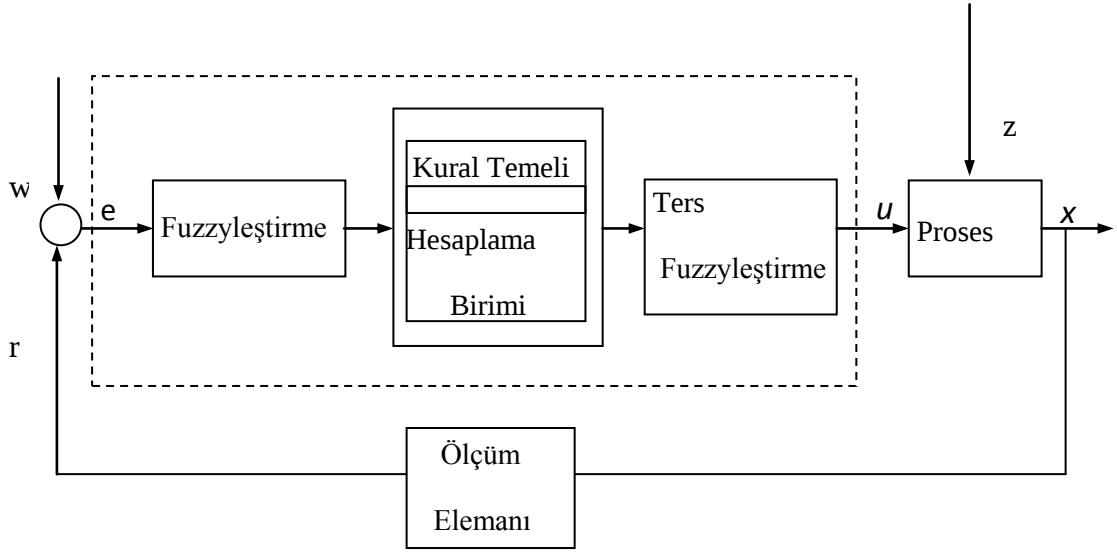
Negatif Büyük	NB	1
Negatif Küçük	NK	2
Sıfır	S	3
Pozitif Küçük	PK	4
Pozitif Büyük	PB	5

3. Kural temeli bir ilişki matrisi ile gösterilebilir. Aşağıda bir-girdi ve bir-çıkıtlı bir sistem için ilişki matrisine örnek gösterilmiştir. Burada giriş ve çıkış değişkenleri fuzzyleştirilmiş olarak kullanılır.

$$R = \begin{bmatrix} 0.1 & 0.2 & 0.3 & 0.5 & 0.9 \\ 0.3 & 0.5 & 0.7 & 0.8 & 1.0 \\ 0.4 & 0.5 & 0.6 & 0.8 & 0.9 \\ 0.7 & 0.7 & 0.7 & 0.7 & 0.7 \\ 1.0 & 0.8 & 0.6 & 0.5 & 0.2 \end{bmatrix}$$

3.6.4 Fuzzy kontrol basamakları

Fuzzy kontrol sistemlerin çalışma ilkesi, insan mantığına göre tasarlanmaktadır. Fuzzy kontrol ediciler genellikle matematiksel modeli bilinmeyen veya matematiksel modeli kurulamayan sistemlerde oldukça etkilidir. Fuzzy kontrol üç temel aşamada gerçekleştirilmektedir. Bunlar fuzzyleştirme, fuzzy kontrol ve ters fuzzyleştirme işlemidir (Altınten 2001).



Şekil 3.18 Bir fuzzy kontrol sisteminin blok diyagramı (Zimmerman 2010)

3.6.4.1 Fuzzyleştirme

Sistemden alınan sayısal giriş değerlerinin mantıksal olarak ifade edilebilen değerlere dönüştürme işlemidir. Üyelik işlevinden faydalanarak giriş bilgilerinin ait olduğu fuzzy kümesi ve üyelik dereceleri tesbit edilerek, girilen sayısal değere küçük, daha küçük, en küçük, gibi dilsel ifadeler atanır. Fuzzyleştirme sonucu, sistem değişkenleri dilbilimsel değişkenlere dönüştürülmektedir. Sistemin verimli çalışmasını sağlamak amacıyla fuzzy kümesi üçgen, yamuk, çan eğrisi gibi değişik şekillerde seçilebilir.

3.6.4.2 Fuzzy kontrol

Fuzzyleştirilmiş ölçüm sinyalleri fuzzy kontrole gelmekte ve amaca göre gerekli hesaplamalar gerçekleştirilmektedir. Bu birimde fuzzyleştirilmiş ölçümler ile ters fuzzy işlemine giren kontrol çıktısı arasında ilişkiler kurulmaktadır. Bu ilişkiler mantıksal ifadelerle dayanan kural kümesi olabildiği gibi bir fuzzy ilişki matrisi şeklinde de olabilir. Olabilecek çıktı vektörü verilen ilişki matrisi ve girdi vektörü kullanılarak hesaplanabilir.

3.6.4.3 Ters fuzzyleştirme

Fuzzy kontrol basamağında elde edilen sonuç yine mantıksal olarak ifade edilebilen değerlerdir. Bu sonucun tekrar sisteme uygulanması için giriş değerleri gibi tekrar sayısal değerlere dönüştürülmesi gerekir. Ters fuzzyleştirme işleminde, fuzzy çıktısından sistemde kontrol sinyali olarak kullanılacak olan gerçek değerlerin elde edilmesini sağlar. Ters fuzzyleştirme işlemi için uygulanan farklı yöntemler mevcuttur. Bu yöntemler genellikle üyelik fonksiyonlarının birleşiminin, ağırlıklarının hesaplanmasına dayalıdır. Ters fuzzyleştirme işlemi için maksimum üyelik ilkesi, ağırlık merkezi yöntemi, ağırlıklı ortalama yöntemi, ortalama maksimum üyelik yöntemi kullanılmaktadır.

Kontrol edilmesi gereken sistemin parametreleri ölçülür. Kesin olan giriş değerleri fuzzyleştirme işlemi ile dilbilimsel değişkenler ile ifade edilir. Fuzzy kuralları sağlayan bilgi tabanı sistemin ayarlanması için gereken değerleri çıkarır. Defuzzyleştirme yöntemlerinden birisi ile elde edilen gerçek değerler sisteme gönderilir. Sistem çıktı sinyalleri alınarak set değerleri ile karşılaştırılır ve böylece fuzzy kontrol döngüsü tamamlanmış olur.

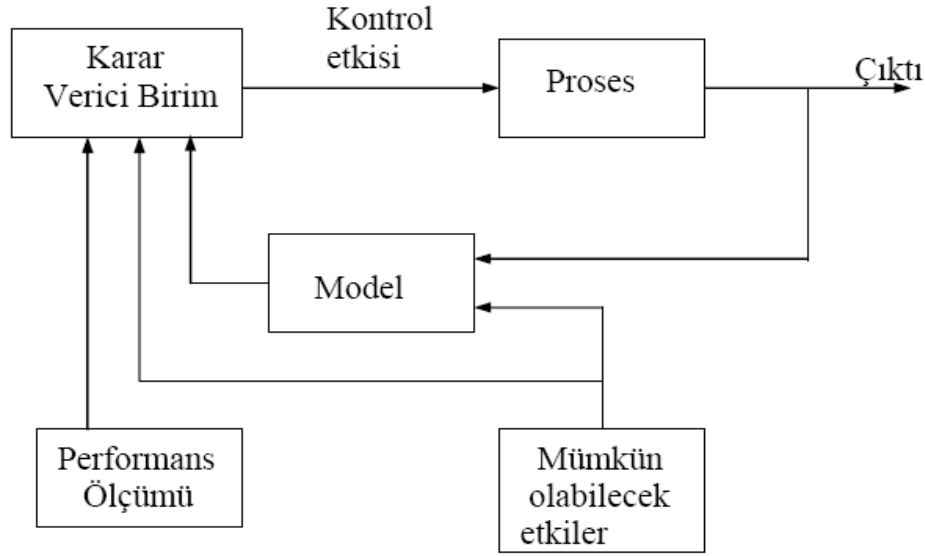
3.6.5 Fuzzy modele dayalı kontrol

Fuzzy mantığın birçok uygulama alanı vardır. Bunlardan biri ve en önemli olanı da sistemlerin kontrol uygulamasıdır. Fuzzy mantığın farklı sistemlerin kontrol uygulamaları için literatürde çok sayıda örnek bulunmaktadır. Klasik kontrol sistemlerinin aksine sistemlerin matematiksel modeline ihtiyaç duymadan sadece istenilen çıkışı verecek şekilde giriş değişkeninin ayarlanması ile gerçekleştirilen fuzzy kontrolün çalışması, sistemi bir ustanın veya uzmanın kişisel kontrolüne benzer. Yani fuzzy mantık kullanılarak makinelerin insanlar gibi kararlar vermesi sağlanabilmektedir.

Kontrol kurallarının oluşturulması, prosesi kontrol edici olsa da olmasa da uzman gibi kontrol edilmesine bağlıdır. Eğer prosesi çalıştıran bilgili ve uzman kişiler ise kelimelerle açıklanabilen dilbilimsel kurallar hemen yazılabilir ve proses kontrolünün devamlı olmasını sağlayabilir. Fakat bu ustalık kelimelerle hemen açıklanamadığından, bu etkinliklerin bir fuzzy modeli kurallarla oluşturulmalıdır. Fuzzy model, bu kapsamda kullanılan proste çalıştırıcının girdi/çıkı kontrol bilgilerini tanımlamasına temel oluşturur. Bununla beraber, proses son derece karmaşık olduğunda, insan uzmanlığı ile kontrol edilemeyebilir. Bu durumda prosesin bir fuzzy modeli kurulur ve kontrol kuralları teorik olarak türetilir. Fuzzy tanımlamasının bir modele dayandırılması istenir.

Modele dayalı kontrolde en önemli kısım modelin oluşturulmasıdır. İşletimci ve sistem mühendisleri deneyimlerine dayanarak bir sistem modeli tanımlayan kurallar yazabilirler. Örneğin, “Eğer reaktör ceketindeki soğutma suyunun akış hızı artarsa, reaktör sıcaklığı düşer” gibi. Diğer yaklaşım ise son yıllarda geliştirilen fuzzy tanımlama algoritmasının (Graham ve Newell 1988) kullanılmasıdır. Bu iki model oluşturma yaklaşımının birleştirilmesi bazı avantajlar sağlayabilir (Newell ve Lee 1989).

Fuzzy modele dayalı kontrolün genel yapısı şekil 3.19’ da gösterilmiştir. Burada seçilen mümkün kontrol hareketlerinin kümesi belirlenmiştir. Bunlar örnek olarak, pozitif ya da negatif değişimler olabilir. Model bu hareketlerin herbiri için çıktının ne olabileceğini tahmin etmede kullanılır. Daha sonra kontrol çıktısının değerini karar mekanizması en uygun şekilde seçer. Örneğin, en küçük hata için gerekli çıktıyı bulur. Daha sonra seçilen kontrol hareketi prosese uygulanır ve herbir kontrol adımı için işlemin tümü tekrarlanır (Newell ve Lee 1989).



Şekil 3.19 Fuzzy modele dayalı kontrol

3.6.6 Fuzzy model belirlemesi

Bir-girdili, bir-çıkıtlı, 1. mertebeden bir sistem için fuzzy model genel formu şu şekilde verilebilir (Newell ve Lee 1989);

$$Y_k = Y_{k-1} \circ U_{k-d} \circ R \quad (3.61)$$

Burada Y ve U model için çıkış ve giriş değişkenlerinin olasılık vektörleri, R model ilişki matrisidir. İndis olan k şimdiki zamanı, $k-1$ geçmişteki bir örnekleme zamanını ve $k-d$ geçmişteki d ölü zamanlı örnekleme periyodunu ifade etmektedir. Model belirleme yöntemi aşağıdaki sıraya göre gerçekleştirilmektedir;

1. Model için ölü zaman ve model tipi seçilir.
2. Giriş ve çıkış için fuzzy referans kümeleri seçilir.
3. Prosesten uygun giriş-çıkış verileri toplanır.
4. Aşağıda gösterilen model ilişki matrisinin değerlendirilmesi ile ilgili belirleme algoritması uygulanır. (Herbir değişken için N referans setinin kullanımı $N \times N \times N$ ilişki matrisini verir.)

Fuzzy model ilişki matrisini belirleme algoritması;

1. Bir başlangıç ilişki matrisi alınır. Bu matris boş olabildiği gibi, bir başlangıç noktası olarak operatörün ya da mühendisin bilgilerini içerebilir.
2. Bir y_k, y_{k-1} ve u_{k-d} veri seti alınır.
3. Elde edilen veriler fuzzyleştirilerek Y_k, Y_{k-1} ve U_{k-d} olasılık vektörlerine çevrilir.
4. Bir ilişki matrisi oluşturulur.

$$R' = U_{k-d} \times Y_{k-1} \times Y_k \quad (3.62)$$

5. U_{k-d} ve Y_{k-1} olasılık vektörleri içerisindeki i^* ve j^* ile gösterilen maksimum üyelik değerinin pozisyonu belirlenir.
6. R' ilişki matrisi R ye çevrilir.

$$R_{i^*, j^*, k} = a \cdot R'_{i^*, j^*, k} + (1-a) \cdot R_{i^*, j^*, k} \quad k=1, N \quad (3.63)$$

$$R_{i, j, k} = \max \{ R'_{i, j, k}, R_{i, j, k} \mid i=i^*, j=j^* \text{ hariç, tüm } i, j, k \text{ için} \} \quad (3.64)$$

Burada a sabit olup değeri 0.5 (iyi bir gürültü yok edici) ve 1.0 (hızlı güncelleme) arasındadır.

7. Daha fazla veri varsa ikinci adıma geri dönülür.

3.6.7 Fuzzy kontrol edici tasarımı

Bir fuzzy kontrol edici tasarlanırken gerekli olan temel aşamalar aşağıdaki gibi sıralanabilir. Bunlar genel olarak bütün sistemler için geçerlidir.

- İlk olarak problemin çözümü için fuzzy mantığın uygun olup olmadığı tespit edilir. Eğer sistemin davranışı hakkındaki mevcut bilgi, klasik kuralların tanımlanması için yeterliyse fuzzy mantığı için de yeterlidir.

- Kontrol edilen sistemin giriş ve çıkış değişkenleri dizileri tanımlanır. Algılayıcılardan gelen ölçümler giriş ve çıkış değişkenleri dizilerini üretir.
- Herbir giriş ve çıkış parametresi için üyelik fonksiyonu tanımlanır. Üyelik fonksiyonlarının sayısı tasarımcının seçimi ve sistem davranışına bağlıdır.
- Bilginin esas bölümü, uzman dilsel kuralları, sezgisel olarak elde edilen bilgileri, giriş ve çıkış bilgilerinin ölçümlerini içerir. Böylece fuzzyleştirme yapılabilir ve hangi kuralın uygulanacağı belirlenir.
- Bir kural tabanı oluşturulur. Kural tabanında, tasarımcı kuralların ne kadar önemli olduğunu tanımlar.
- Oluşturulan kural tabanı ile bazı örnek girişler için sistemin çıkışlarına bakılır. Elde edilen çıkışların doğruluğu ve verilen girişler kümesi için kural tabanına uygunluğu tespit edilir.
- Uygulanan kurala göre sonuç tespit edilir. Kontrol işleminde, en uygun bir tane çözüm değil de yeterli derecede iyi bir çözüm elde edilmelidir.
- Temel olarak fuzzy kontrol işlemi dört bölümden oluşur;

1. Sistemi bilen uzman ve operatörün dilsel ifadelerinden oluşan kurallar kümesinin oluşturulması
2. Giriş bilgilerinin kümesinin oluşturulması
3. İstenen hareketi (çıkışı) elde etmek için verilen verilere kuralların uygulanması
4. Hedeflenen en iyi değer elde edilmesi

3.6.8 Fuzzy kontrol avantaj ve dezavantajları

Fuzzy kontrol avantajları;

- 1) Matematiksel olarak modellenmesi zor veya imkansız olan sistemlerde, zamanla değişken parametrelili ve doğrusal olmayan sistemlerde başarılı sonuçlar verir.
- 2) Sistem hakkında edinilen bilgilerin matematiksel değil de dilsel değişkenler olduğu ve klasik kontrol edici tasarılmanın zor olduğu durumlarda fuzzy mantık uygulaması daha kolaydır.

- 3) Fuzzy mantık sisteme çok seri bir şekilde modellenenebilir çünkü kontrol edici tasarımı yapılırken sistemin matematiksel modeline ihtiyaç yoktur. Sistemde kontrol edici tamamen operatörün tecrübelerine dayalı olarak oluşturulur.
- 4) Fuzzy kontrol insana özgü olan kontrol stratejisini kullandığından dolayı sistem girişleri ve çıkışları arasında rahat anlaşılabilen kolay bağlantılar kurar. Tüm değişkenler herkes tarafından algılanabilecek şekilde oluşturulabilir.
- 5) Fuzzy kontrol, tasarım sürecinin kısa olması, yapılan işlemlerin basitliği, sisteme uygulamanın kolay olması ve yazılımının ucuz olmasından dolayı düşük maliyetli bir kontrol yöntemidir.
- 6) Fuzzy kontrol edici üzerindeki parametreleri değiştirmek, parametre ekleme-çıkarma yapmak, üyelik fonksiyonu toplam sayılarını değiştirmek, deneme/yanılma yöntemlerini kullanmak mümkündür.
- 7) Fuzzy mantık ile tam olarak bilinmeyen veya eksik girilen bilgiler ile sistem üzerinde çalışmak, uygulama yapmak ve sonuç almak son derece rahattır.
- 8) Sistem cevabındaki yüksek osilasyonları ve çıkıştaki aşırı sapmaları gidermek için fuzzy kontrol ediciye daha fazla kural eklemek ve daha fazla üyelik fonksiyonu ile mümkündür.

Fuzzy kontrol dezavantajları;

- 1) Sistem kararlılık analizi için kullanılabilecek ispatlanmış matematiksel bir yöntem veya model yoktur. Fuzzy kontrol sisteminin kararlılığını sağlayabilecek model ancak geleneksel kontrol sistemleri ile birlikte kullanmak ile mümkündür.
- 2) Fuzzy kontrol ediciler genelde sisteme özeldir ve başka bir sisteme uygulanması neredeyse imkansızdır. Çünkü üyelik fonksiyonlarının türü ve sınır değerleri sisteme özeldir.
- 3) Kolay tasarım yapılmasına karşılık sistem üzerinde uygulama ile deneme/yanılma yapılmadan üyelik fonksiyonunun türünü ve sınır değerleri belirlemek çok zordur.
- 4) Fuzzy kontrol edici tasarımında sistem matematiksel modeline ihtiyaç olmadığından kontrol için gerekli bilgiler uzman bilgi ve tecrübelerinden elde edilmektedir. Bunun için bilgilerdeki yanlışlar sistemi kararsızlığa götürecektir.

3.7 MATLAB

Mühendislik sistemlerinde tasarım, modelleme ve simülasyonun önemi gün geçtikçe artmaktadır. Sistemlerin tasarımında büyük ölçüde bilgisayar simülasyonlarından yararlanılmakta ve deneme aşamaları da bilgisayarlar yardımıyla yapılmaktadır. Bu işlemler için farklı bilgisayar programları kullanılmaktadır. Günümüzde mühendislik alanında en çok kullanılan programlardan biri de MATLAB'dır. MATLAB sözcüğü, Matrix Laboratory (matris laboratuvarı) kelimelerinin ilk üç harfi alınarak oluşturulmuştur. MATLAB ilk olarak 1985'de Dr. Cleve Moler tarafından matematik ve özellikle de matris esaslı matematik ortamında kullanılmak üzere geliştirilmiş bir teknik bir programlama dilidir. MATLAB, sayısal ve sembolik hesaplamalar, veri çözümlemesi, gerçek ortamda test ve ölçüm yapabilme, çok gelişmiş çizim işlemleri, algoritma geliştirme, ileri düzeyde programlama, C/C++ ile tümleşik çalışabilmesi, mühendislik ve bilimsel uygulamaları ile tüm dünyada birçok alanda yaygın olarak kullanılan güçlü bir yazılımdır (İnan 2012).

MATLAB'ın ilk sürümleri Fortran diliyle yazılmış olmakla beraber son sürümleri MathWorks firması tarafından C dilinde hazırlanmıştır. Bununla birlikte Java ve Microsoft Excel ile bütünleşik olarak çalışabilir. MATLAB'ın sürekli olarak geliştirilen versiyonları kullanıcılara kullanım kolaylıkları sağlamaktadır. Matematiksel işlemler için parametrik komutlar ve alt programlar geliştiren MATLAB kullanıcılar için kolaylıklar sağlamaktadır. MATLAB, 10^{-308} ile 10^{+308} hesaplama aralığında işlem yapabilmekte, buna ilaveten oldukça güçlü ve kullanışlı grafik çizim imkanları sunmaktadır (Arifoğlu 2005).

MATLAB, kontrol, görüntü işleme, istatistik, optimizasyon, bulanık mantık, yapay sinir ağları, sayısal işaret işleme, güç sistemleri, filtre dizaynı, genetik algoritma, grafik veritabanı, web sunucusu, finans gibi değişik alanlarda kullanılan özel uygulamalar için yazılmış hazır çözüm paketleri ve fonksiyonların bulunduğu birçok farklı araç kutularını (toolbox) içermektedir. Ayrıca içinde bulunan yüzlerce hazır fonksiyon sayesinde kullanıcılar kısa zamanda çok karmaşık problemleri eşzamanlı çözebilmektedir. MATLAB farklı alanlardaki kullanıcılardan gelen taleplerle kendini geliştirerek

günümüzde 500.000'nin üzerinde devlet, endüstri ve akademik çalışmalarda kullanılmaktadır. NASA, Boeing, Toyota, Chrysler, Motorola MATLAB'ı kullanan şirketlerin başında gelmektedir (Uzunoğlu vd. 2003).

3.7.1 MATLAB/Simulink

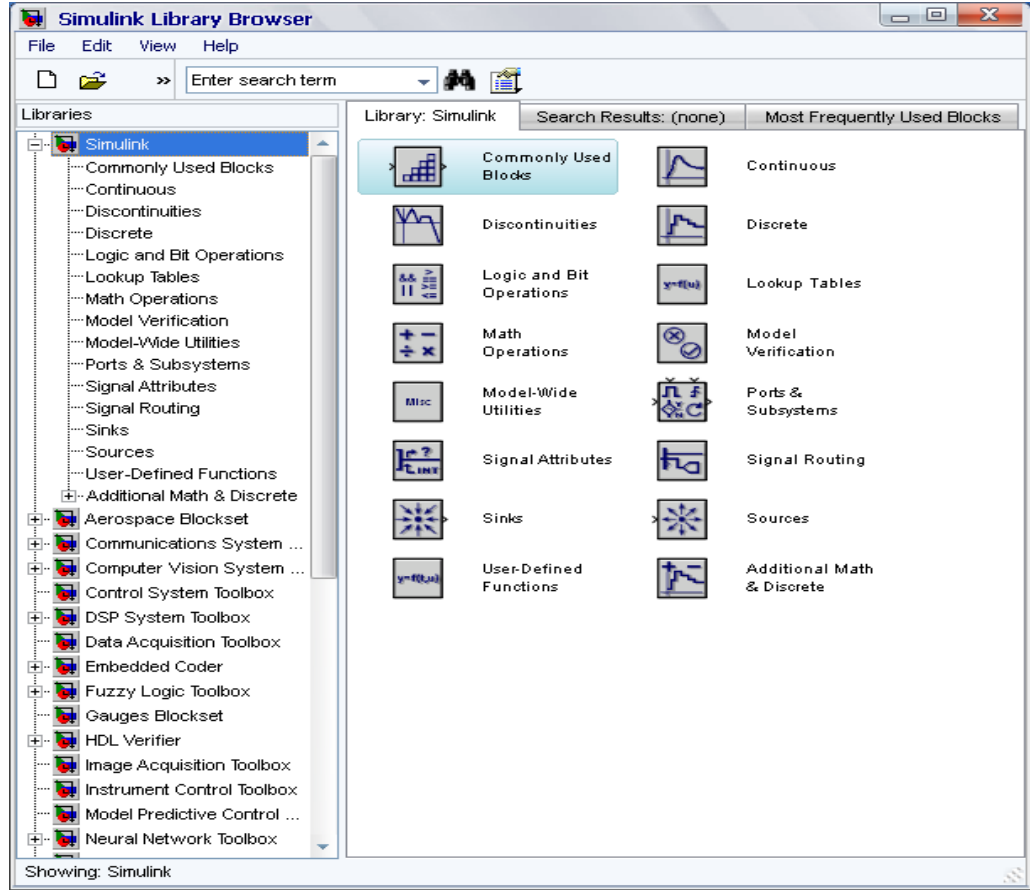
MATLAB ile bütünleşik olarak çalışan Simulink ise dinamik sistem modellerinin oluşturulması, benzetimi ve bu modellerin çözümünde kullanılan bir simülasyon ortamıdır. Simulink bir taraftan MATLAB'ın genel amaçlı fonksiyonlarını kullanırken diğer taraftan da dinamik sistemlerin çözümünde birçok kolaylıklar sağlamaktadır. Simulink sayesinde araştırmacılar karmaşık sistemlerin tasarım ve simülasyonunu kolayca yapabilmektedir. Simulink sürekli zamanda, ayrık zamanda veya her ikisinde de modellenmiş doğrusal veya doğrusal olmayan, tek veya çok değişkenli sistemleri destekler. Modelleme ve benzetim için geliştirilmiş grafiksel ara yüze sahip olan Simulink'te sistemler blok diyagramlar halinde çizilmektedir. Simulink, birçok matematiksel ifadeden başlayarak, elektrik, elektronik, sinyal işleme, kontrol sistemleri gibi farklı işlevlere sahip blokların bulunduğu geniş bir kütüphaneye sahiptir. Blok diyagramında kullanılan bloklar kategorilere ayrılmış şekilde burada bulunmaktadır (Şekil 3.20). Bu kategorilerden bazıları, kaynaklar veya temel elemanlar (Sources), sürekli zaman elemanları (Continious), kesikli zaman elemanları (Discontinious), ayrık elemanlar (Discrete), bağlantılar (Signal Routing), göstergeler veya çıkışlar (Sinks), matematiksel işlemler (Math operations) şeklindedir. Ayrıca kullanıcılar kendi bloklarını geliştirebilme imkanına da sahiptir (Uzunoğlu vd. 2003).

Simulink blokları, dinamik sistemlere ait en küçük yapılardır. Bu yapılar bir giriş veya çıkış olabileceği gibi bir ara işlem elemanı da olabilir. Simulink blokları birleştirilerek sistemlerin blok diyagramları oluşturulur. Kullanıcılar tarafından sistemlerin blok diyagramlarının hazırlanmasında, Simulink kütüphanesinde bulunan bloklar, tıkla, sürükle ve bırak gibi basit işlemlerle taşınarak rahatça gerçekleştirilebilmektedir. Blok diyagramındaki her bir blok sürekli zamanda veya ayrık zamanda çıkış veren temel bir dinamik sistemi ifade eder. Sırayla birbirini takip eden bloklarda değer aktarımı olurken

her blok kendisine gelen değeri işlevine göre işler ve bir çıkış değeri üretir. Bu bloğa bağlı diğer bir blok iletilen değeri koruyarak alır. Bazı bloklarda sadece giriş bazı bloklarda sadece çıkış bazı bloklarda ise hem giriş hemde çıkış bulunmaktadır. Blok diyagramlarını oluşturan blokların içindeki sayısal değerler ve blokların isimleri değiştirilebilir. Çalışma ortamına model için gerekli olan bloklar taşındıktan sonra bloklar uygun biçimde bağlantı çizgileri ile birbirine bağlanır. Ayrıca çok girişten tek çıkış için Mux veya tek girişten çok çıkış için Demux isimli blok elemanları kullanılabilir. Blokların birbirine bağlantısı ile sistemin blok diyagramı tamamlanmış olur. Bloklar arasında komutlar iletilerek model oluşturulmuş olur. Oluşturulan modelin çalıştırılması için Menu'den Simulation açılarak Start komutu seçilmek suretiyle modelin benzetim işletimi çalıştırılır. Model sonuçlarını anında görüntülemek için Scopes veya Graphs blok elemanı kullanılabilir. MATLAB ortamında m.file olarak hazırlanmış dosyalar, blok diyagramındaki Function bloğuna kaydedilerek çalıştırılabilir. Blok diyagramında simülasyon sırasında işlevleri farklı blokların kullanımı için geçiş sağlayan değişik özelliklerdeki anahtar (Switch) kullanılmaktadır (Yüksel 1996).

Simulink blokları özelliklerine göre zamana bağlı bloklar ve zamandan bağımsız bloklar olmak üzere ikiye ayırmak mümkündür. Örneğin bloklar arasında yer alan integral (Integrator) bloğunun çıkış değerleri zamana göre değişmektedir. Buradaki zaman değerleri dinamik sistem simülasyonunun başlangıç ve bitiş zamanlarıdır. Diğer taraftan matematiksel kazanç (Gain) bloğu kendisine iletilen değeri bir katsayıyla çarpar ve çıkış ifadesi üretir. Bu çıkış ifadesi zamana göre değişmez (Uzunoğlu vd. 2003).

Üzerinde çalışılan sistem için uygun bir model oluşturulduktan sonra Simulink ortamından uygun seçimler yaparak veya MATLAB komut ortamında gerekli komutları girmek suretiyle modelin analizi yapılabilir. Bir taraftan benzetim programı çalıştırılırken diğer taraftan da benzetim aşamaları izlenebilmektedir. İstendiğinde, bir benzetim işlemi tamamlandıktan sonra elde edilen veriler MATLAB ortamında da analiz edilebilir.



Şekil 3.20 Simulink blok kütüphanesinin genel görünümü (MATLAB R2012a)

4. MATERYAL VE YÖNTEM

Yapılacak çalışmada; bir proses kontrol simülatöründe PID, GPC ve Fuzzy kontrol yöntemleri ile kablosuz sıcaklık kontrolünün gerçekleştirilmesi hedeflenmiştir. Deneysel çalışmalarda yatışkın hal, dinamik hal ve kontrol deneyleri MATLAB/Simulink blok diyagramı kullanılarak on-line bilgisayar bağlantısıyla kablosuz olarak yapılmıştır. Bu amaçla Ankara Üniversitesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Temel İşlemler Laboratuvar'ında bulunan Cussons P3005 model proses kontrol simülatörü kullanılmıştır. Deneylerin gerçekleştirilmesinde proses kontrol simülatörü ile bilgisayar arasında veri aktarımını sağlamak için kablosuz iletişim sistemi kurulmuştur. Bu iletişim sisteminde simülatör ile bilgisayar arasındaki on-line veri alış-verişi antenler yardımıyla sağlanmaktadır.

4.1 Proses Kontrol Simülatörü

Cussons P3005 proses kontrol simülatörü sıcaklık, akış hızı, sıvı seviye ve basınç olmak üzere dört farklı proses parametresinin ölçüm ve kontrolü yapılabilen bir sistemdir. Proses kontrol simülatöründe iki ana bölüm vardır. Bunlar proses ekipmanlarının bulunduğu bölüm ve elektronik devrelerin bulunduğu, ölçüm ve kontrolün yapılabildiği kumanda panosudur (Şekil 4.1).

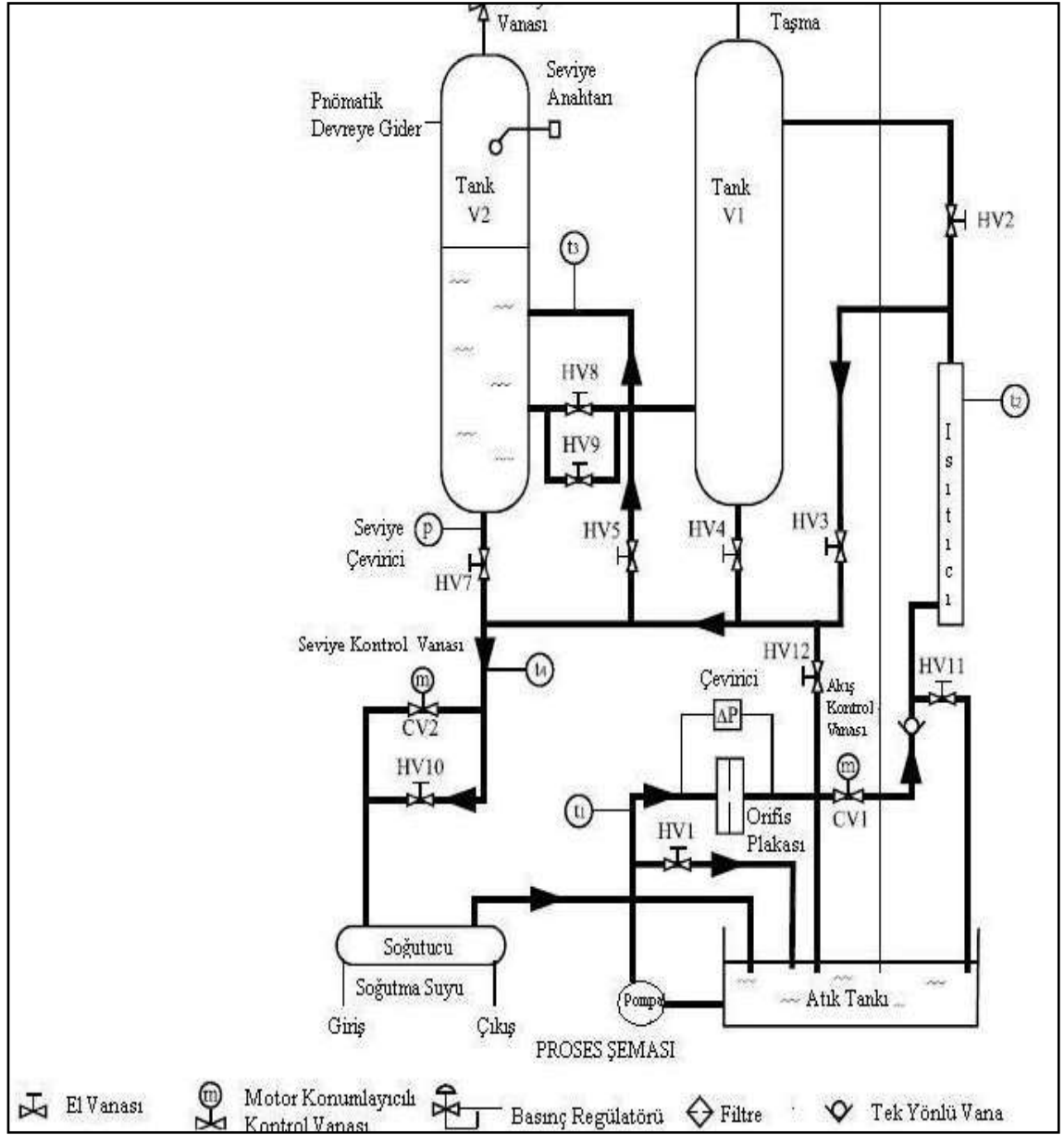
Proses kontrol simülatöründe sisteme beslenen suyun muhafaza edildiği bir adet tank, sistemde suyun sirkülasyonunu sağlayan elektrik ile çalışan bir adet pompa, şebeke suyu ile soğutmanın yapıldığı ceketli soğutucu, sistemde suyun tutulduğu iki adet cam tank, elektrik ile çalışan bir adet akış hızı kontrol vanası (CV1), bir adet sıvı seviye kontrol vanası (CV2), akış hızını ölçen bir adet orifismetre, diferansiyel basınç farkını sıvı seviyesine çeviren bir adet transmitter, sıvının taşmasını önlemek amacıyla pompanın otomatik olarak kapanmasını sağlayan sigorta, pnömatik basınç kontrol edici indikatörü, pnömatik basınç kaydedici, pnömatik olarak çalışan basınç kontrol vanası (CV3), sisteme kompresörden gelen basınçlı havayı istenilen basınç değerindeki havayı

iletken iki adet regülator bulunmaktadır. Ayrıca sistemde dört farklı deney düzeneğini oluşturabilmek için elle ayarlanan vanalar bulunmaktadır (şekil 4.2). Proses kontrol simülatörünün diğer bir birimi ise elektronik devrelerin bulunduğu kontrol panosudur. Bu panoda sıcaklık, sıvı seviye kontrol ve akış hızının ölçüm ve kontrolü yapılabilir. Burada üç adet gösterge, otomatik-manual kontrole geçiş yapılabilen butonlar, PID parametrelerinin sayısal değerlerinin işlendiği butonlar, pompa ve ısıtıcıyı çalıştırmak için butonlar bulunmaktadır.

Simülatörde sıcaklık, akış hızı ve sıvı seviyesi ölçüm ve kontrol sistemi tamamen elektriksel olarak basınç sistemi ise pnömatik olarak çalışmaktadır. Proses kontrol simülatöründe kablosuz ölçüm ve kontrol deneyleri gerçekleştirmek için bazı değişiklikler yapılarak, yeni ekipmanlar eklenmiştir.



şekil 4.1 Proses kontrol simülatörü



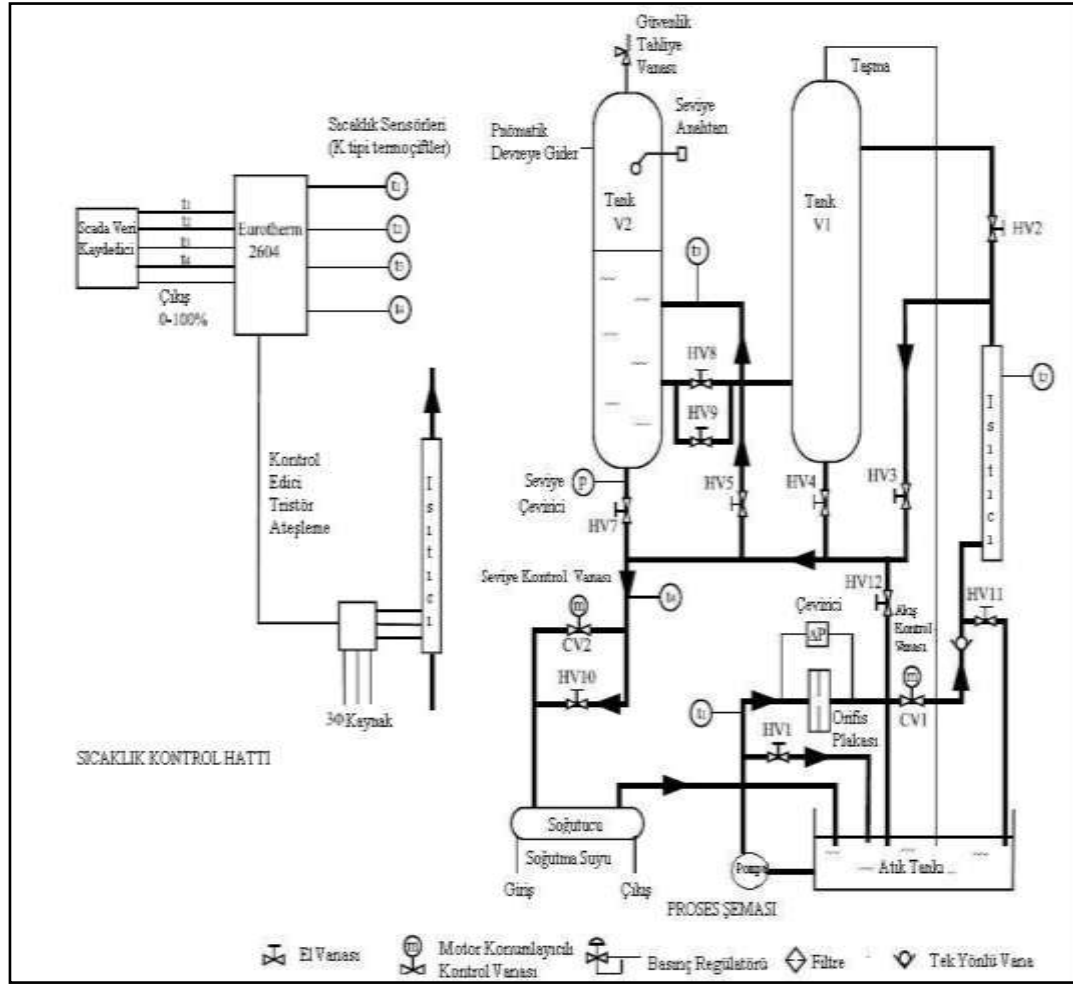
Şekil 4.2 Proses kontrol simülatörünün akım şeması

4.2 Proses kontrol simülatöründesıcaklık kontrol döngüsü

Pompa tarafından sirkülasyonu yapılan tanktaki susırasıyla elektrikli ısıtıcıdan geçerek V1 tankından V2 tankına geçer, böylece termal bir reaktör elde edilir. V2 tankından çıkan su ceketli soğutucudan geçirilerek soğutulduktan sonra tanka geri döner. Sistemde farklı noktalarda bulunan 4 thermocouple (T1-T2-T3-T4) sayesinde 4 farklı noktadaki sıcaklık ölçümü gerçekleştirilmektedir. Tanktaki suyun sıcaklığı pompanın çıkışındaki ‘T1 tarafından ölçülür. Isıtıcıda ısıtılan suyun sıcaklığı ısıtıcı çıkışındaki T2 ile ölçülür. V2 tankının giriş sıcaklığı T3 ve V2 tankının çıkış sıcaklığı T4 ile ölçülür. Isıtıcı çıkışında bulunan T2 thermocouple sayesinde sisteme verilen etkinin cevabı minumum zamanda görülür. T3 thermocouple ile suyun V1 tankından V2 tankına geçiş süresindeki sıcaklık değişimi daha yüksek olarak gözlenir. V2 tankının çıkışında bulunan T4 thermocouple ile suyun V2 tankına girişi ve çıkışı arasındaki sıcaklık farkının daha düşük olduğu gözlenir.

4.2.1 Proses kontrol simülatöründe yapılan sıcaklık kontrol deneyleri

Şekil 4.3’te sıcaklık kontrol döngüsünün şematik gösterimi verilmiştir. Sıcaklık kontrol döngüsünün ana özelliği dört farklı bölgedeki sıcaklıkları ölçebilmek ve bu sıcaklığı geri besleme olarak döngüde kullanabilmektir. Proses kontrol simülatöründe sıcaklık kontrol deneyleri için elle ayarlanan vanaların pozisyonları HV2, HV4, HV5, HV7 vanaları açık ve HV3, HV6, HV8, HV9, HV10 vanaları kapalı konumdadır. CV1 akış hızı kontrol vanası 2.5 l/dk olacak şekilde ayarlanır. Akış hızını ayarlayabilmek için CV1 vanasının pozisyonunu değiştirmek gerekebilir. CV2 sıvı seviye kontrol vanası %45 vana açıklığı değerinde ayarlanarak V2’deki sıvı seviyesininyaklaşıkaynı değerde sabitlenmesi sağlanır. Kontrol panosu üzerindeki ısıtıcı düğmesi ile çalıştırılan ısıtıcı ile sistemdeki suyun sıcaklığı arttırılır. Sistemde sıcaklığı artan suyun soğutulması tanka dönmeden önce ceketli soğutucudan şebeke suyu ile sağlanır.



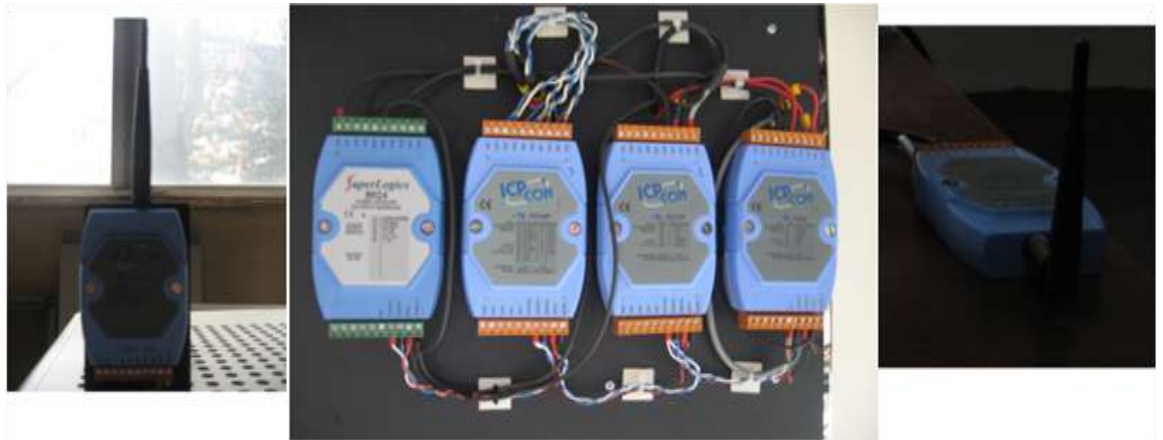
Şekil 4.3 Proses kontrol simülöründe sıcaklık kontrol döngüsü

4.2.2 Kablosuz kontrol amacı için geliştirilen proses kontrol simülörü

Tez kapsamında deneylerin gerçekleştirildiği proses kontrol simülöründe kablosuz ölçüm ve kontrolün sağlanması amacıyla bazı değişiklikler yapılmıştır. Bu amaçla bilgisayar ve sistem arasında iletişimi sağlayabilmek adına simülör ve laboratuardaki bilgisayar arasında veri aktarımını sağlayan iki adet anten koyulmuştur. Ayrıca proseste ayarlanabilen değişkenler olarak belirlenen; ısıtıcı, sıvı seviye kontrol vanası, basınç kontrol vanası tekrardan kalibre edilmiş ve bunların çıkışları modüllere bağlanmıştır. Bu modüller iki anten arasındaki aktarılan verileri bünyesinde bulundurmaktadır (Şekil 4.4 - 4.5).



Şekil 4.4 Kablosuz kontrol amacı ile geliştirilen proses kontrol simlatörü



Şekil 4.5 Kablosuz iletişimi sağlayan anten ve modüller

4.3 Deney Yöntemi

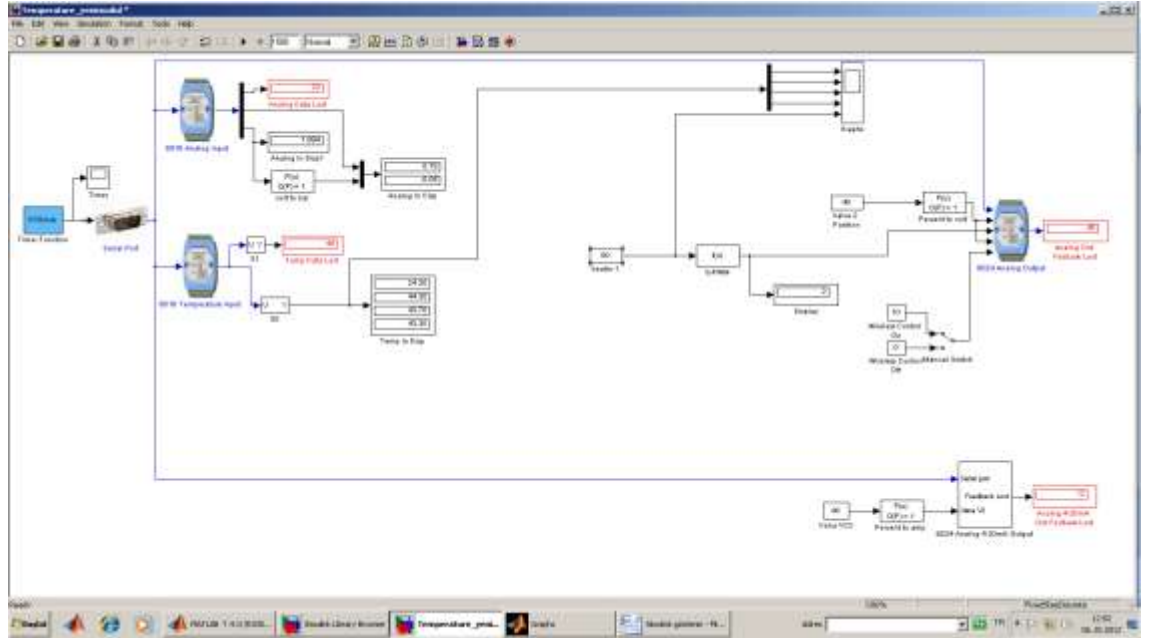
Proses kontrol simülatöründe sıcaklık için yatışkın hal, dinamik hal ve kontrol deneyleri olmak üzere kablosuz deneyler gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneylerde simülatörde giriş değişkeni olan ısıtıcı % açıklığının hareketine bağlı olarak çıkış değişkeni olan ısıtıcı çıkış sıcaklığının (T_2) davranışı on-line izlenerek belirlenmiştir. Dinamik hal deneyleri basamak etki, PRBS etki ve kare dalga etki verilerek yapılmıştır. Basamak etki sonucu ısıtıcı çıkış sıcaklığının değişimine dayanarak PID kontrol parametrelerinin belirlenmesi için reaksiyon eğrisi elde edilmiştir. PRBS etki ve kare dalga etki ile sistem model parametrelerini belirlemek amacıyla ayarlanabilen değişikliğe gelişigüzel ikili sinyaller verilerek çıkış değişkeninin davranışı gözlenmiştir. Kontrol deneyleri ise PID, GPC ve Fuzzy olmak üzere üç farklı kontrol algoritması kullanılarak gerçekleştirilmiştir. MATLAB programında m-file olarak hazırlanmış PID, GPC ve Fuzzy kontrol algoritmaları kullanılarak on-line olarak gerçekleştirilen deneylerde elde edilen sonuçlar kıyaslanarak bu kontrol yöntemlerinin etkinliği değerlendirilmiştir.

4.3.1 Kablosuz sıcaklık deneyleri

Sistemde dört farklı proses parametresinin ölçüm ve kontrolü yapılabildiğinden elle ayarlanan vanalar ile dört farklı deney düzeneği kurulabilmektedir. Simülatörde, sıcaklık ölçüm ve kontrol deneyleri için öncelikle sıcaklık döngüsü oluşturabilmek için elle ayarlanan vanalar ilgili pozisyona getirilir. Elektronik kontrol panosu üzerinden pompa düğmesi açılarak pompa çalıştırılır ve suyun sıcaklık döngüsündeki sirkülasyonu sağlanır. Sıvı seviyesinin ölçümü için R1 ve R2 regülatörleri sayesinde istenilen hava basıncı ayarlandıktan sonra V2 tankında suyun istenilen seviyeye kadar dolması sağlanır. Deneyler sırasında sıcaklığı artan suyun tanka dönmeden önce soğutulması için ceketli soğutucudan geçirilen şebeke suyu açılır. Elektronik kontrol panosu üzerinden ısıtıcı düğmesi açılarak deneylere başlanır. Kablosuz deneylerden önce CV1 akış hızı kontrol vanası 2.5 l/dk olacak şekilde ayarlanır. CV2 sıvı seviye kontrol vanası %45 vana açıklığı değerinde ayarlanarak V2'deki sıvı seviyesinin sabitlenmesi sağlanır.

4.3.2 Yatışkın hal deneyleri

Sistemde salınımın olmadığı, ısıtıcı açıklığının sabit değerinde sıcaklığın zamanla değişmeyip sabit kaldığı deneylerdir. Tüm deneylere başlanmadan önce %10 ısıtıcı açıklığında sistem 300s boyunca çalıştırılarak ısıtıcı çıkış sıcaklığının sabitlenmesi gözlenir. Yatışkın hal deneylerinden önce CV1 akış hızı kontrol vanası 2.5 l/dk olacak şekilde ayarlanır. CV2 sıvı seviye kontrol vanası %45 vana açıklığı değerinde ayarlanarak V2'deki sıvı seviyesinin sabitlenmesi sağlanır.

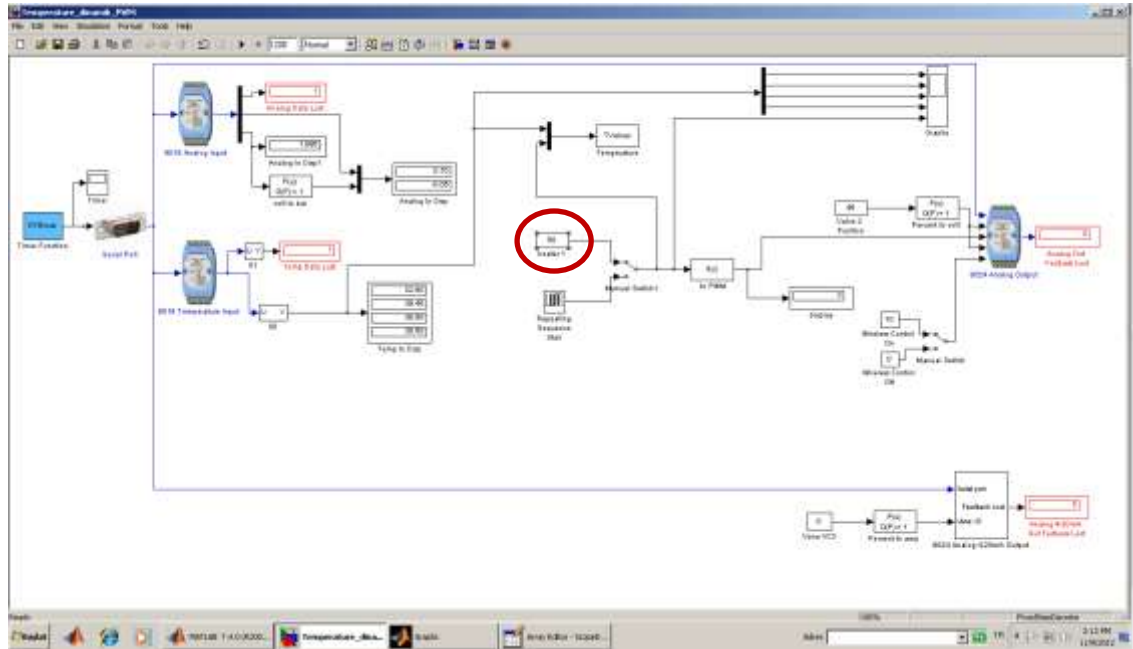


Şekil 4.6 Yatışkın hal sıcaklık deneyinin MATLAB/Simulink blok diyagramı

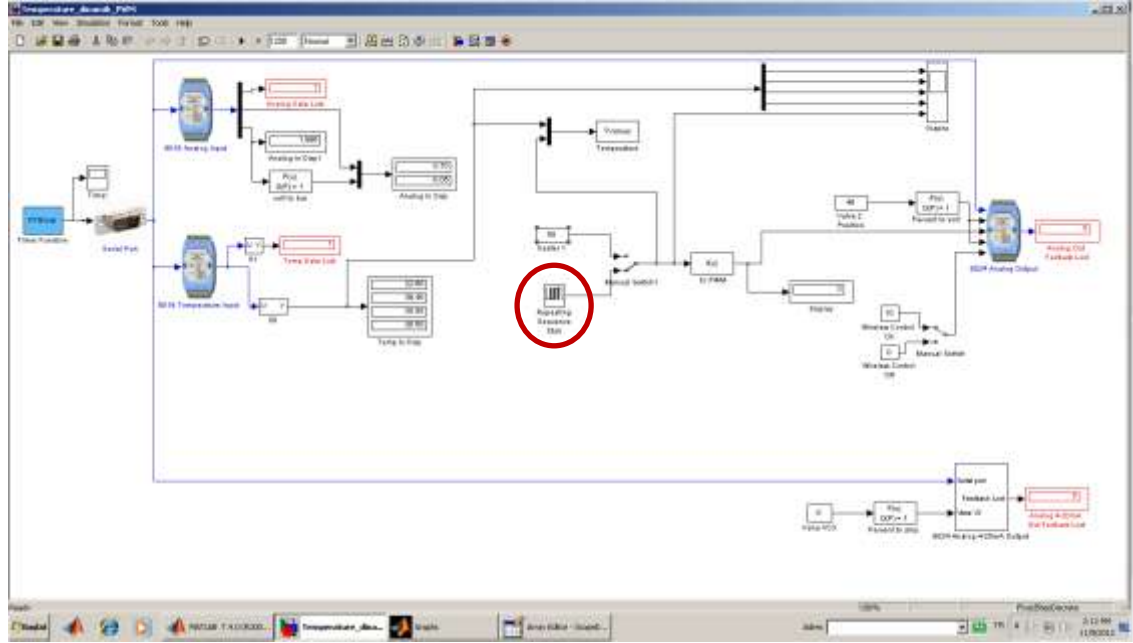
Şekil 4.6'da yatışkın hal deneyleri için kullanılan MATLAB/Simulink blok diyagramı verilmiştir. MATLAB/Simulink blok diyagramında dört adet modül, sistemin kablosuz veya kablolu bir şekilde kontrolünün yapılabilmesi için bir adet wireless on/off düğmesi, proses parametrelerinin sayısal ve grafiksel olarak gösterildiği bloklar, hata sinyallerinin depolandığı ve bir önceki sinyalle devam et komutunun yazılı olduğu bloklar, vanaların açıklıklarına sayısal değerlerin verebildiği kutucuklar bulunmaktadır.

4.3.3 Dinamik hal deneyleri

Dinamik hal deneyleri basamak etki, PRBS etki ve kare dalga etki verilmek üzere üç şekilde yapılmıştır. Basamak etkinin uygulandığı dinamik hal deneyinde öncelikle sabit bir ısıtıcı açıklığında sıcaklığın yatışkın hale gelmesi sağlanmış daha sonra ısıtıcı açıklığına farklı değerler verilerek sistemin yeniden yatışkın hale gelmesi gözlenmiştir. Basamak etki deneylerinde ısıtıcı açıklığına verilen değerler MATLAB/Simulink blok diyagramındaki ilgili bloğa doğrudan yazılarak deney yapılmıştır (Şekil 4.7). PRBS etkide ise sistem model parametrelerini hesaplayabilmek için sisteme gelişigüzel ikili sinyaller verilmiştir. Bu deneylerin yapılabilmesi için sisteme PRBS değerlerinin yazıldığı bir blok eklenmiştir. Sistemin öncelikle yatışkın hale gelmesi sağlanmış daha sonra anahtar yardımıyla PRBS bloğu devreye alınmış ve deneye devam edilmiştir (Şekil 4.8). Kare dalga etkide ise ısıtıcı açıklığı sürekli olarak sabit iki değerde çalıştırılarak sıcaklık değişimi gözlenmiştir. Dinamik hal deneylerinden önce CV1 akış hızı kontrol vanası 2.5 l/dk olacak şekilde ayarlanır. CV2 sıvı seviye kontrol vanası %45 vana açıklığı değerinde ayarlanarak V2'deki sıvı seviyesinin sabitlenmesi sağlanır.



Şekil 4.7 Basamak etki uygulanan dinamik hal deneyinin MATLAB/Simulink gösterimi

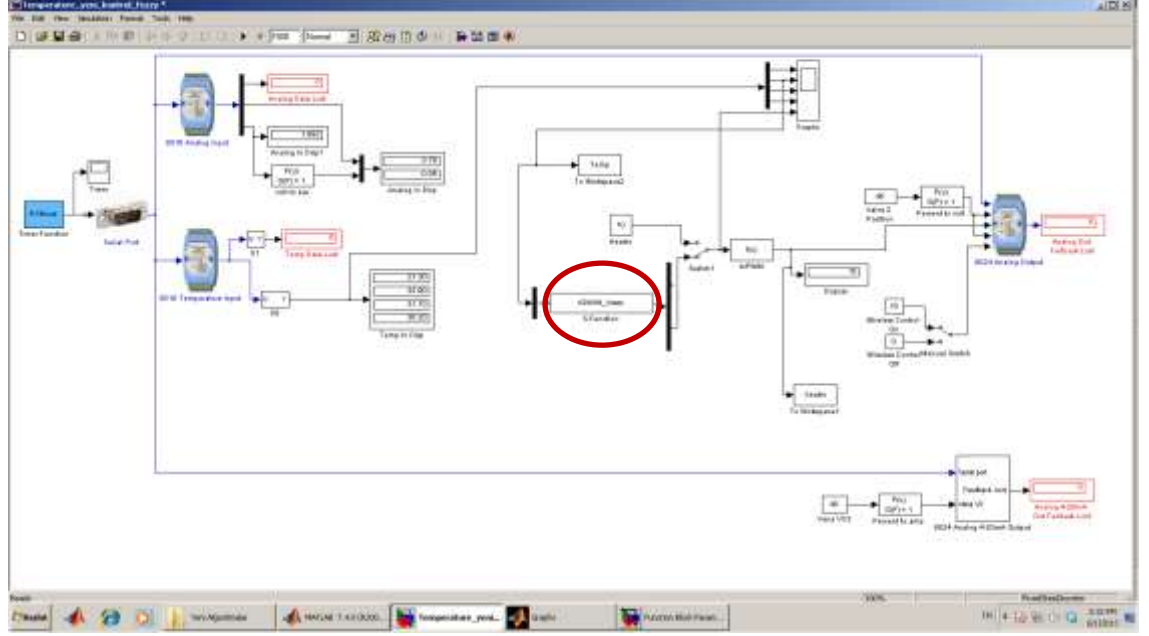


Şekil 4.8 PRBS etki uygulanan dinamik hal deneyinin MATLAB/Simulink gösterimi

4.3.4 Kontrol deneyleri

PID, GPC ve Fuzzy kontrol deneylerinin gerçekleştirilebilmesi amacıyla MATLAB/Simulink deney programına bu kontrol yöntemlerinin parametrelerini ve komutlarını içeren algoritmaların kaydedilebileceği S-Function bloğu eklenmiştir. Bu bloğa kaydedilen algoritma tarafından deney sırasında giriş ve çıkış değişkenlerinin değerleri her örnek alma zamanında değerlendirilir. Bir sonraki adımda giriş değişkenine gönderilen komutlar sayesinde çıkış değişkeninin kontrolü sağlanmaktadır. Kontrol deneylerinden önce yapılan öndeneme ve dinamik deneyler sonunda belirlenen katsayılar MATLAB ortamında m-file dosyası olarak hazırlanmış kontrol algoritmalarına kaydedilerek kontrol deneylerinde kullanılmıştır. Farklı set noktalarında gerçekleştirilen kontrol deneylerinde elde edilen sonuçlar neticesinde sıcaklık profilleri, hesaplanan ISE ve IAE değerleri incelenerek, deneylerde kullanılan kontrol yöntemlerinin performansı ve kontrol katsayılarının etkinliği değerlendirilmiştir. Kontrol deneylerinde kullanılan PID, GPC ve Fuzzy kontrol algoritmalarının performansı ve kullanılan kontrol katsayılarının etkinliklerinin değerlendirilmesi için tüm deneyler aynı koşullarda gerçekleştirilmiştir. Bunun için kontrol deneylerinden önce CV1 akış hızı kontrol vanası 2.5 l/dk olacak şekilde

ayarlanır. CV2 sıvı seviye kontrol vanası %45 vana açıklığı değerinde ayarlanarak V2'deki sıvı seviyesinin sabitlenmesi sağlanır.



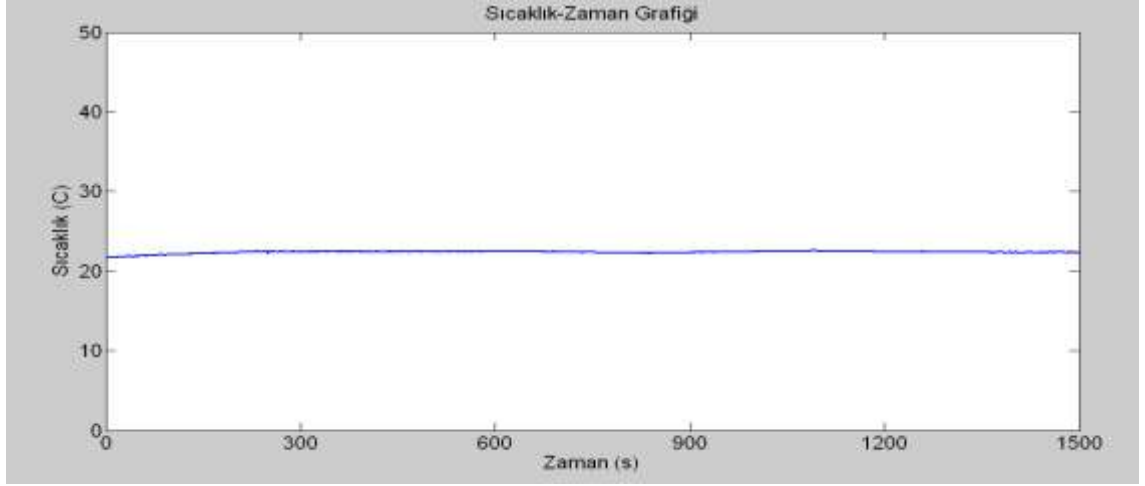
Şekil 4.9 Kablosuz sıcaklık kontrol deneyinin MATLAB/Simulink blok diyagramı

5. DENEY VERİLERİ VE SONUÇLAR

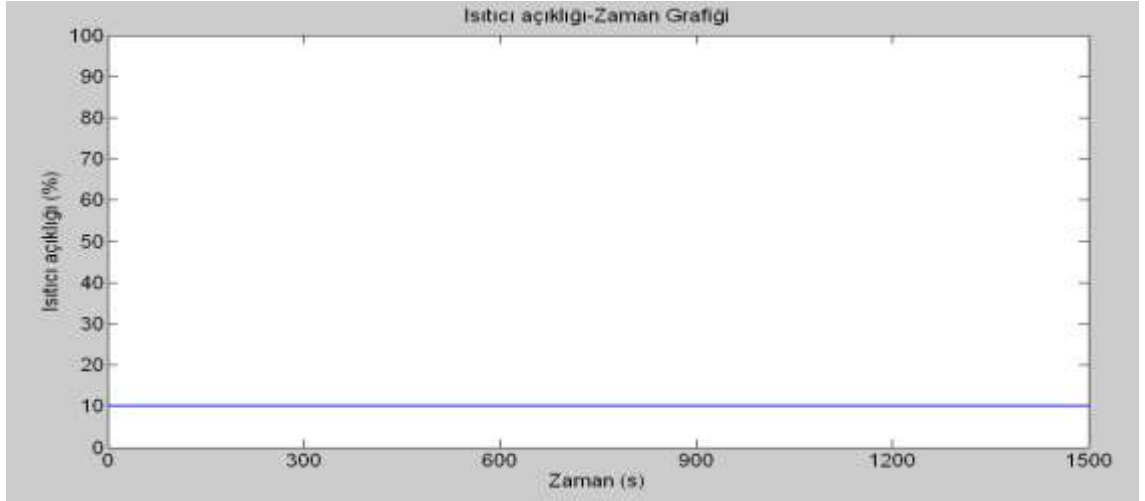
Proses kontrol simülatöründe sıcaklık parametresi için yatışkın hal, dinamik hal, PID kontrol, GPC kontrol ve Fuzzy kontrol deneyleri yapılmıştır. Sistemde sıcaklık için yatışkın hal deneylerinde sabit ısıtıcı açıklığı değerinde çalışılarak deney süresince sıcaklık değişimi gözlenmiştir. Dinamik hal deneylerinde sıcaklığın yatışkın hale ulaşmasından sonra ısıtıcı açıklığına etki verilerek sıcaklık değişimi gözlenmiştir. PID kontrol, GPC kontrol ve Fuzzy kontrol deneylerinde MATLAB/Simulink blok diyagramında bulunan S-function bloğuna m-file olarak hazırlanmış kontrol algoritması kaydedilmiş ve bu algorithmadaki kontrol parametrelerinin değerleri değiştirilerek ısıtıcı açıklığına bağlı sıcaklık değişimleri gözlenmiştir. Deney sonunda elde edilen sıcaklık profilleri karşılaştırılarak kullanılan kontrol algoritmalarının performansı ve kullanılan kontrol katsayılarının etkinlikleri belirlenmiştir. Sistemde yapılan kablosuz sıcaklık deneylerinde elde edilen sonuçların MATLAB grafikleri aşağıda verilmiştir.

5.1 Yatışkın Hal Deney Sonuçları

Yatışkın hal deneylerinde, ayarlanabilen değişkenin sabit değerde çalıştırılmasıyla çıkış değişkeninin zamanla sabitlenmesi gözlenerek sistemin kontrol edilebilirliği belirlenmektedir. Bunun için proses kontrol simülatöründe yatışkın hal deneyi sabit %10 ısıtıcı açıklığı değerinde gerçekleştirilmiştir (Şekil 5.2). Sistemin başlangıçtaki sıcaklığı 21,7 °C değerinde iken deney süresince ısıtıcı açıklığı sabit %10 değerinde çalıştırıldığında sistem sıcaklığında küçük bir artıştan sonra sıcaklık 22,4 °C’de sabitlenmiş böylece yatışkın hal elde edilmiştir (Şekil 5.1).



Şekil 5.1 Yatışkın hal deneyinde sıcaklığın zamanla değişim grafiği



Şekil 5.2 Yatışkın hal deneyinde ısıtıcı açıklığının zamanla değişim grafiği

5.2 Dinamik Hal Deney Sonuçları

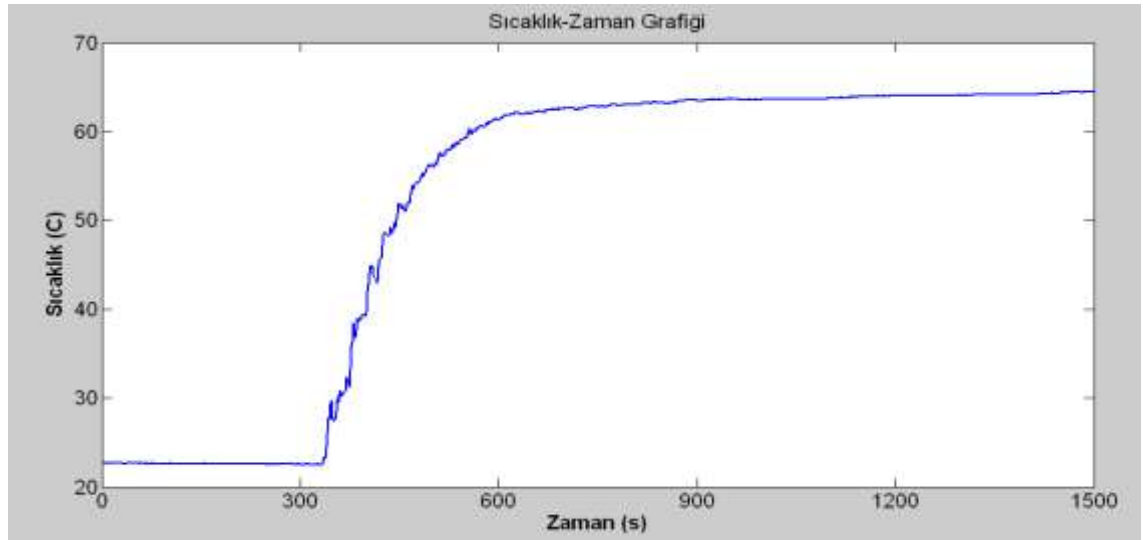
Dinamik hal deneylerinde, ayarlanabilen değişkene basamak, kare dalga ve P.R.B.S vb. etkiler verilerek çıkış değişkeninin zamanla değişimi gözlenerek elde edilen veriler yardımıyla sistem özellikleri belirlenir. Bunun için proses kontrol simülatöründe ayarlanabilen değişken olan ısıtıcı açıklığına basamak etki, PRBS etki ve kare dalga etki verilerek çıkış değişkeni olan sıcaklığın zamanla değişimleri gözlenmiştir.

5.2.1 Basamak etki uygulanan dinamik hal sonuçları

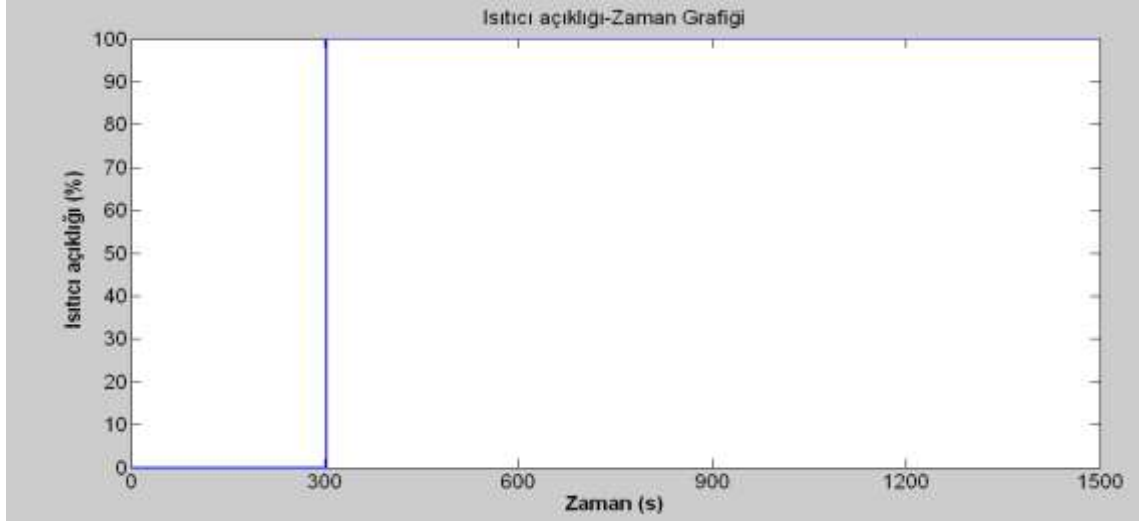
Proses kontrol simülöründe sıcaklık kontrolünün gerçekleştirilebileceği en düşük ve en yüksek sıcaklıkların belirlenmesi için ısıtıcının tam açık ve tam kapalı değerleri arasında çalıştırılarak yatışkın koşul sıcaklıkları elde edilmiştir. Sistem başlangıçta %0 ısıtıcı açıklığında çalıştırılarak sıcaklık yatışkın hale ulaştıktan sonra ısıtıcı açıklığının %100 olması sağlanmıştır (Şekil 5.4). %0 ısıtıcı açıklığında 22.7 °C’de sabitlenen sistem sıcaklığı artarak 65.1 °C’de sabitlendiği gözlenmiştir (Şekil 5.3).

Çizelge 5.1 Basamak etki uygulanan dinamik hal deney koşulları (% 0 - %100)

Parametre	Değeri	Parametre	Değeri
Isıtıcı açıklığı (ilk değer)	%0	Isıtıcı çıkış sıcaklığı (İlk değer)	22.7 °C
Isıtıcı açıklığı (son değer)	%100	Isıtıcı çıkış sıcaklığı (son değer)	65.1 °C
Deney süresi	1500s	Veri alma sıklığı	1 s



Şekil 5.3 Basamak etki uygulanan dinamik hal deneyinde sıcaklığın zamanla değişim grafiği (%0 - 100 ısıtıcı açıklığı)

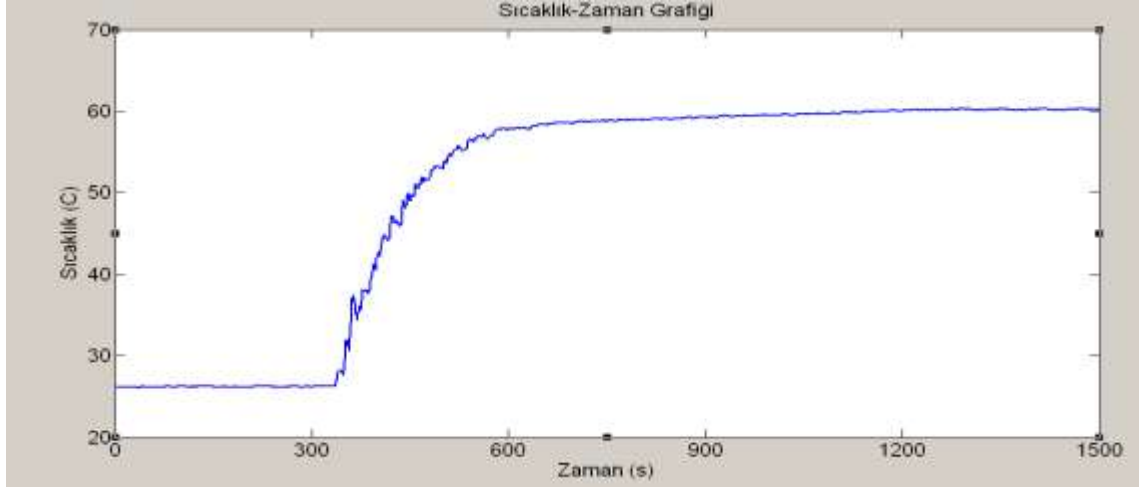


Şekil 5.4 Basamak etki uygulanan dinamik hal deneyinde ısıtıcı açıklığının zamanla değişim grafiği (%0 - 100 ısıtıcı açıklığı)

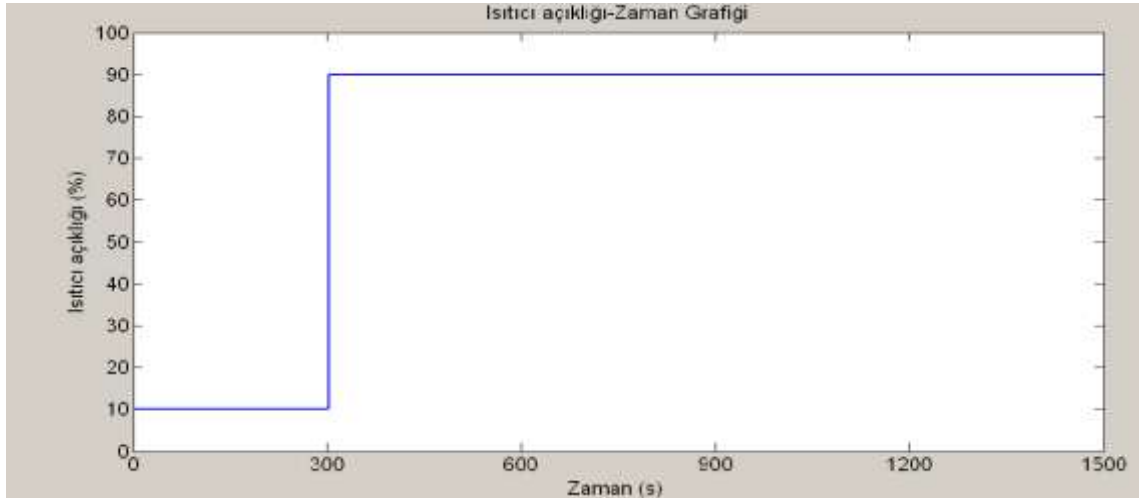
Proses kontrol simülöründe PID kontrol parametrelerinin belirlenmesi için gerekli reaksiyon eğrisinin oluşturulması amacıyla basamak etki uygulanan farklı bir dinamik hal deneyi gerçekleştirilmiştir. Bunun için sistem başlangıçta %10 ısıtıcı açıklığında çalıştırılmış ve sıcaklığın yatışkın hale gelmesi beklenmiştir. Isıtıcı açıklığına 80 birimlik pozitif etki verilmiş ve ısıtıcı açıklığının %90 olması sağlanmıştır (Şekil 5.6). %10 ısıtıcı açıklığında 26.2 °C’de sabitlenen sistem sıcaklığı artarak 58.6 °C’de sabitlendiği gözlenmiştir (Şekil 5.5).

Çizelge 5.2 Basamak etki uygulanan dinamik hal deney koşulları (% 10 - %90)

Parametre	Değeri	Parametre	Değeri
Isıtıcı açıklığı (ilk değer)	%10	Isıtıcı çıkış sıcaklığı (İlk değer)	26.2 °C
Isıtıcı açıklığı (son değer)	%90	Isıtıcı çıkış sıcaklığı (son değer)	58.6 °C
Deney süresi	1500s	Veri alma sıklığı	1 s



Şekil 5.5 Basamak etki uygulanan dinamik hal deneyinde sıcaklığın zamanla değişim grafiği (%10 - 90 ısıtıcı açıklığı)



Şekil 5.6 Basamak etki uygulanan dinamik hal deneyinde ısıtıcı açıklığının zamanla değişim grafiği (%10 - 90 ısıtıcı açıklığı)

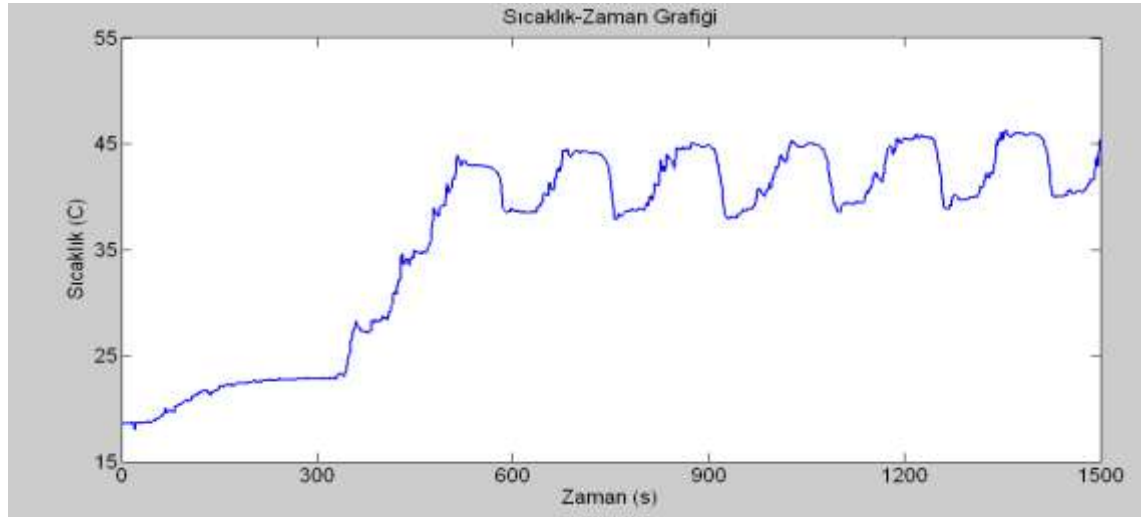
5.2.2 PRBS etki uygulanan dinamik hal sonuçları

PRBS etkinin uygulandığı dinamik hal deneyleri yapılırken sistem sıcaklığının ısıtıcı açıklığına bağlı davranışının gözlenmesi amacıyla PRBS sinyalleri %10 ile %90 ısıtıcı açıklığına göre verilmiştir (Şekil 5.8). Sistem başlangıçta %10 ısıtıcı açıklığında 300s çalıştırılarak sıcaklığın yatışkın hale ulaştıktan sonra MATLAB/Simulink programındaki anahtar PRBS bloğuna bağlanmış ve uygulanan ikili etkiye göre sıcaklık

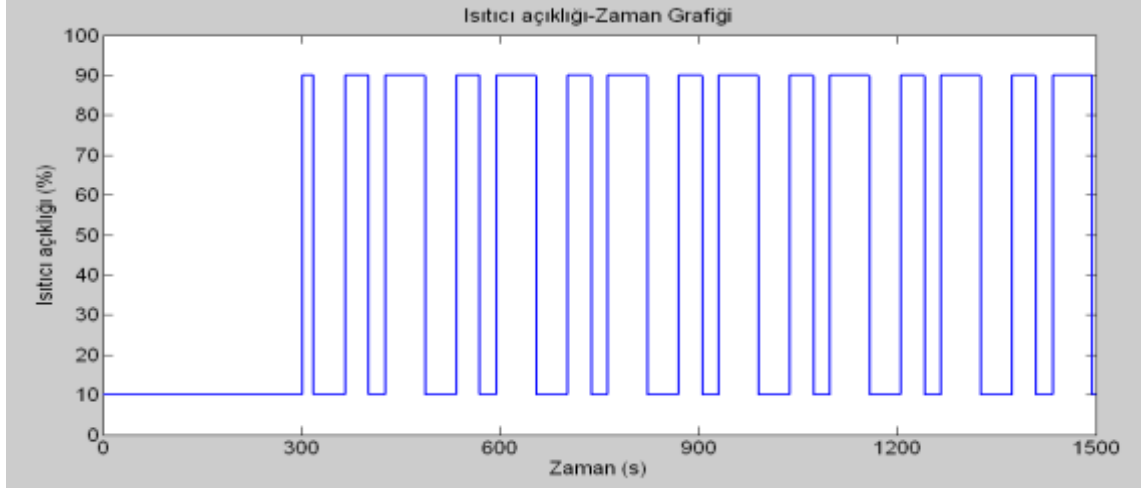
değişimleri gözlenmiştir. PRBS etki deney sonucuna göre ısıtıcı çıkış sıcaklığının 40 °C ile 45 °C arasında salınımlar yaptığı gözlenmiştir (Şekil 5.7).

Çizelge 5.3 PRBS etki uygulanan dinamik hal deney koşulları

Parametre	Değeri
ısıtıcı açıklığı (alt değer)	%10
ısıtıcı açıklığı (üst değer)	%90
Deney süresi	1500s
Veri alma sıklığı	1s



Şekil 5.7 PRBS etki uygulanan dinamik hal deneyinde sıcaklığın zamanla değişim grafiği



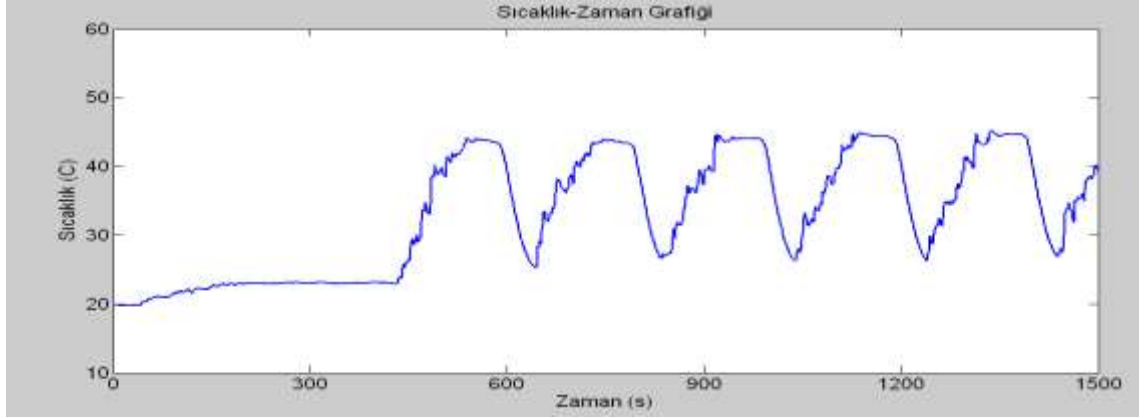
Şekil 5.8 PRBS etki uygulanan dinamik hal deneyinde ısıtıcı açıklığının zamanla değişim grafiği

5.2.3 Kare dalga etki uygulanan dinamik hal sonuçları

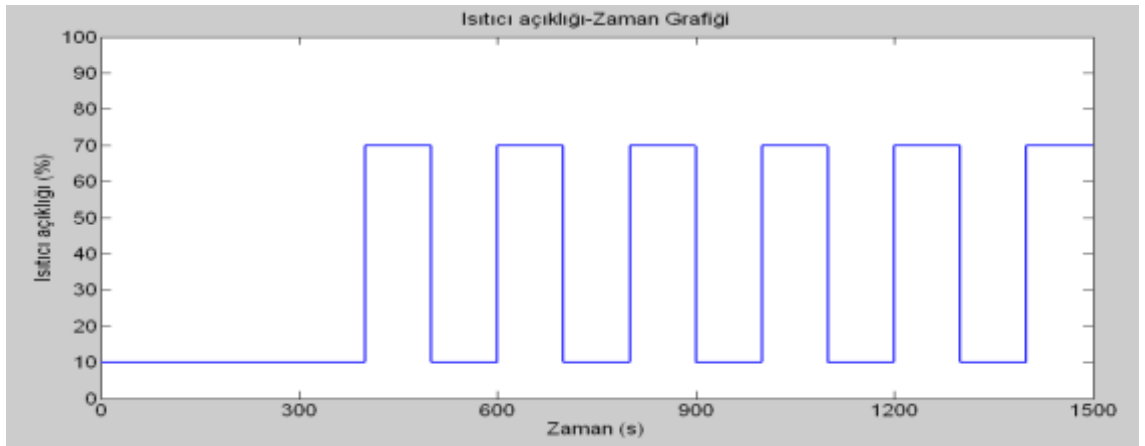
MATLAB/Simulink dinamik hal deneyi için oluşturulan blok diyagramında ısıtıcı açıklığının %10 ile %70 değerlerinde çalışması için ayarlanmıştır (Şekil 5.10). Böylece sistemin düzenli olarak 60 birimlik 100s pozitif etki ve 100s negatif etki altında çalışması sağlanarak çıkış değişkeninin değişimi takip edilmiştir. Sistem başlangıçta %10 ısıtıcı açıklığında 300s çalıştırılarak sıcaklık yatışkın hale ulaştıktan sonra uygulanan kare dalga etkiye bağlı olarak sıcaklığın 25°C ile 45°C arasında salınımlar yaptığı gözlenmiştir (Şekil 5.9).

Çizelge 5.4 Kare dalga etki uygulanan dinamik hal deney koşulları

Parametre	Değeri
ısıtıcı açıklığı (alt değer)	%10
ısıtıcı açıklığı (üst değer)	%70
Deney süresi	1500s
Veri alma sıklığı	1s



Şekil 5.9 Kare dalga etki uygulanan dinamik hal deneyinde sıcaklığın zamanla değişim grafiği



Şekil 5.10 Kare dalga etki uygulanan dinamik hal deneyinde ısıtıcı açıklığı zamanla değişim grafiği

5.3 Sistem Tanımlama Sonuçları

Sistem tanımlama, proses kontrolün başarısını etkileyen çok önemli bir aşamadır. Çünkü kontrol edilecek olan prosesin giriş ve çıkış değişkenleri arasındaki ilişkiyi ifade eden matematiksel model kontrol algoritmasında yer alır. Prosesin davranışını temsil eden bu matematiksel modele bağlı olarak kontrol çalışmalarının başarısı da artar. Sistem tanımlama için bazı önemli kriterler vardır. Bunlar, giriş ve çıkış değişkenlerinin belirlenmesi, toplam veri sayısı, örnekleme aralığı, model mertebesi ve yapısının seçimidir. PID kontrol ve Fuzzy kontrol için yapılacak deneylerde sistemin birinci mertebeden ölü zamanlı model ile temsil edildiği varsayılmıştır. Yapılan çalışmada,

ısıtıcı % açıklığına farklı etkiler verilerek ısıtıcı çıkış sıcaklığının değişimi izlenmiştir. Elde edilen giriş ve çıkış değişkenlerinin değerleri kullanılarak birinci mertebeden ölü zamanlı model katsayıları belirlenmiş ve kablosuz kontrolde kullanılan GPC kontrol algoritması için ARMAX modeli geliştirilmiştir. Bunun için başlangıçta ısıtıcı sabit %10 ısıtıcı açıklığında 300s çalıştırılarak sistem sıcaklığının yatışkın hale gelmesi gözlenmiştir. Yatışkın hal sağlandıktan sonra MATLAB/Simulink blok diyagramından on-line olarak sisteme basamak etki, PRBS etki ve kare dalga etki verilerek ısıtıcı çıkış sıcaklığının zamanla değişimi izlenmiştir. Sistem tanımlama için ısıtıcıya verilen etkiler Bölüm 5.2’de belirtilen basamak etki için çizelge 5.2, PRBS etki için çizelge 5.3 ve kare dalga etki için çizelge 5.4’teki çalışma koşullarında gerçekleştirilmiştir. Sistem için belirlenen birinci mertebeden ölü zamanlı model katsayıları ve ARMAX model katsayıları MATLAB ‘Sistem Tanımlama’ araç kutusu (System Identification Toolbox) yardımıyla belirlenmiştir.

Çizelge 5.5 Isıtıcıya verilen farklı dinamik etkiler ile belirlenen birinci mertebeden ölü zamanlı model katsayıları

	Basamak Etki	PRBS Etki	Kare Dalga Etki
τ_{AD}, s	35.11	44.24	39.62
τ_a, s	359.88	371.73	367.54
U_s	0.411	0.392	0.384

Çizelge 5.6 Isıtıcıya verilen farklı dinamik etkiler ile belirlenen birinci mertebeden ölü zamanlı modeller

	Basamak Etki	PRBS Etki	Kare Dalga Etki
Model	$\frac{0.411 \cdot \exp(-0.585s)}{1 + 5.998s}$	$\frac{0.392 \cdot \exp(-0.737s)}{1 + 6.196s}$	$\frac{0.384 \cdot \exp(-0.660s)}{1 + 6.126s}$

Isıtıcıya verilen farklı dinamik etkiler sonucu belirlenen katsayılar kullanılarak elde edilen ARMAX model eşitlikleri aşağıda verilmiştir.

Basamak etki;

$$y(t) - 1.355y(t-1) + 0.4527y(t-2) = 0.0766u(t) - 0.0334u(t-1) + 0.0074u(t-2) + e(t) - 0.2618e(t-1) - 0.0742e(t-2)$$

P.R.B.S etki;

$$y(t) - 1.426y(t-1) + 0.6104y(t-2) = 0.0449u(t) - 0.0259u(t-1) + 0.0063u(t-2) + e(t) - 0.495e(t-1) - 0.248e(t-2)$$

Kare dalga etki;

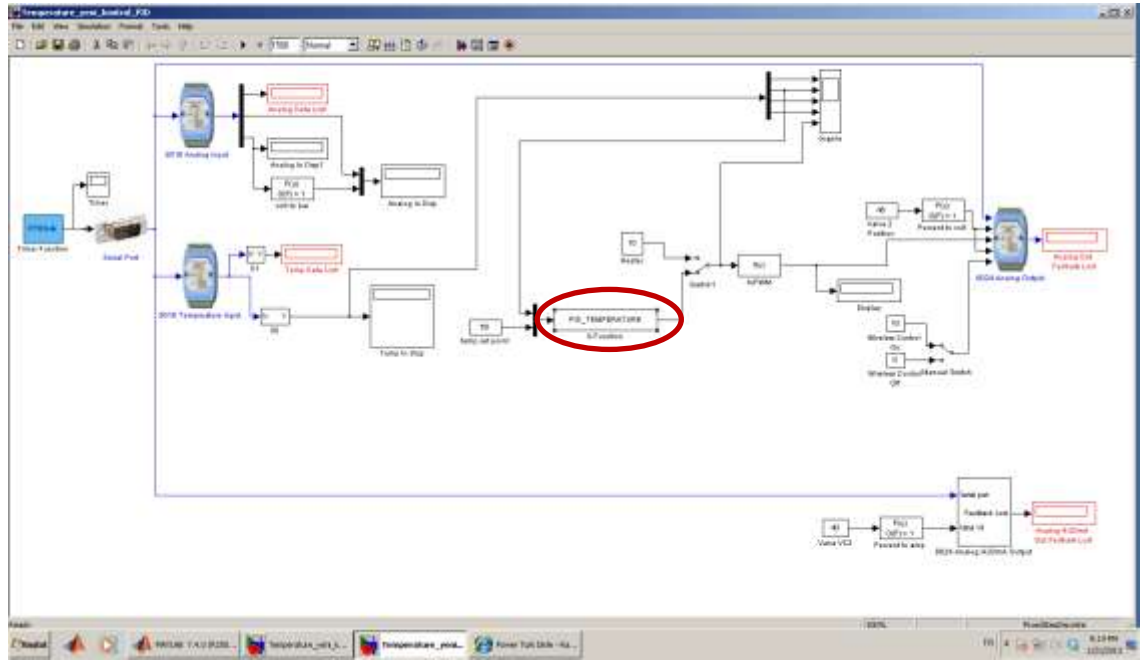
$$y(t) - 1.432y(t-1) + 0.6546y(t-2) = 0.0812u(t) - 0.0419u(t-1) + 0.0097u(t-2) + e(t) - 0.6353e(t-1) - 0.3028e(t-2)$$

5.4 Sıcaklık Kontrol Deney Sonuçları

Kablosuz sıcaklık kontrol deneyleri PID, GPC ve Fuzzy kontrol yöntemleri kullanılarak yapılmıştır. MATLAB ortamında m-file olarak hazırlanan PID kontrol, GPC kontrol ve Fuzzy kontrol algoritmalarına kontrol için gerekli olan parametrelerin değerleri belirlendikten sonra bu parametreler algoritmalara kaydedilmiş ve kontrol deneyleri gerçekleştirilmiştir. Sıcaklık kontrol deneylerinde başlangıçta ısıtıcı sabit %10 ısıtıcı açıklığında 300s çalıştırılarak sistem sıcaklığının yatışkın hale gelmesi gözlenmiştir. 300s sonunda MATLAB/Simulink blok diyagramında bulunan kontrol anahtarı değiştirilerek daha önce kaydedilen kontrol algoritmaları devreye alınmış ve bu algoritmaların kontrol üzerindeki etkisi gözlenmiştir. Kablosuz sıcaklık kontrol deneylerinde kullanılan yöntemlerin etkinliğini karşılaştırmak için tüm deneyler aynı koşullarda gerçekleştirilmiştir. Kablosuz kontrol deneylerinde elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak kontrol yöntemlerinin etkinliği belirlenmiştir.

5.5 PID Kontrol Sonuçları

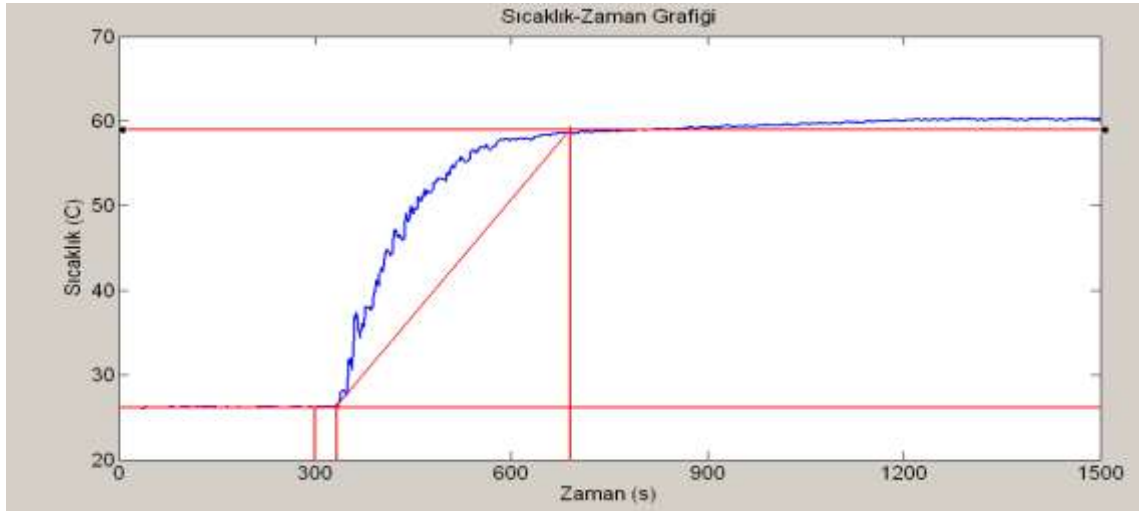
PID kontrol algoritmasının uygulandığı kablosuz sıcaklık kontrol deneylerinde algoritmadaki K_c , τ_I ve τ_D kontrol katsayılarının Cohen-Coon ve Ziegler-Nichols yöntemleri ile bulunan değerleri kullanılarak aynı koşullarda deneyler yapılmıştır. Sıcaklık kontrol deneylerinde başlangıçta ısıtıcı sabit %10 ısıtıcı açıklığı değerinde 300s çalıştırılarak sistemin yatışkın hale gelmesi beklenmiştir. 300s sonunda MATLAB/Simulink blok diyagramında bulunan kontrol anahtarı değiştirilerek daha önce kaydedilen kontrol algoritması devreye alınmış ve bu algoritmadaki parametrelerin kontrol üzerindeki etkisi gözlenmiştir. MATLAB ortamında m-file olarak hazırlanan PID kontrol algoritması EK 1’de verilmiştir. Kablosuz sıcaklık kontrol deneyinde PID kontrol algoritmasının kullanıldığı MATLAB/Simulink blok diyagramı şekil 5.11’de verilmiştir. PID kontrol deneylerinde kullanılan algoritmanın performansı ve kullanılan kontrol katsayılarının etkinliklerinin değerlendirilmesi için tüm deneyler aynı koşullarda gerçekleştirilmiştir. Bunun için kontrol deneylerinden önce CV1 akış hızı kontrol vanası 2.5 l/dk olacak şekilde ayarlanır. CV2 sıvı seviye kontrol vanası %45 vana açıklığı değerinde ayarlanarak V2’deki sıvı seviyesinin sabitlenmesi sağlanmıştır.



Şekil 5.11 PID sıcaklık kontrol deneyinin MATLAB/Simulink blok diyagramı

5.5.1 Cohen-Coon yöntemi ile katsayıları belirlenen PID kontrol sonuçları

Cohen-Coon yöntemini kullanarak PID kontrol katsayılarını belirlemek için deney koşulları çizelge 5.2'deki ısıtıcı açıklığına verilen basamak etki değerleri kullanılmıştır. Basamak etki verilen sistemin ısıtıcı açıklığının zamanla değişim grafiği şekil 5.5'te ve basamak etki sonucu sıcaklığın zamanla değişim grafiği şekil 5.6'da gösterilmiştir. Basamak etki sonucunda sıcaklığın zamanla değişim grafiği kullanılarak reaksiyon eğrisi hazırlanmış ve reaksiyon eğrisi kullanılarak ölü zaman ve zaman sabiti parametreleri belirlenmiştir. Şekil 5.12'de gösterilen reaksiyon eğrisinden belirlenen ölü zaman, zaman sabiti ve kazanç değerleri çizelge 5.7'de verilmiştir.



Şekil 5.12 Basamak etki sonucu sıcaklık değişimi ile oluşturulan reaksiyon eğrisi

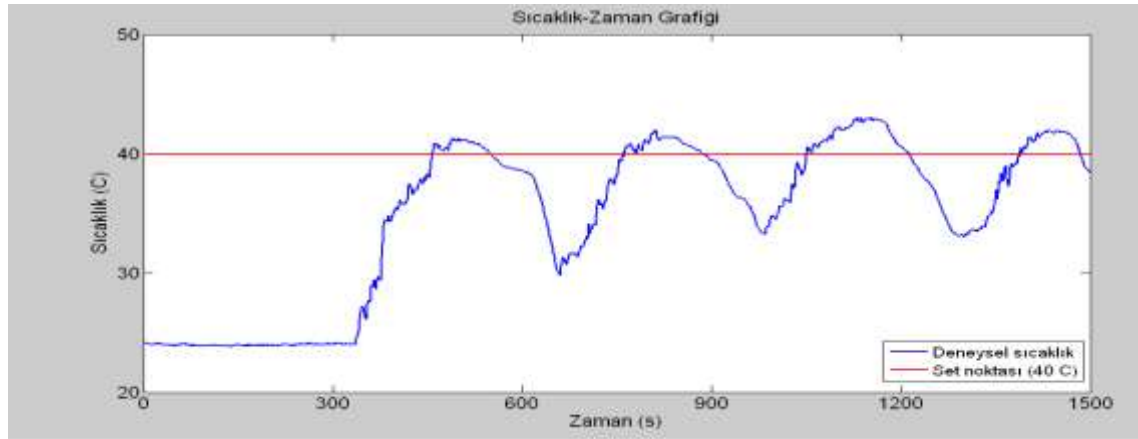
Çizelge 5.7 Reaksiyon eğrisinden belirlenen katsayılar

Parametre	Değeri
τ_{AD}	33s
τ_a	367s
U_s	0,4

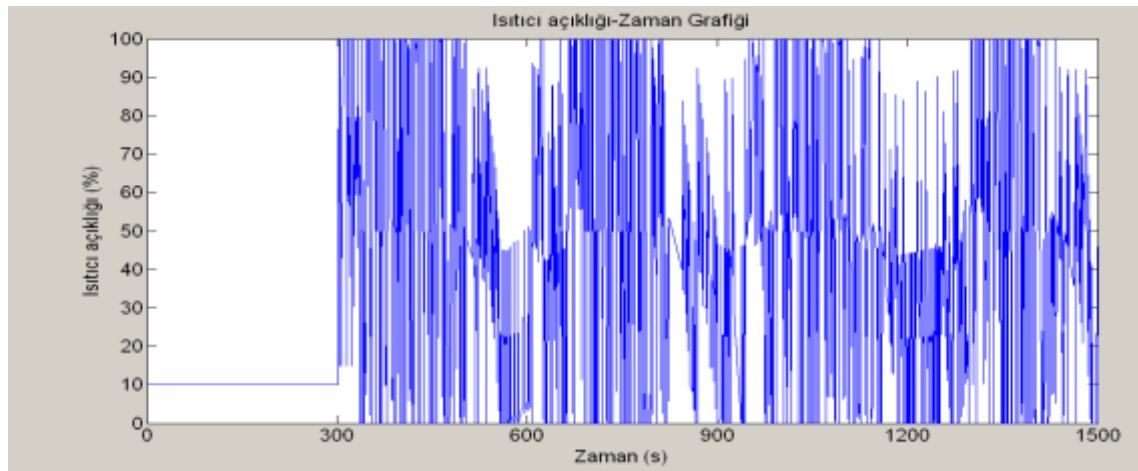
Cohen-Coon yöntemi için çizelge 5.4'teki katsayılar kullanılarak eşitlik 3.27, 3.28 ve 3.29 yardımı ile hesaplanan PID kontrol katsayıları çizelge 5.8'de verilmiştir. Cohen-Coon yöntemi ile bulunan PID katsayılarının kullanıldığı farklı set noktaları seçilerek PID kontrol deneyleri yapılmıştır. Bu kontrol deneylerinde ısıtıcı açıklığı ve sıcaklık profillerinin zamanla değişimi gözlenmiş ve elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

Çizelge 5.8 Cohen-Coon yöntemi ile belirlenenPID kontrol katsayıları

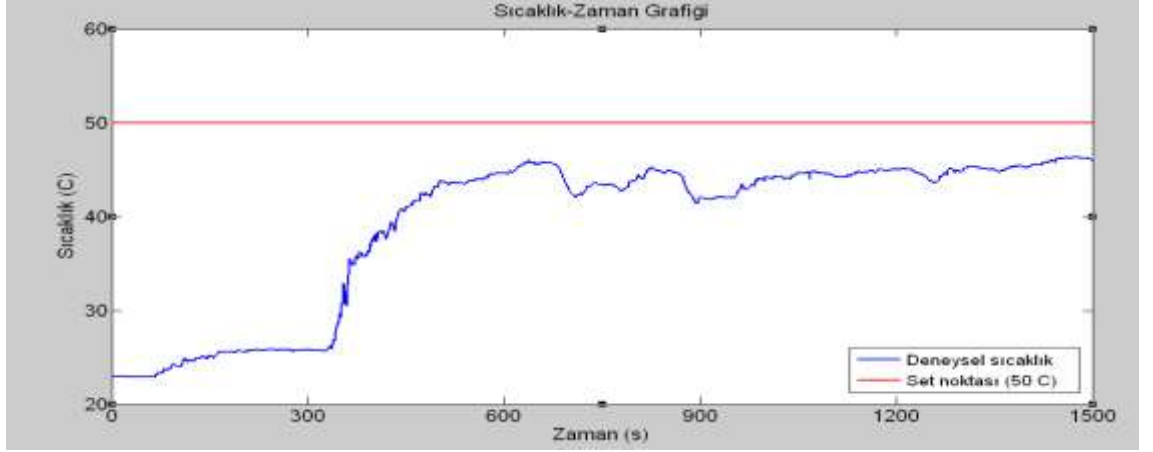
Yöntem	K_c	τ_I	τ_D
Cohen-Coon	37,7	78,3	11,8



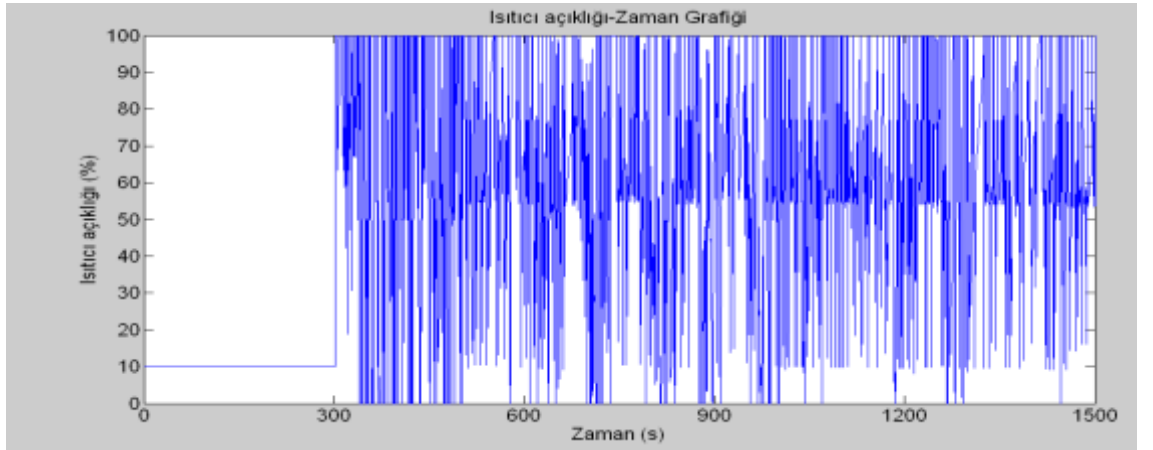
Şekil 5.13 PID kontrol deneyinde sıcaklığın zamanla değişim grafiği ($T_{set}=40\text{ }^{\circ}\text{C}$)



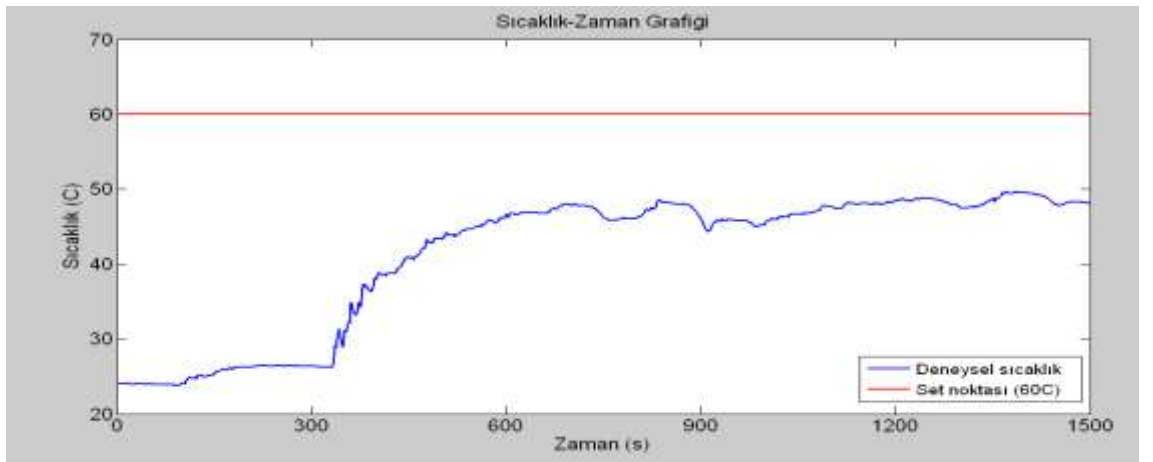
Şekil 5.14 PID kontrol deneyinde ısıtıcı açıklığı zamanla değişim grafiği ($T_{set}=40\text{ }^{\circ}\text{C}$)



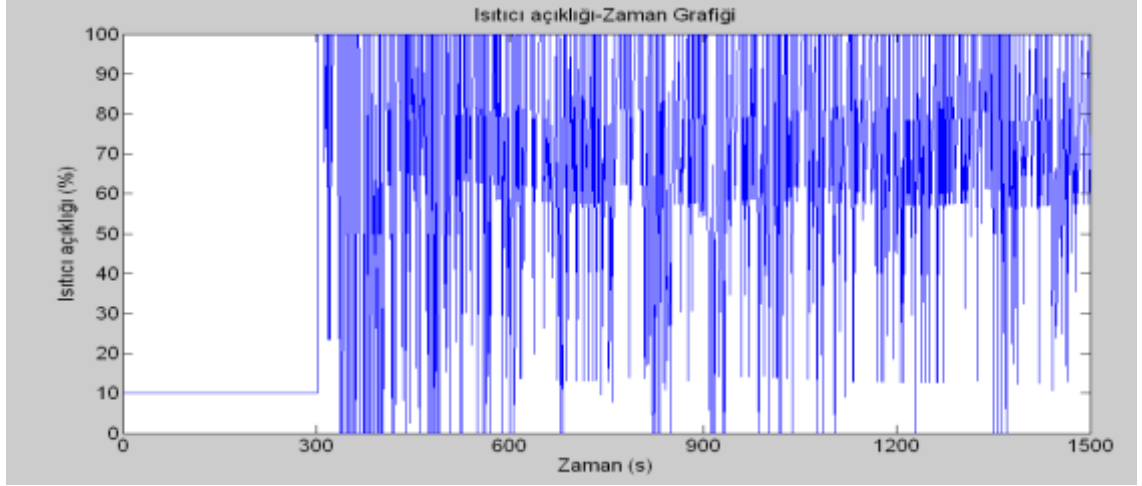
Şekil 5.15 PID kontrol deneyinde sıcaklığın zamanla değişim grafiği ($T_{set}=50\text{ }^{\circ}\text{C}$)



Şekil 5.16 PID kontrol deneyinde ısıtıcı açıklığı zamanla değişim grafiği ($T_{set}=50\text{ }^{\circ}\text{C}$)



Şekil 5.17 PID kontrol deneyinde sıcaklığın zamanla değişim grafiği ($T_{set}=60\text{ }^{\circ}\text{C}$)



Şekil 5.18 PID kontrol deneyinde ısıtıcı açıklığı zamanla değişim grafiği (Tset=60 °C)

Cohen-Coon yöntemi ile bulunan PID katsayılarının kullanıldığı farklı set noktaları için yapılan deney sonuçları incelendiğinde genel olarak ısıtıcının başlangıçtan itibaren açık-kapalı şeklinde ve düzensiz çalıştığı gözlenmiştir. Tset=40°C için ısıtıcı açıklığının düzensiz olarak çalıştığı ve buna bağlı olarak sıcaklık kontrolünde salınımlara neden olduğu gözlenmiştir (Şekil 5.13-5.14). Tset=50°C ve Tset=60°C için ısıtıcı açıklığının açık-kapalı şeklindeki hareketlerinin giderek sıklaştığı (Şekil 5.16, 5.18) ancak Tset=50°C ve Tset=60°C için istenilen sıcaklıklara hiç ulaşamadığı gözlenmiştir (Şekil 5.15, 5.17). Deney sonuçlarına göre Cohen-Coon yöntemi ile bulunan PID katsayılarının kullanıldığı sıcaklık kontrolünün istenilen performansı göstermediği ve bu katsayıların sıcaklık kontrolü için uygun olmadığı belirlenmiştir.

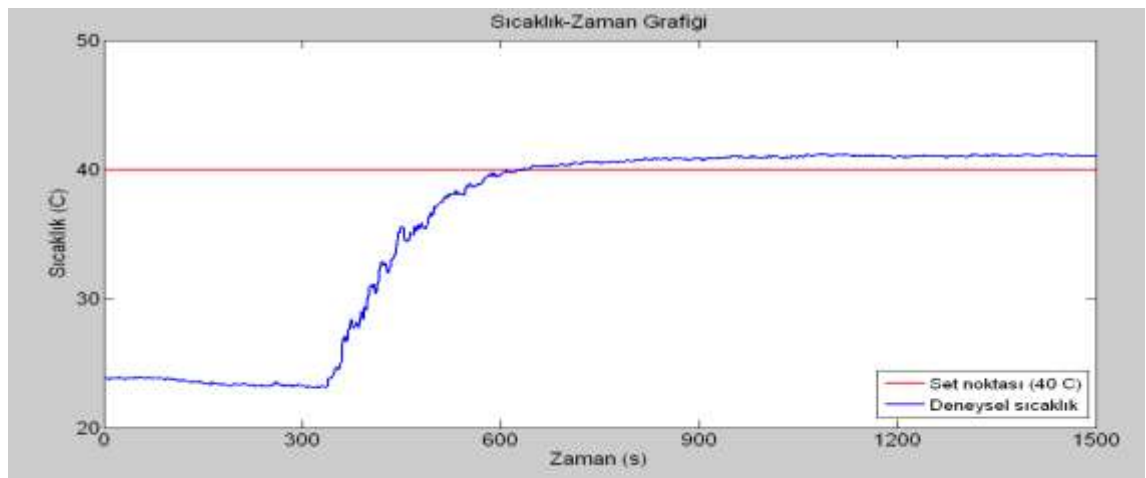
5.5.2 Ziegler-Nichols yöntemi ile katsayıları belirlenen PID kontrol sonuçları

Ziegler-Nichols yöntemini kullanarak PID kontrol parametrelerini belirlemek için ısıtıcı açıklığına verilen basamak etki değerleri ve deney koşulları çizelge 5.2'de verilmiştir. Basamak etki verilen sistemin ısıtıcı açıklığının zamanla değişim grafiği şekil 5.5'de ve basamak etki sonucu sıcaklığın zamanla değişim grafiği şekil 5.6'da gösterilmiştir. Basamak etki sonucunda sıcaklığın zamanla değişim grafiği kullanılarak reaksiyon eğrisi hazırlanmış ve reaksiyon eğrisi kullanılarak ölü zaman ve zaman sabiti parametreleri belirlenmiştir. Şekil 5.12'de gösterilen reaksiyon eğrisinden belirlenen ölü

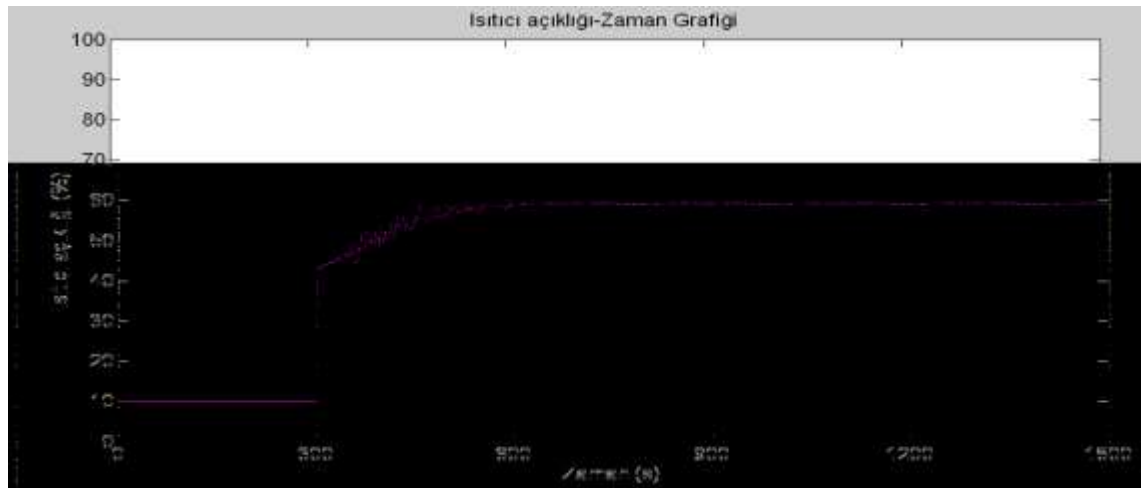
zaman ve zaman sabiti parametrelerinin değerleri kullanılarak eşitlik 3.30, 3.31 ve 3.32 yardımı ile hesaplanan PID kontrol katsayıları izelge 5.9’da verilmiştir.

Çizelge 5.9 Ziegler-Nichols yöntemi ile belirlenen PID kontrol katsayıları

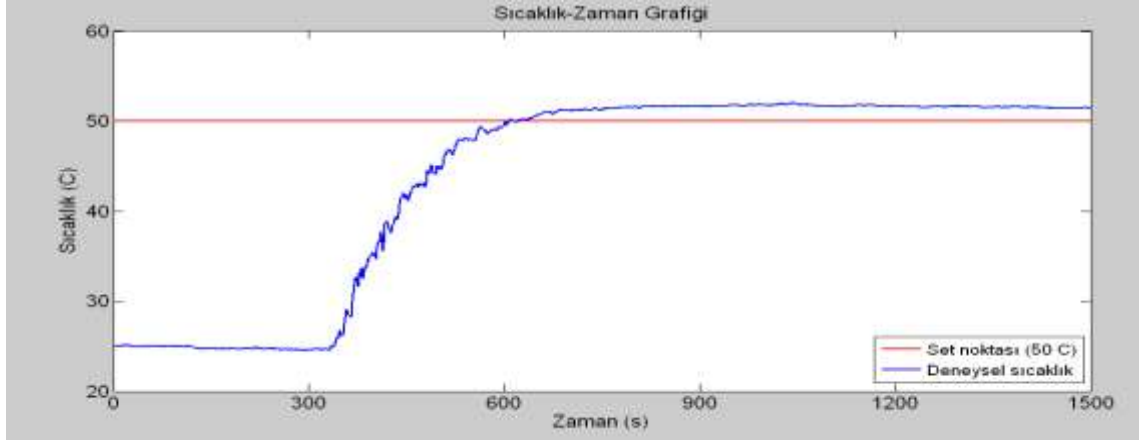
Yöntem	K_c	τ_I	τ_D
Ziegler-Nichols	0,412	66,0	16,5



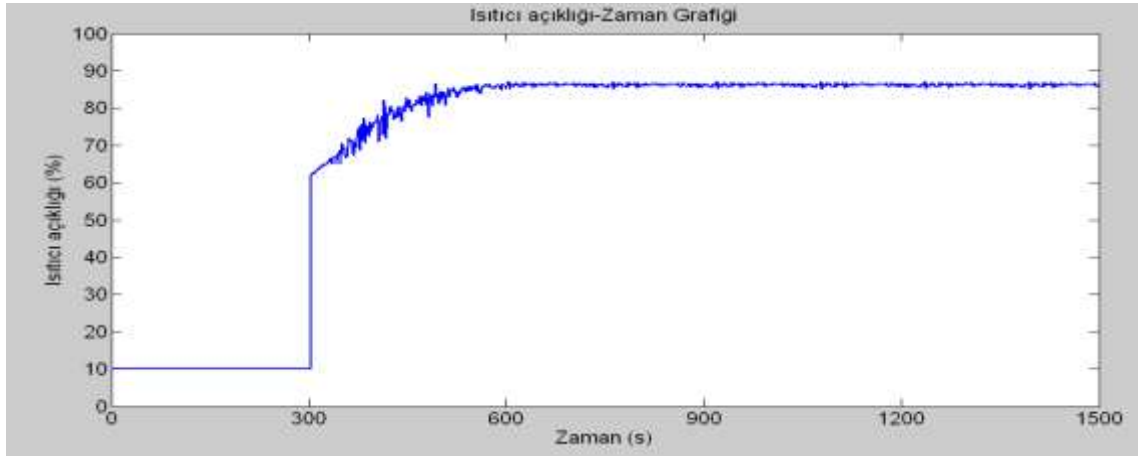
şekil 5.19 PID kontrol deneyinde sıcaklığın zamanla değişim grafiği ($T_{set}=40\text{ }^{\circ}\text{C}$)



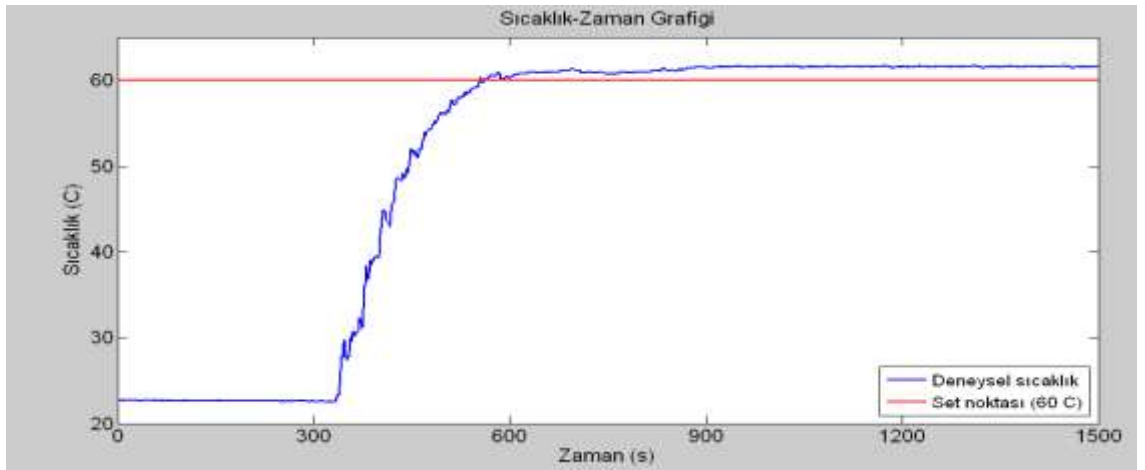
şekil 5.20 PID kontrol deneyinde ısıtıcı aıklığı zamanla değişim grafiği ($T_{set}=40\text{ }^{\circ}\text{C}$)



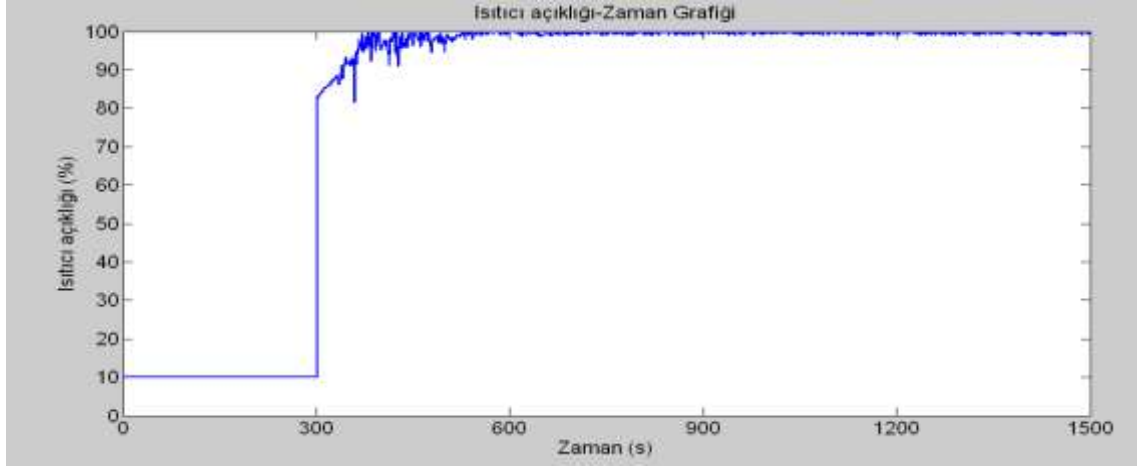
Şekil 5.21 PID kontrol deneyinde sıcaklığın zamanla değişim grafiği ($T_{set}=50\text{ °C}$)



Şekil 5.22 PID kontrol deneyinde ısıtıcı açıklığı zamanla değişim grafiği ($T_{set}=50\text{ °C}$)



Şekil 5.23 PID kontrol deneyinde sıcaklığın zamanla değişim grafiği ($T_{set}=60\text{ °C}$)



Şekil 5.24 PID kontrol deneyinde ısıtıcı açıklığı zamanla değişim grafiği (Tset=60 °C)

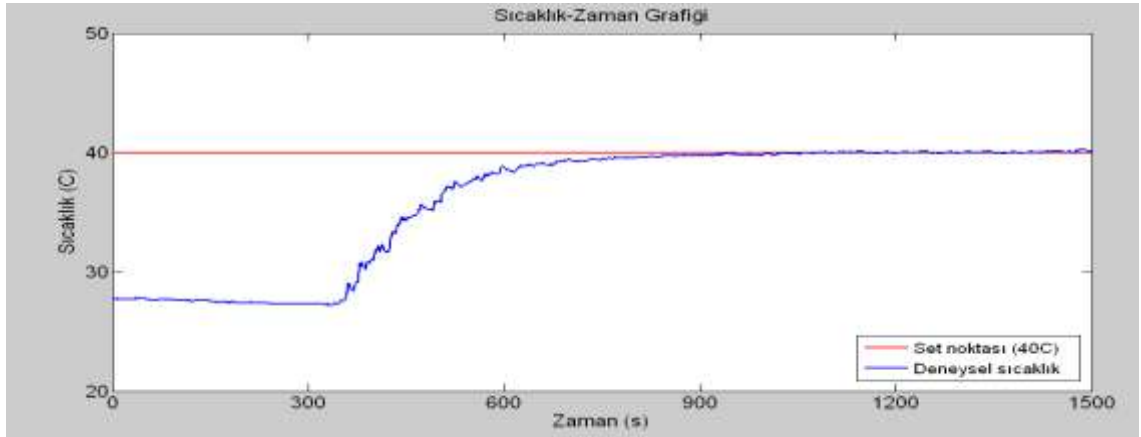
Ziegler-Nichols yöntemi ile bulunan PID katsayılarının kullanıldığı farklı set noktaları için yapılan deney sonuçları incelendiğinde Tset=40°C için ısıtıcı açıklığının başlangıçta %10'dan %45'e 35 birimlik ani bir artıştan sonra çok küçük salınımlarla %60 değerine ulaşarak bu değerde sabitlendiği gözlenmiştir (Şekil 5.20). Isıtıcı açıklığına bağlı olarak sıcaklığın düzenli olarak artarak 41°C'de sabitlendiği gözlenmiştir (Şekil 5.19). Tset=50°C için ısıtıcı açıklığının başlangıçta %10'dan %65'e 55 birimlik ani bir artıştan sonra çok küçük salınımlarla %86 değerine ulaşarak bu değerde sabitlendiği gözlenmiştir (Şekil 5.22). Isıtıcı açıklığına bağlı olarak sıcaklığın düzenli olarak artarak 51°C'de sabitlendiği gözlenmiştir (Şekil 5.21). Tset=60°C için ısıtıcı açıklığının başlangıçta %10'dan %85'e 75 birimlik ani bir artıştan sonra çok küçük salınımlarla %98 değerine ulaşarak bu değerde sabitlendiği gözlenmiştir (Şekil 5.24). Isıtıcı açıklığına bağlı olarak sıcaklığın düzenli olarak artarak 61°C'de sabitlendiği gözlenmiştir (Şekil 5.23). Deneysel sonuçlara göre Ziegler-Nichols yöntemi ile bulunan PID katsayılarının kullanıldığı sıcaklık kontrolünde sıcaklıkların istenilen set sıcaklıklarına ulaşarak bu sıcaklıklardan 1°C'lik offset olduğu belirlenmiştir.

5.5.3 Deneme-yanılma yöntemi ile katsayıları belirlenen PID kontrol sonuçları

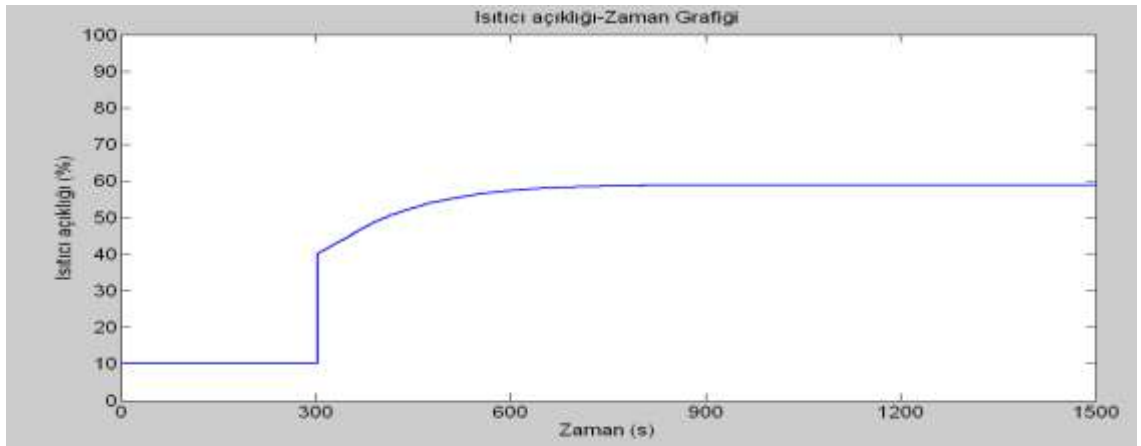
PID kontrol algoritmasındaki K_c , τ_I ve τ_D parametreleri deneme-yanılma yöntemi ile değiştirilerek yapılan deneylerde elde edilen sıcaklık profilleri karşılaştırılmış ve en iyi kontrol sonuçlarının elde edildiği katsayılar çizelge 5.10’da verilmiştir.

Çizelge 5.10 Deneme-yanılma yöntemi ile belirlenenPID kontrol katsayıları

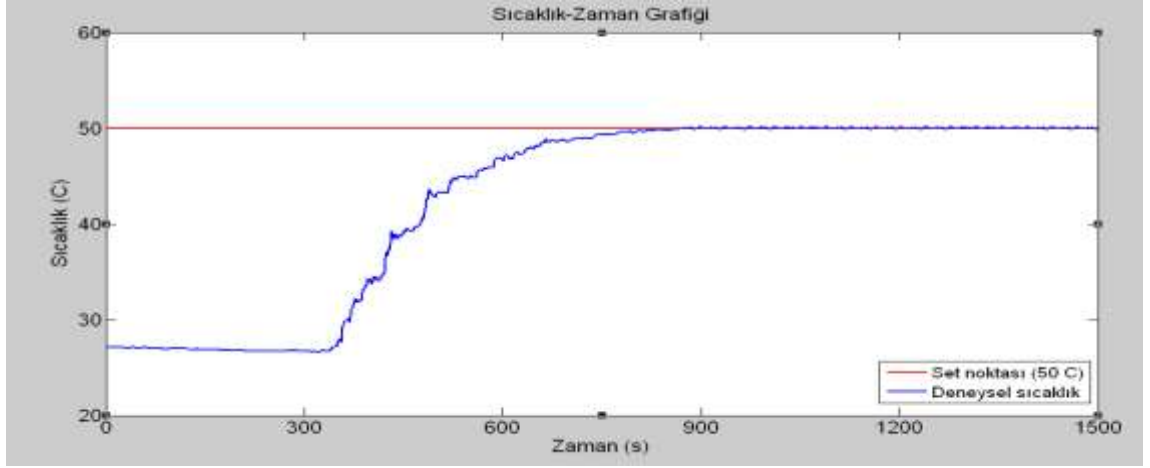
Yöntem	K_c	τ_I	τ_D
Deneme-Yanılma	0,21	20,0	4,5



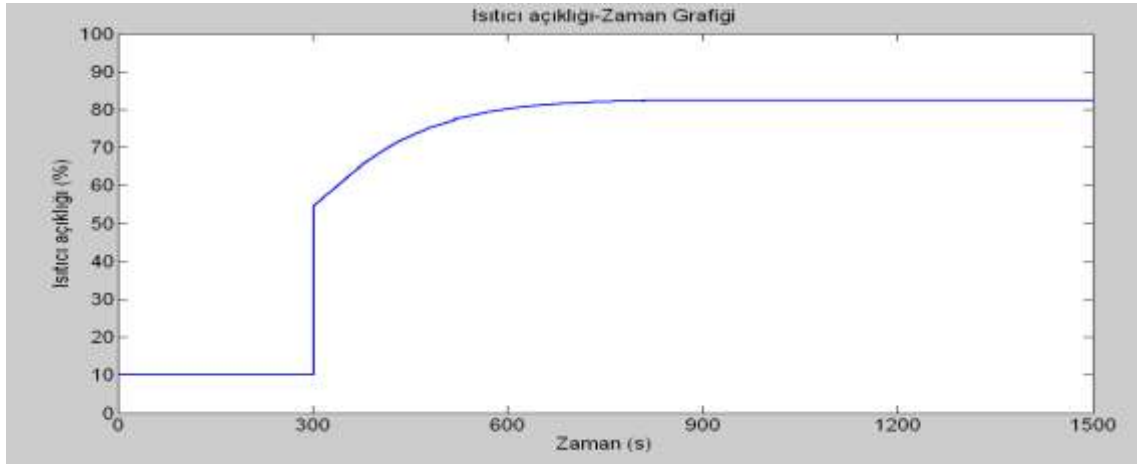
Şekil 5.25 PID kontrol deneyinde sıcaklığın zamanla değişim grafiği ($T_{set}=40\text{ }^{\circ}\text{C}$)



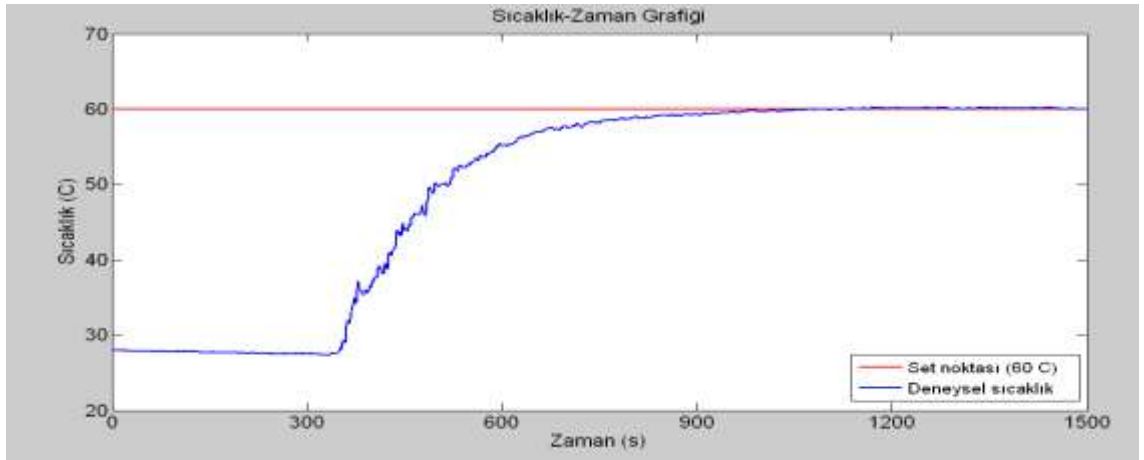
Şekil 5.26 PID kontrol deneyinde ısıtıcı açıklığı zamanla değişim grafiği ($T_{set}=40\text{ }^{\circ}\text{C}$)



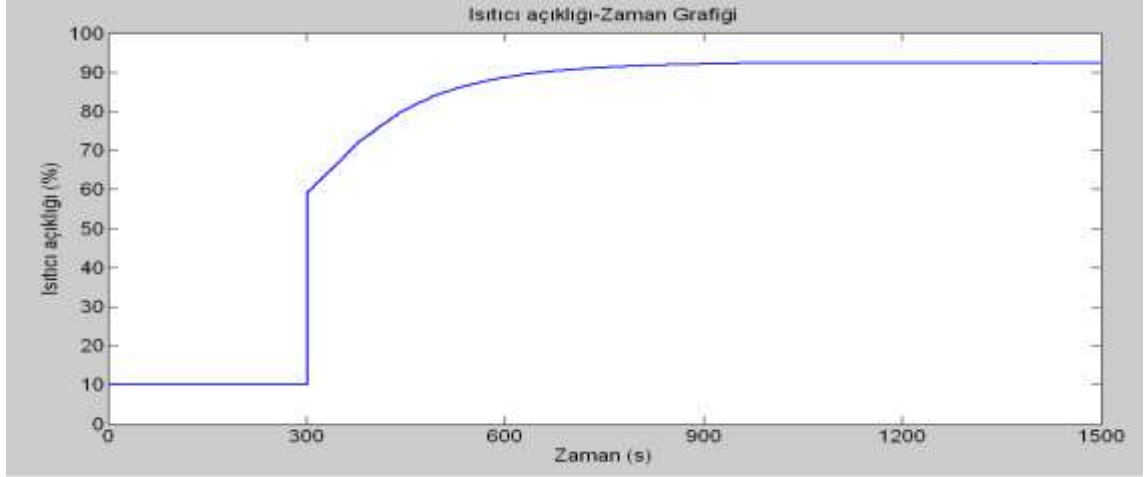
Şekil 5.27 PID kontrol deneyinde sıcaklığın zamanla değişim grafiği ($T_{set}=50\text{ }^{\circ}\text{C}$)



Şekil 5.28 PID kontrol deneyinde ısıtıcı açıklığı zamanla değişim grafiği ($T_{set}=50\text{ }^{\circ}\text{C}$)



Şekil 5.29 PID kontrol deneyinde sıcaklığın zamanla değişim grafiği ($T_{set}=60\text{ }^{\circ}\text{C}$)

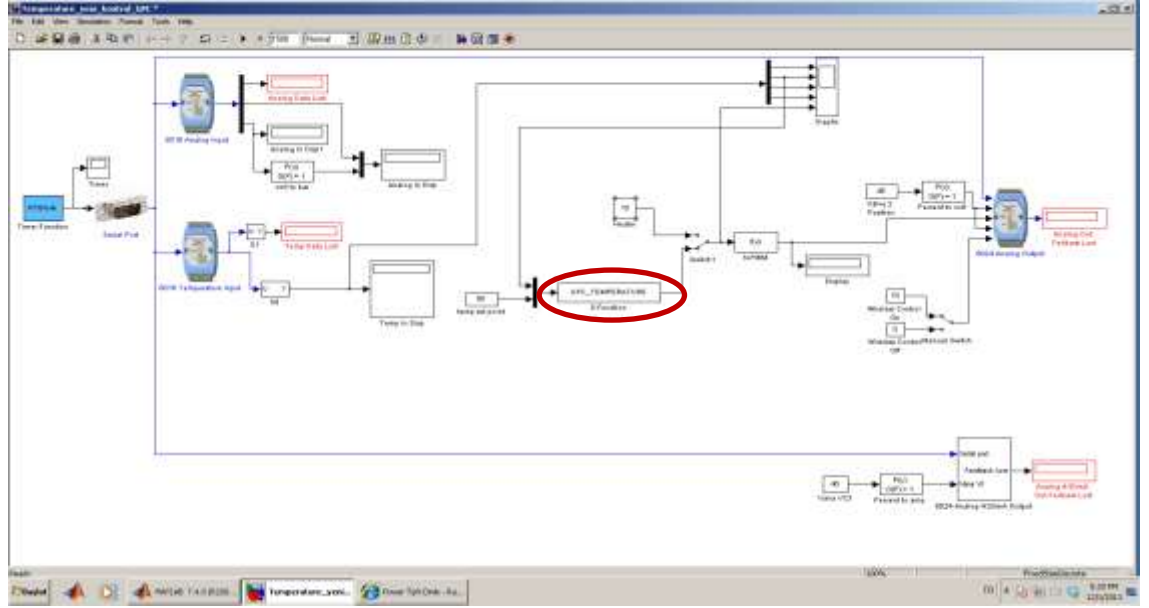


Şekil 5.30 PID kontrol deneyinde ısıtıcı açıklığı zamanla değişim grafiği (Tset=60 °C)

Deneme-yanılma yöntemi ile bulunan PID katsayılarının kullanıldığı farklı set noktaları için yapılan deney sonuçları incelendiğinde Tset=40°C için ısıtıcı açıklığının başlangıçta %10'dan %40'e 30 birimlik ani bir artıştan sonra çok küçük salınımlarla %59 değerine ulaşarak bu değerde sabitlendiği gözlenmiştir (Şekil 5.26). Isıtıcı açıklığına bağlı olarak sıcaklığın düzenli olarak artarak 40°C'de sabitlendiği gözlenmiştir (Şekil 5.25). Tset=50°C için ısıtıcı açıklığının başlangıçta %10'dan %55'e 45 birimlik ani bir artıştan sonra çok küçük salınımlarla %83 değerine ulaşarak bu değerde sabitlendiği gözlenmiştir (Şekil 5.28). Isıtıcı açıklığına bağlı olarak sıcaklığın düzenli olarak artarak 50°C'de sabitlendiği gözlenmiştir (Şekil 5.27). Tset=60°C için ısıtıcı açıklığının başlangıçta %10'dan %65'e 55 birimlik ani bir artıştan sonra çok küçük salınımlarla %94 değerine ulaşarak bu değerde sabitlendiği gözlenmiştir (Şekil 5.30). Isıtıcı açıklığına bağlı olarak sıcaklığın düzenli olarak artarak 60°C'de sabitlendiği gözlenmiştir (Şekil 5.29). DeneySEL sonuçlara göre deneme-yanılma yöntemi ile bulunan PID katsayılarının kullanıldığı sıcaklık kontrolünde sıcaklıkların istenilen set sıcaklıklarına ulaşarak bu sıcaklıklardaki kontrol başarıyla sağlanmıştır.

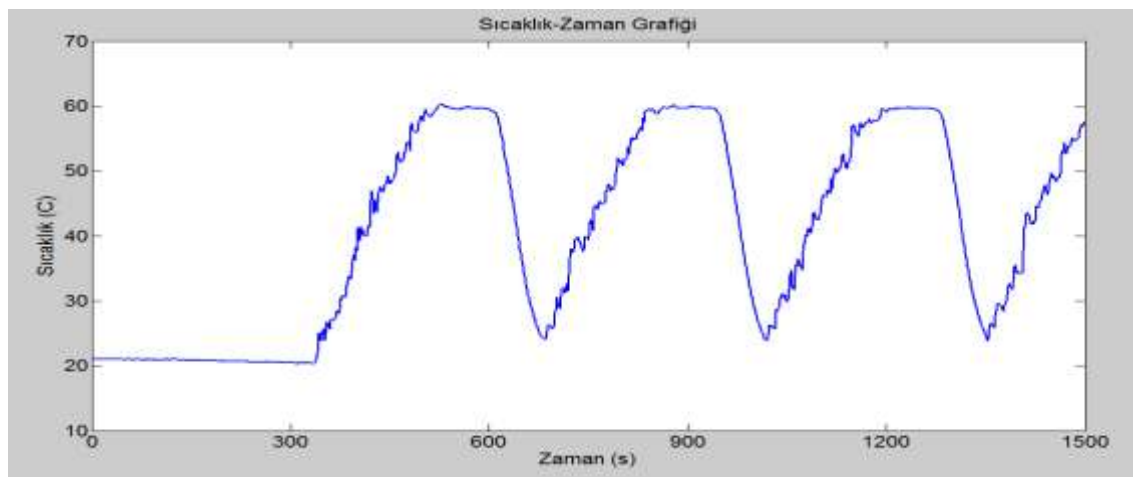
5.6 GPC Kontrol Sonuçları

GPC algoritmasının kullanıldığı kablosuz sıcaklık kontrol deneylerinde, algoritmadaki N_U , N_2 ve λ parametreleri kullanılarak $N_U=1$ $N_2=2$, $N_U=1$ $N_2=4$, $N_U=2$ $N_2=2$ ve $N_U=2$ $N_2=4$ değerlerindeki $\lambda=0.001, 0.005, 0.01, 0.05, 0.1, 0.5$ değerleri için aynı koşullarda farklı set noktaları seçilerek deneyler yapılmıştır. Bu kontrol deneylerinde ısıtıcı ve sıcaklık profillerinin zamanla değişimi gözlenmiştir. En iyi sıcaklık kontrolünü sağlayan parametrelerin belirlenmesinde deney verileri kullanılarak hesaplanan ISE ve IAE değerleri kullanılmıştır. Sıcaklık kontrol deneylerinde başlangıçta ısıtıcı sabit %10 ısıtıcı açıklığı değerinde 300s çalıştırılarak sistemin yatışkın hale gelmesi beklenmiştir. 300s sonunda MATLAB/Simulink blok diyagramında bulunan kontrol anahtarı değiştirilerek daha önce kaydedilen kontrol algoritması devreye alınmış ve bu algoritmadaki parametrelerin kontrol üzerindeki etkisi gözlenmiştir. MATLAB ortamında m-file olarak hazırlanan GPC kontrol algoritması EK 2’de verilmiştir. Kablosuz sıcaklık kontrol deneyinde GPC kontrol algoritmasının kullanıldığı MATLAB/Simulink blok diyagramı şekil 5.29’da verilmiştir. GPC kontrol deneylerinde kullanılan algoritmanın performansı ve kullanılan kontrol katsayılarının etkinliklerinin değerlendirilmesi için tüm deneyler aynı koşullarda gerçekleştirilmiştir. Bunun için kontrol deneylerinden önce CV1 akış hızı kontrol vanası 2.5 l/dk olacak şekilde ayarlanır. CV2 sıvı seviye kontrol vanası %45 vana açıklığı değerinde ayarlanarak V2’deki sıvı seviyesinin sabitlenmesi sağlanmıştır.

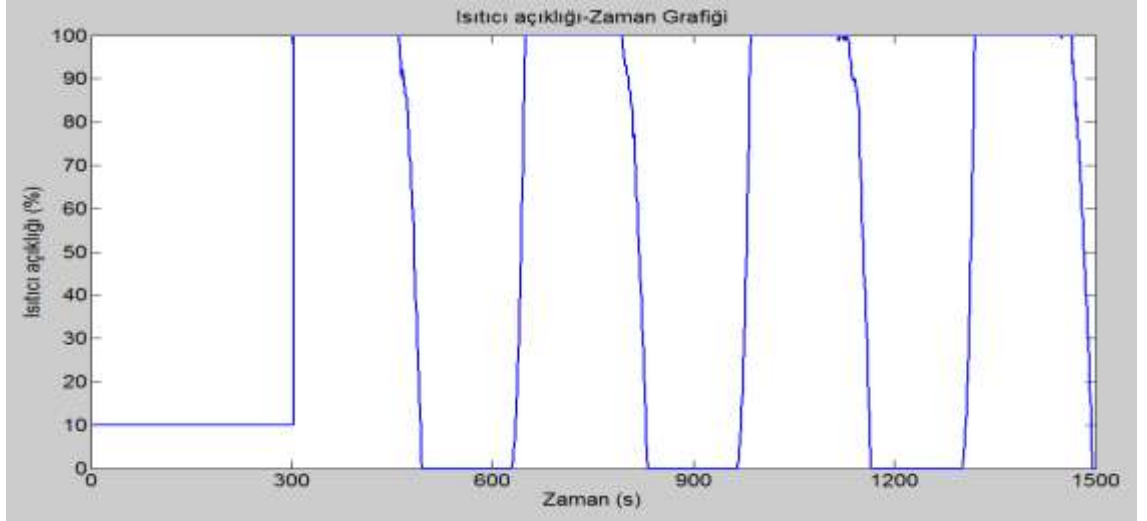


Şekil 5.31 GPC sıcaklık kontrol deneyinin MATLAB/Simulink blok diyagramı

GPC algoritmasının kullanıldığı kablosuz sıcaklık kontrol deneylerinde yapılan ön denemelerde, algoritmada kullanılan herhangi bir N_U ve N_2 değerinde, λ 'nın 1'den büyük tüm değerlerinde ısıtıcının %0-100 arasında salınımlar yaptığı ve buna bağlı olarak sıcaklığında çok büyük salınımlar yaptığı görülmüştür. GPC algoritmasında en etkili ayar parametresi olan λ 'nın 1'den büyük değerlerinde, sistemin tepkisi azaldığından dolayı GPC deneyleri, λ 'nın 1'den küçük değerlerinde gerçekleştirilmiştir.



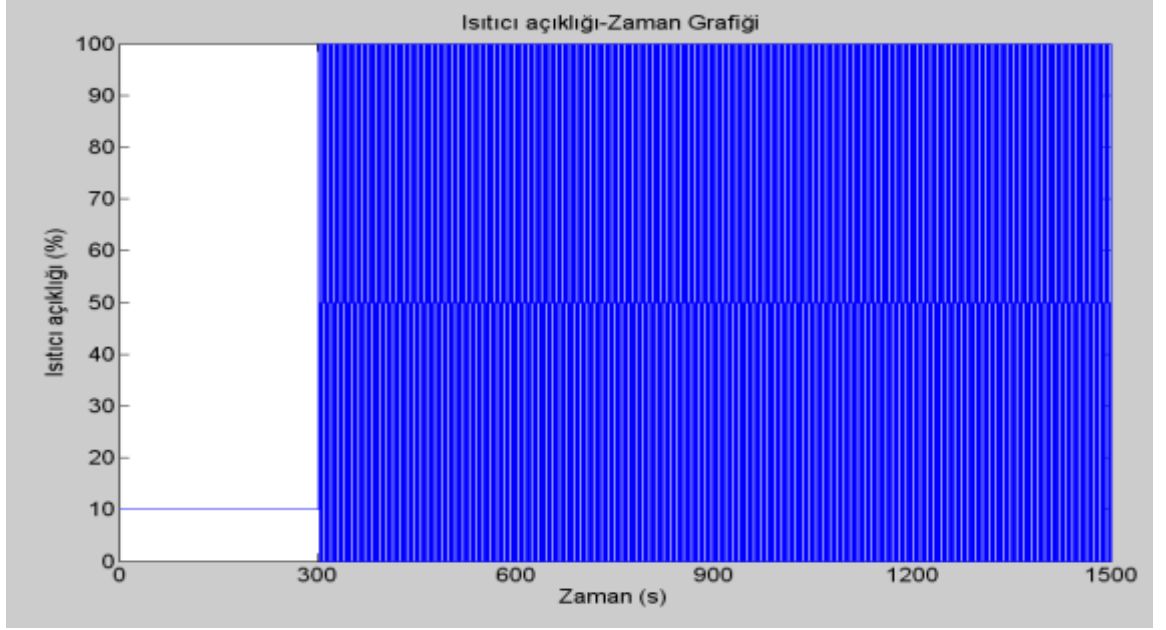
Şekil 5.32 GPC deneylerinde λ 'nın 1'den büyük değerleri için sıcaklığın zamanla değişim grafiği



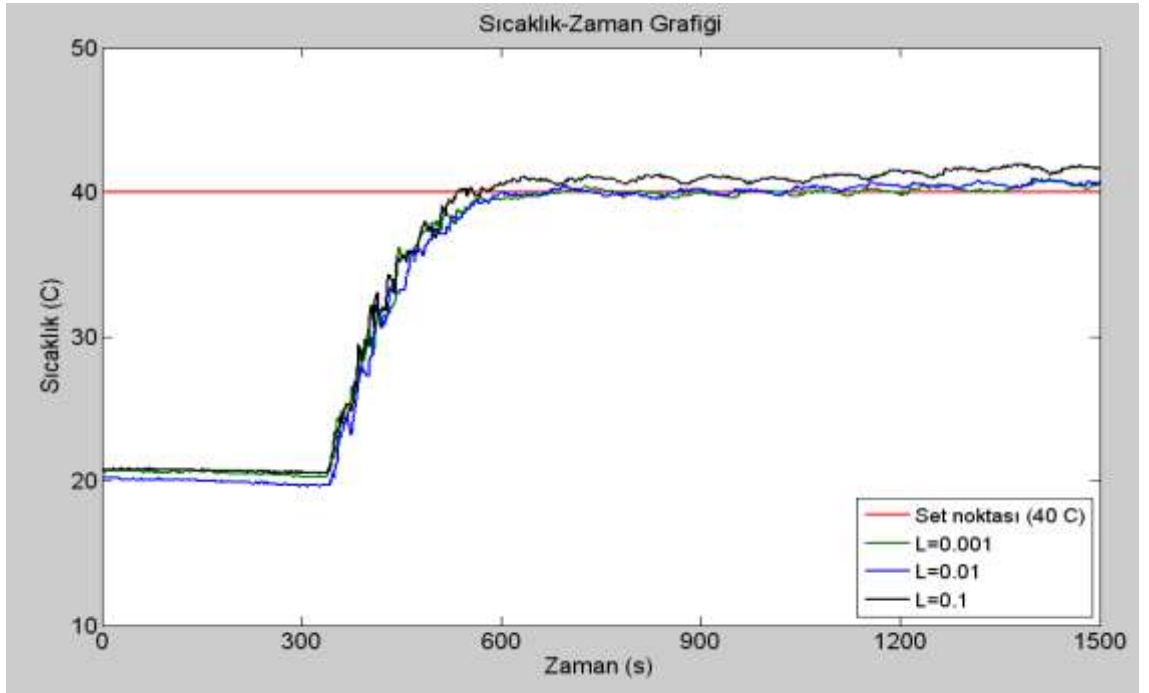
Şekil 5.33 GPC deneylerinde λ 'nın 1'den büyük değerleri için ısıtıcı açıklığının zamanla değişim grafiği

5.6.1 Tset=40 °C için GPC deney sonuçları

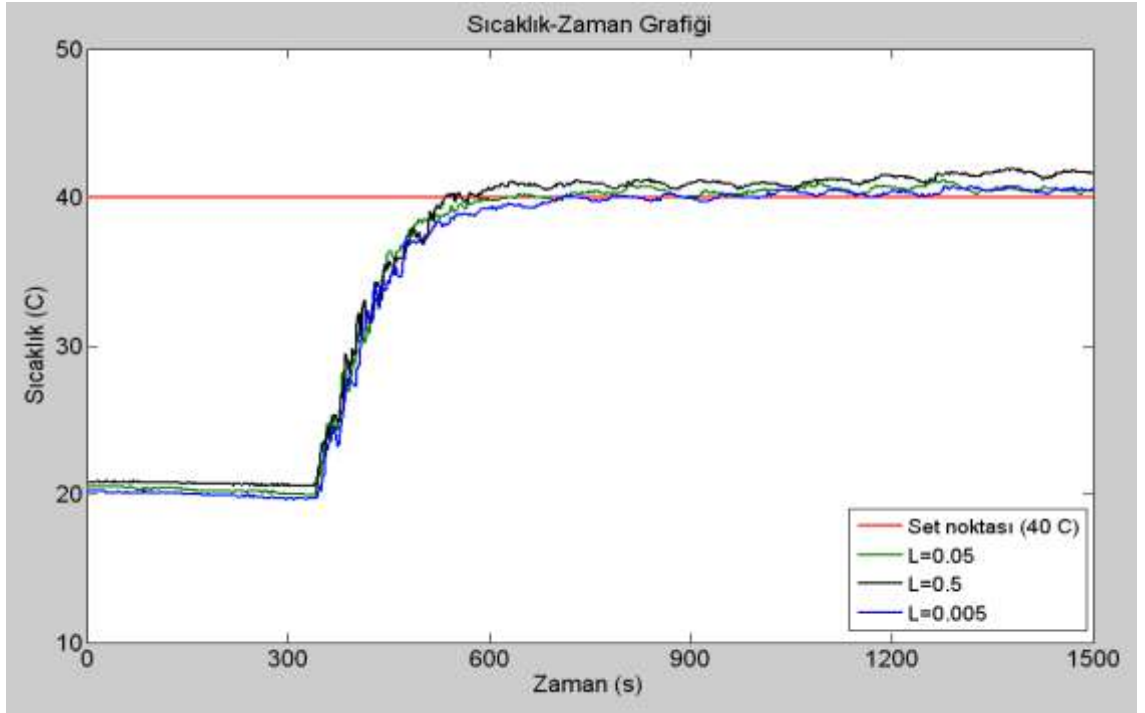
GPC kontrol algoritmasının kullanıldığı kablosuz sıcaklık kontrol deneylerinde, Tset=40 °C için algoritmadaki N_U , N_2 ve λ parametreleri kullanılarak $N_U=1$ $N_2=2$, $N_U=1$ $N_2=4$, $N_U=2$ $N_2=2$ ve $N_U=2$ $N_2=4$ değerlerindeki $\lambda=0.001, 0.005, 0.01, 0.05, 0.1, 0.5$ değerlerinde yapılan deneylerde ısıtıcı açıklığının zamanla değişim grafiği şekil 5.34'de ve ısıtıcı açıklığına bağlı sıcaklığın zamanla değişim grafiği şekil 5.35–5.42'de verilmiştir. Bu deneylerde elde edilen veriler kullanılarak hesaplanan ISE değerleri çizelge 5.11'de ve IAE değerleri çizelge 5.12'de verilmiştir.



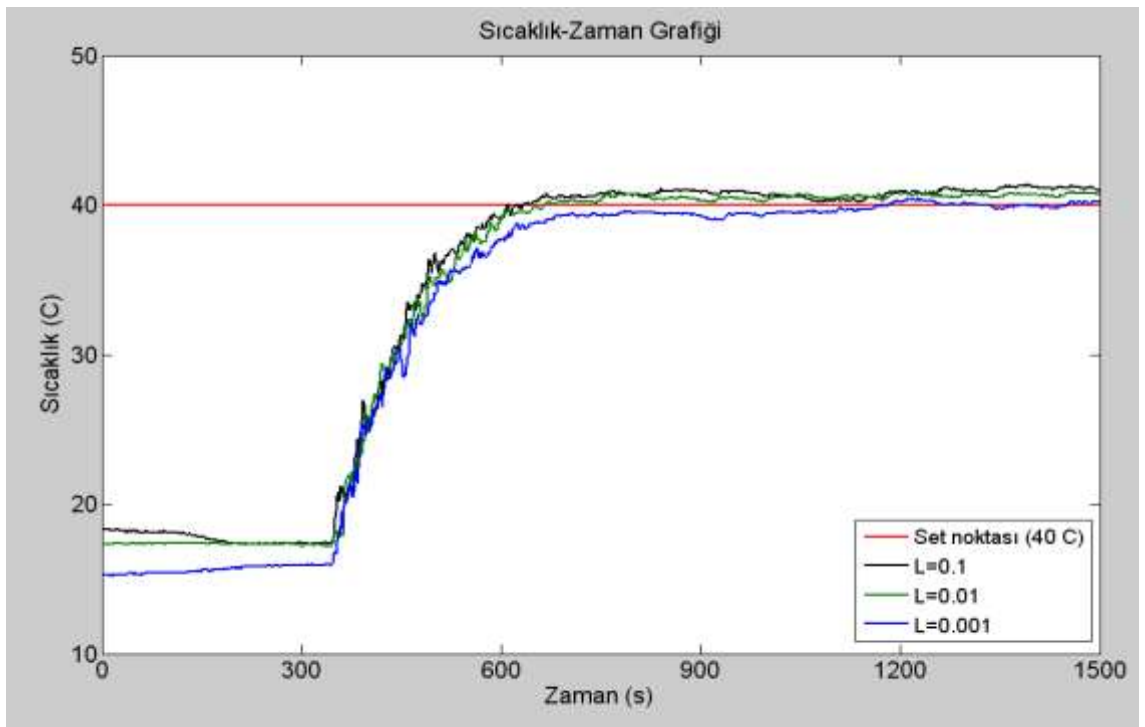
Şekil 5.34 GPCdeneylerinde $T_{set}=40^{\circ}\text{C}$ için ısıtıcı açıklığının zamanla değişim grafiği



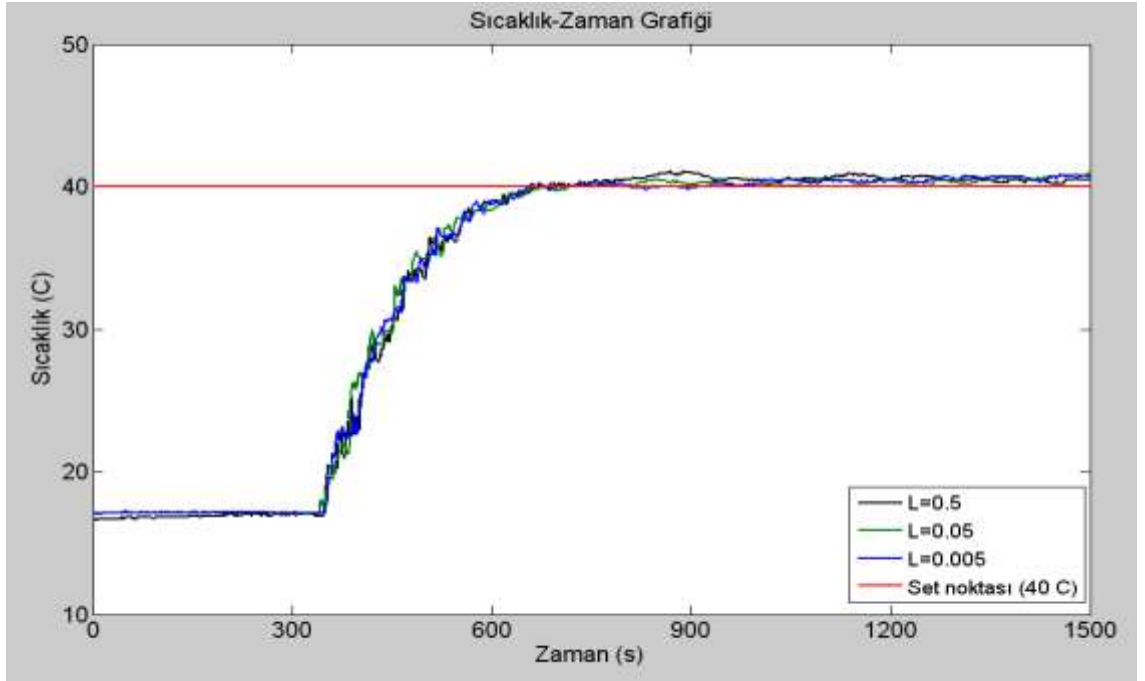
Şekil 5.35 $N_U=1$, $N_2=2$ ve $\lambda=0.001, 0.01, 0.1$ için sıcaklığın zamanla değişim grafiği



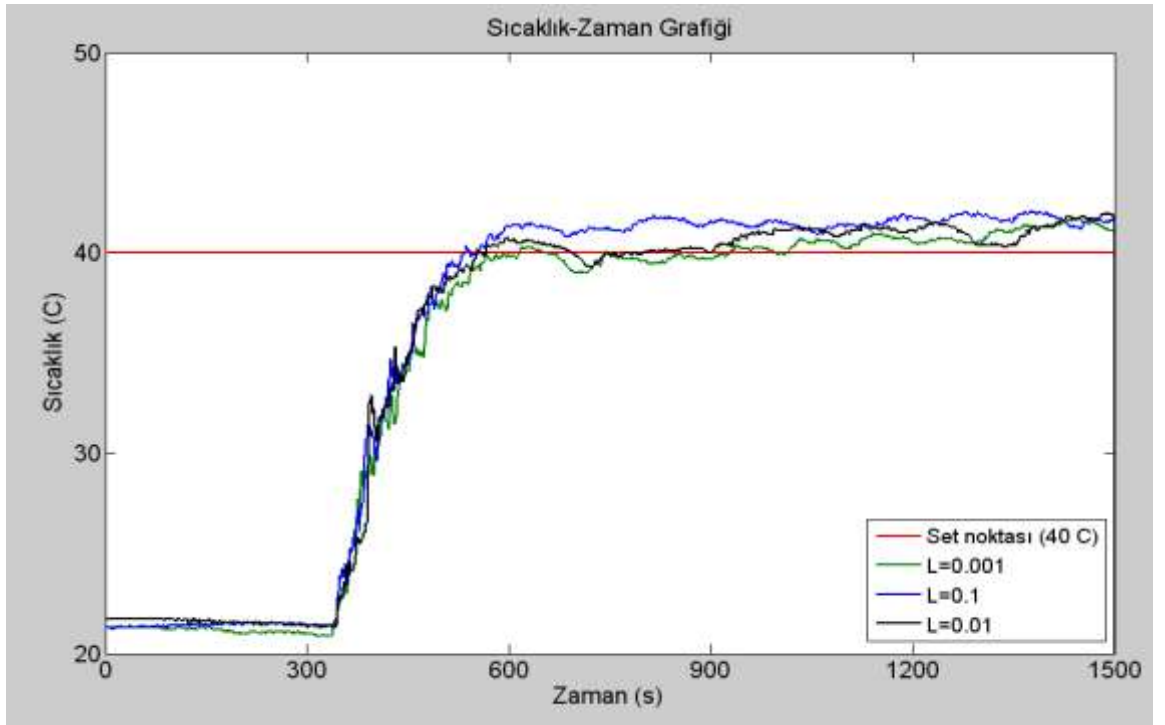
Şekil 5.36 $N_U=1$, $N_2=2$ ve $\lambda=0.005, 0.05, 0.5$ için sıcaklığın zamanla değişim grafiği



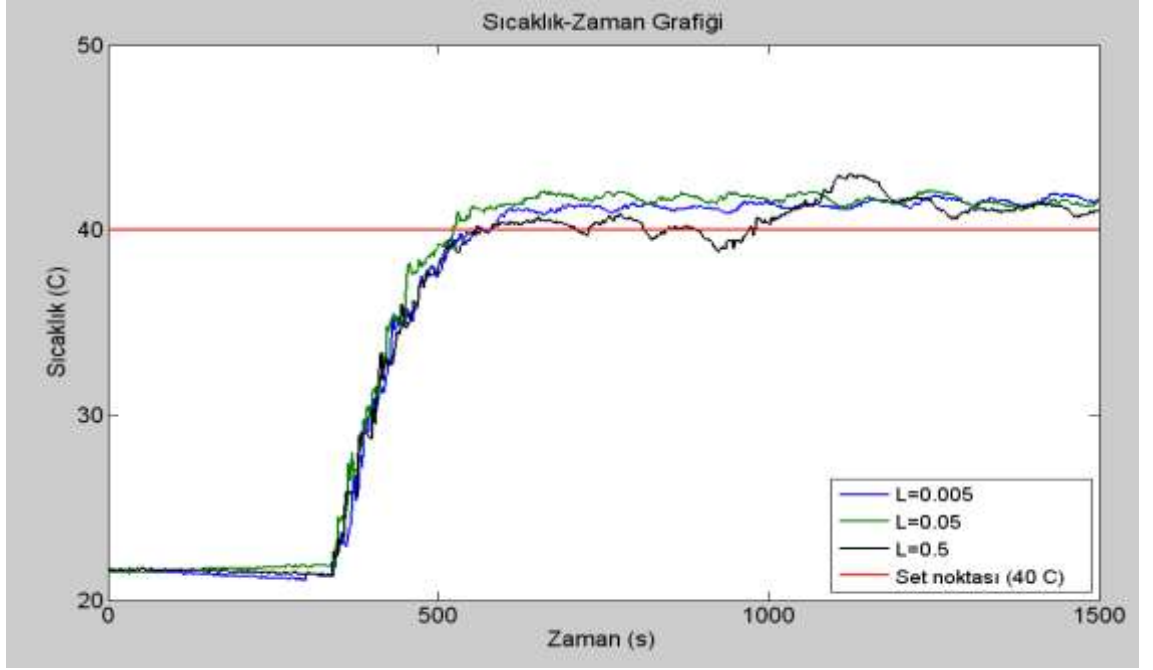
Şekil 5.37 $N_U=1$, $N_2=4$ ve $\lambda=0.001, 0.01, 0.1$ için sıcaklığın zamanla değişim grafiği



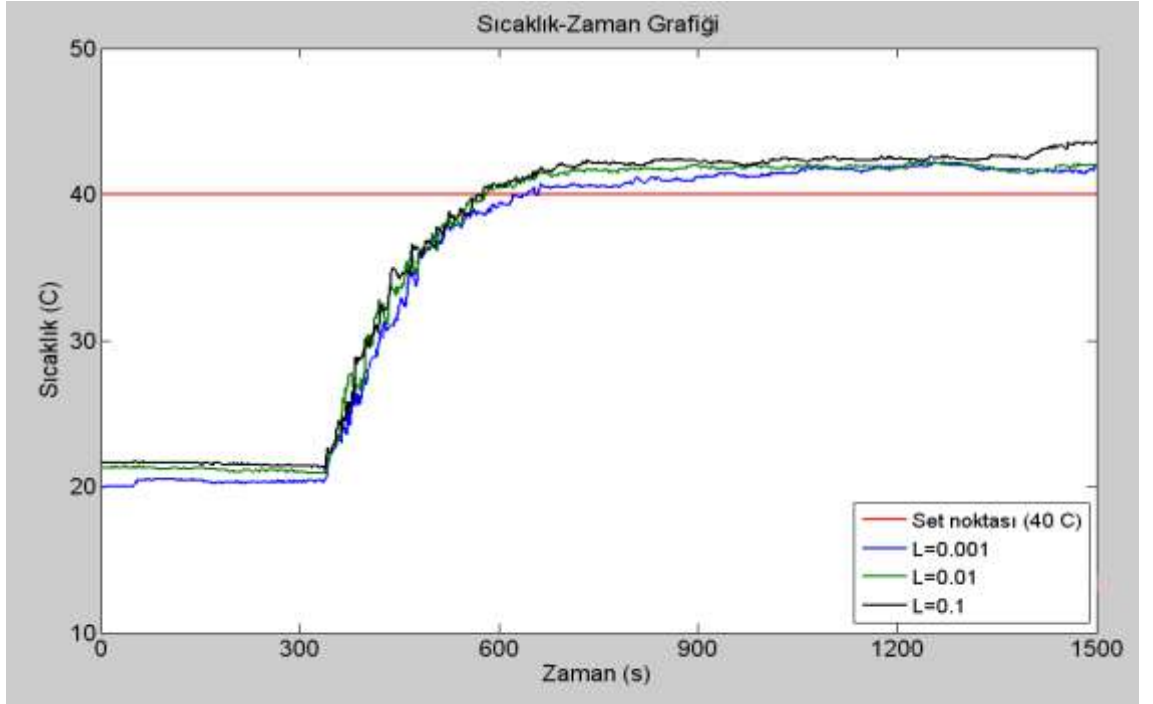
Şekil 5.38 $N_U=1$, $N_2=4$ ve $\lambda=0.005, 0.05, 0.5$ için sıcaklığın zamanla değişim grafiği



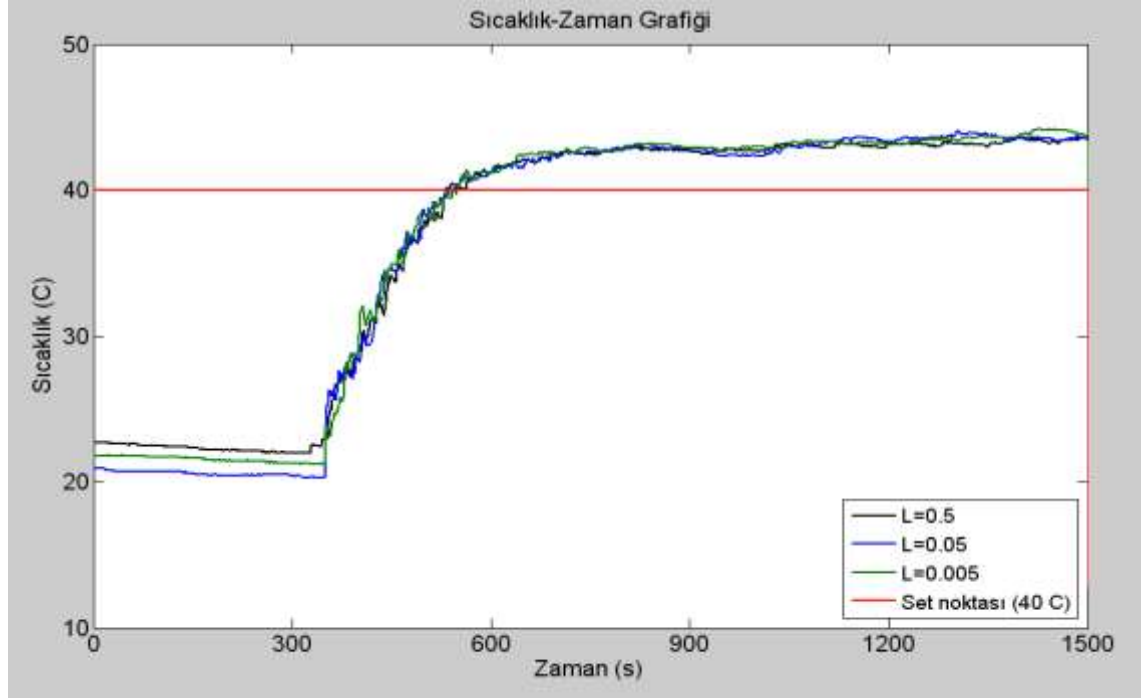
Şekil 5.39 $N_U=2$, $N_2=2$ ve $\lambda=0.001, 0.01, 0.1$ için sıcaklığın zamanla değişim grafiği



Şekil 5.40 $N_U=2$, $N_2=2$ ve $\lambda=0.005, 0.05, 0.5$ için sıcaklığın zamanla değişim grafiği



Şekil 5.41 $N_U=2$, $N_2=4$ ve $\lambda=0.001, 0.01, 0.1$ için sıcaklığın zamanla değişim grafiği



Şekil 5.42 $N_U=2$, $N_2=4$ ve $\lambda=0.005, 0.05, 0.5$ için sıcaklığın zamanla değişim grafiği

Çizelge 5.11 $T_{set}=40$ °C için hesaplanan ISE değerleri

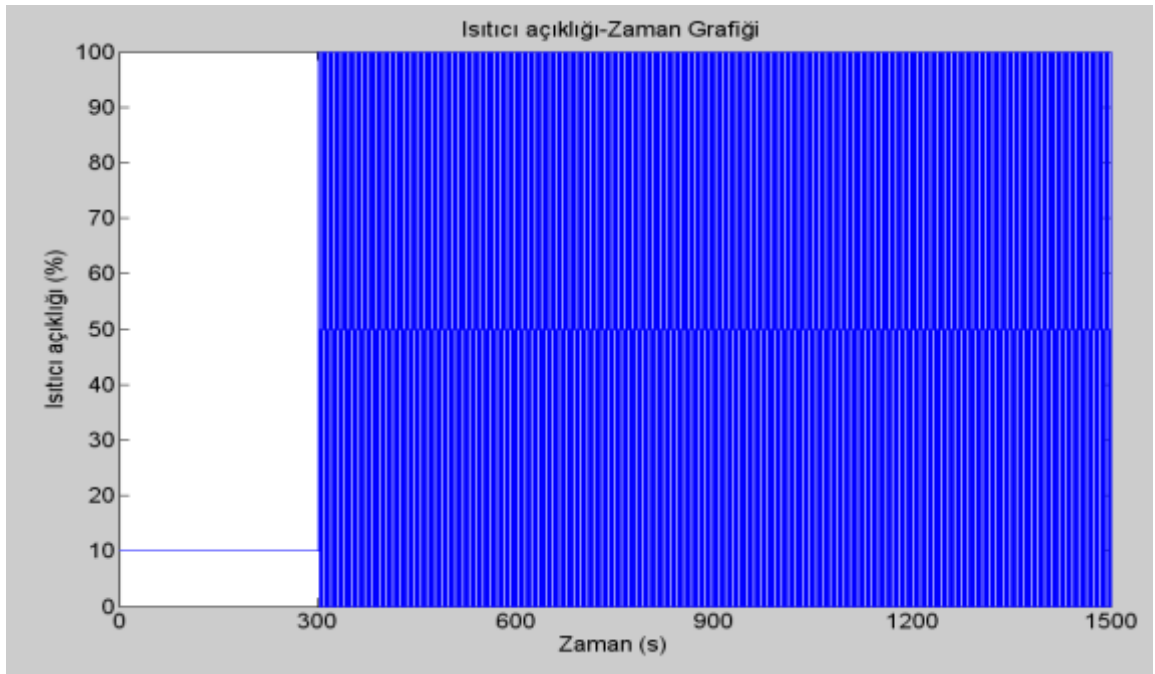
	$\lambda = 0.001$	$\lambda = 0.005$	$\lambda = 0.01$	$\lambda = 0.05$	$\lambda = 0.1$	$\lambda = 0.5$
$N_U=1, N_2=2$	14319,62	14452,90	13406,04	15408,40	16729,95	17617,56
$N_U=1, N_2=4$	14744,85	16957,10	14795,94	14837,30	16888,92	17595,54
$N_U=2, N_2=2$	20919,41	22110,80	17992,24	22212,70	19724,63	23250,46
$N_U=2, N_2=4$	26964,51	26934,90	27609,22	28564,30	27653,97	31913,08

Çizelge 5.12 $T_{set}=40$ °C için hesaplanan IAE değerleri

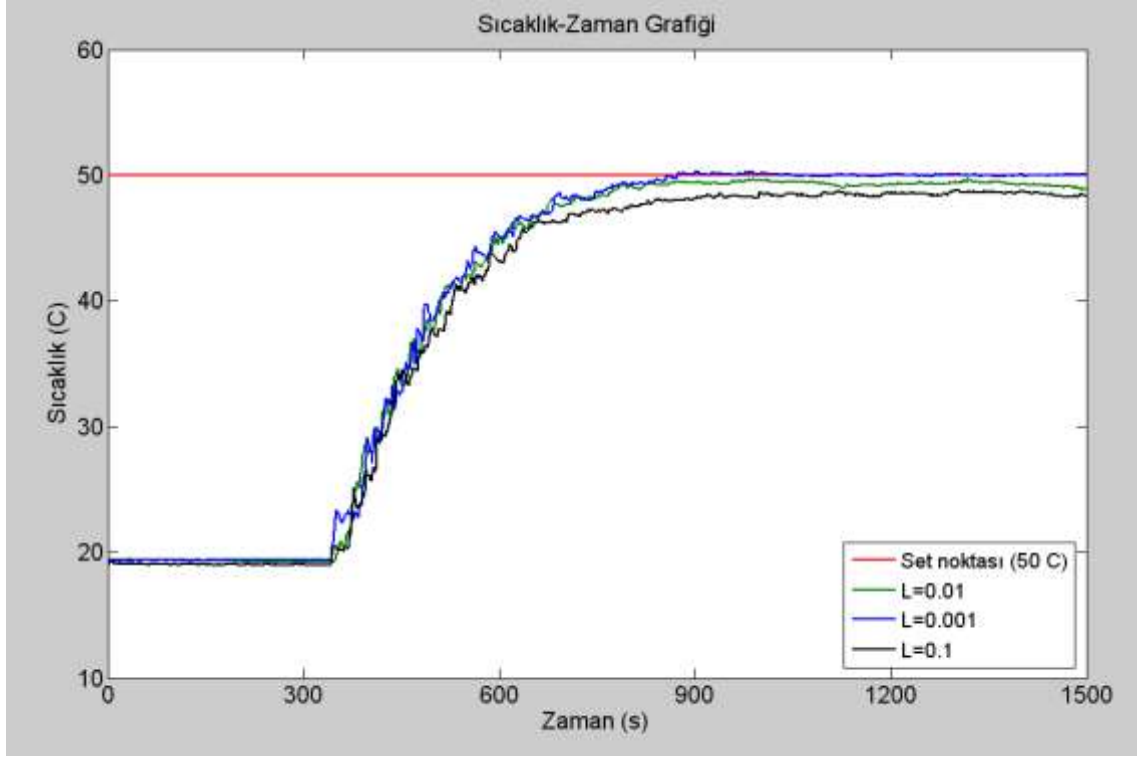
	$\lambda = 0.001$	$\lambda = 0.005$	$\lambda = 0.01$	$\lambda = 0.05$	$\lambda = 0.1$	$\lambda = 0.5$
$N_U=1, N_2=2$	1603,00	1698,20	1586,20	1647,30	1875,40	2332,60
$N_U=1, N_2=4$	1853,90	1926,50	1638,80	1719,40	2097,40	2519,30
$N_U=2, N_2=2$	2734,10	2830,30	2366,20	2467,30	2835,40	2994,10
$N_U=2, N_2=4$	2936,50	4030,60	3068,80	4072,70	3536,90	4194,80

5.6.2 Tset=50 °C için GPC deney sonuçları

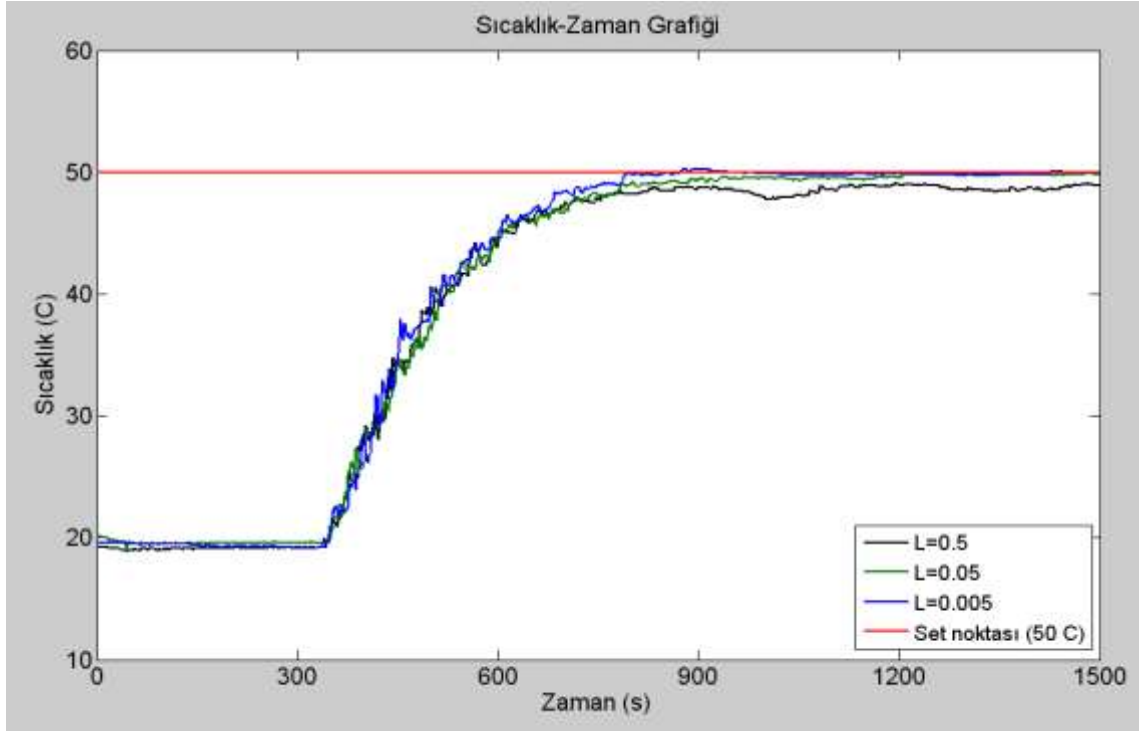
GPC kontrol algoritmasının kullanıldığı kablosuz sıcaklık kontrol deneylerinde, Tset=50 °C için algoritmadaki N_U , N_2 ve λ parametreleri kullanılarak $N_U=1$ $N_2=2$, $N_U=1$ $N_2=4$, $N_U=2$ $N_2=2$ ve $N_U=2$ $N_2=4$ değerlerindeki $\lambda=0.001, 0.005, 0.01, 0.05, 0.1, 0.5$ değerlerinde yapılan deneylerde ısıtıcı açıklığının zamanla değişim grafiği şekil 5.43’de ve ısıtıcı açıklığına bağlı sıcaklığın zamanla değişim grafiği şekil 5.44–5.51’de verilmiştir. Bu deneylerde elde edilen veriler kullanılarak hesaplanan ISE değerleri çizelge 5.13’te ve IAE değerleri çizelge 5.14’te verilmiştir.



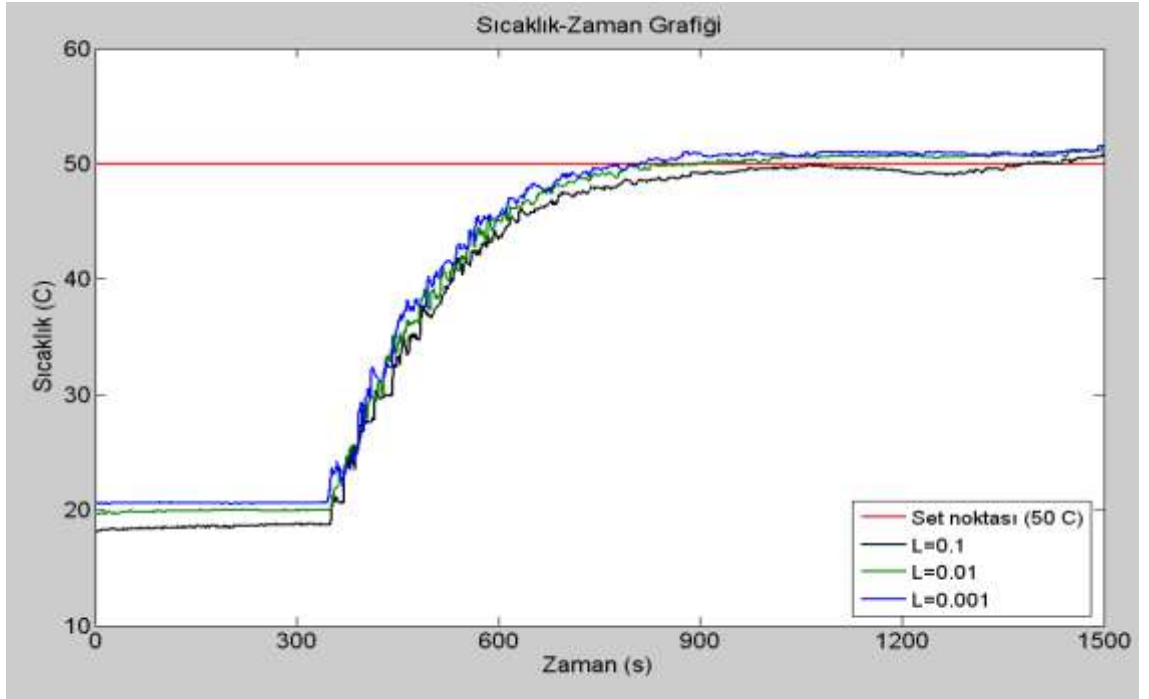
Şekil 5.43 GPC deneylerinde Tset=50°C için ısıtıcı açıklığının zamanla değişim grafiği



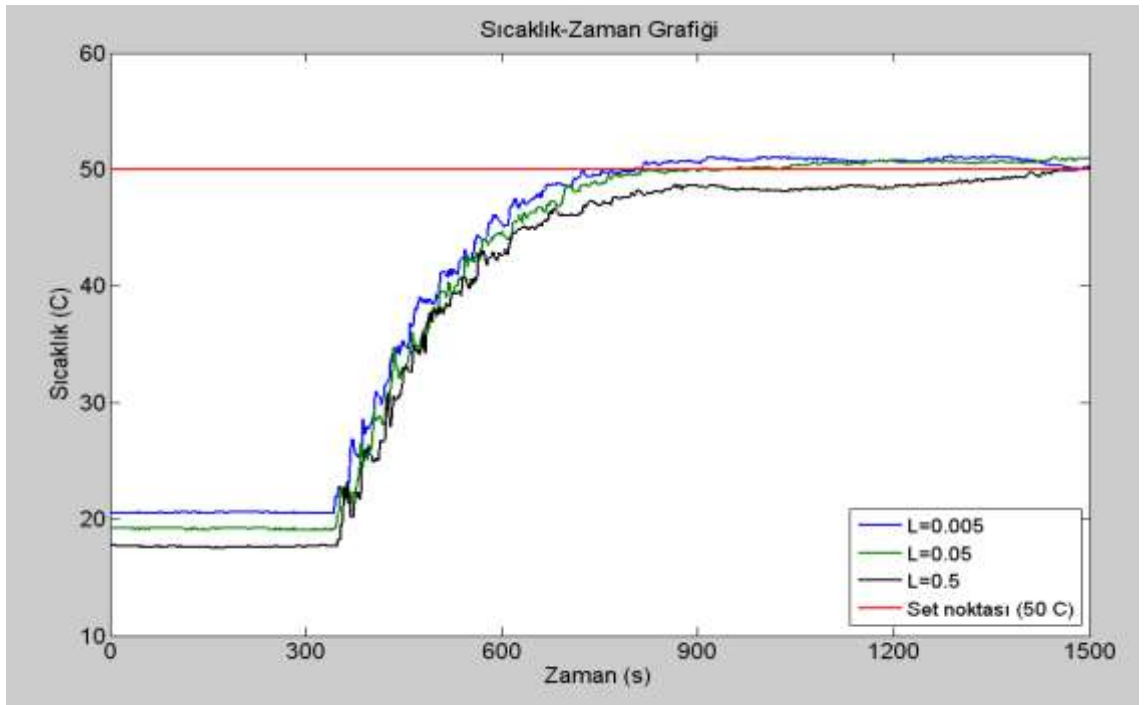
Şekil 5.44 $N_U=1$, $N_2=2$ ve $\lambda=0.001, 0.01, 0.1$ için sıcaklığın zamanla değişim grafiği



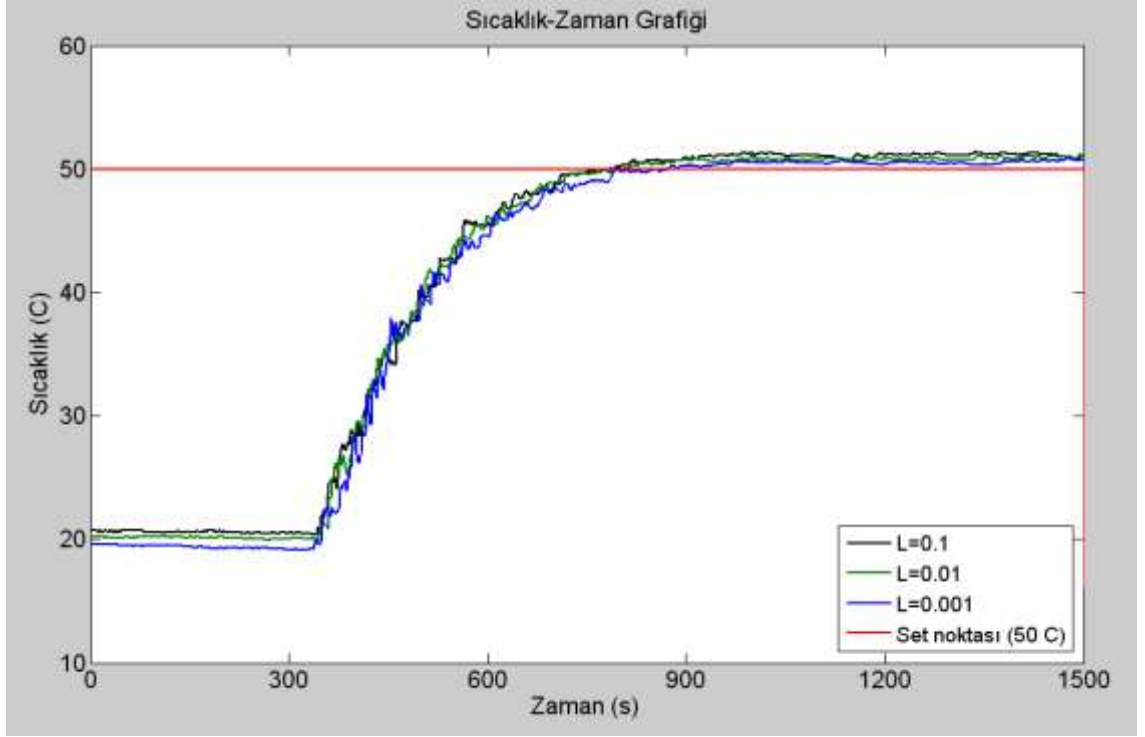
Şekil 5.45 $N_U=1$, $N_2=2$ ve $\lambda=0.005, 0.05, 0.5$ için sıcaklığın zamanla değişim grafiği



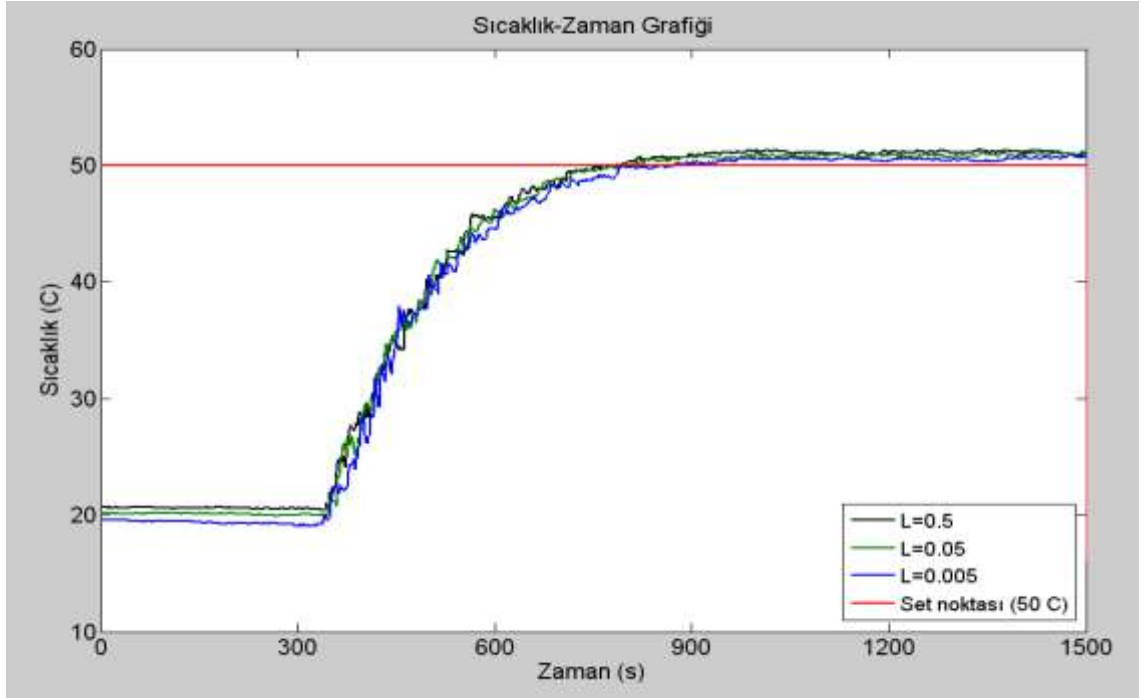
Şekil 5.46 $N_U=1$, $N_2=4$ ve $\lambda=0.001, 0.01, 0.1$ için sıcaklığın zamanla değişim grafiği



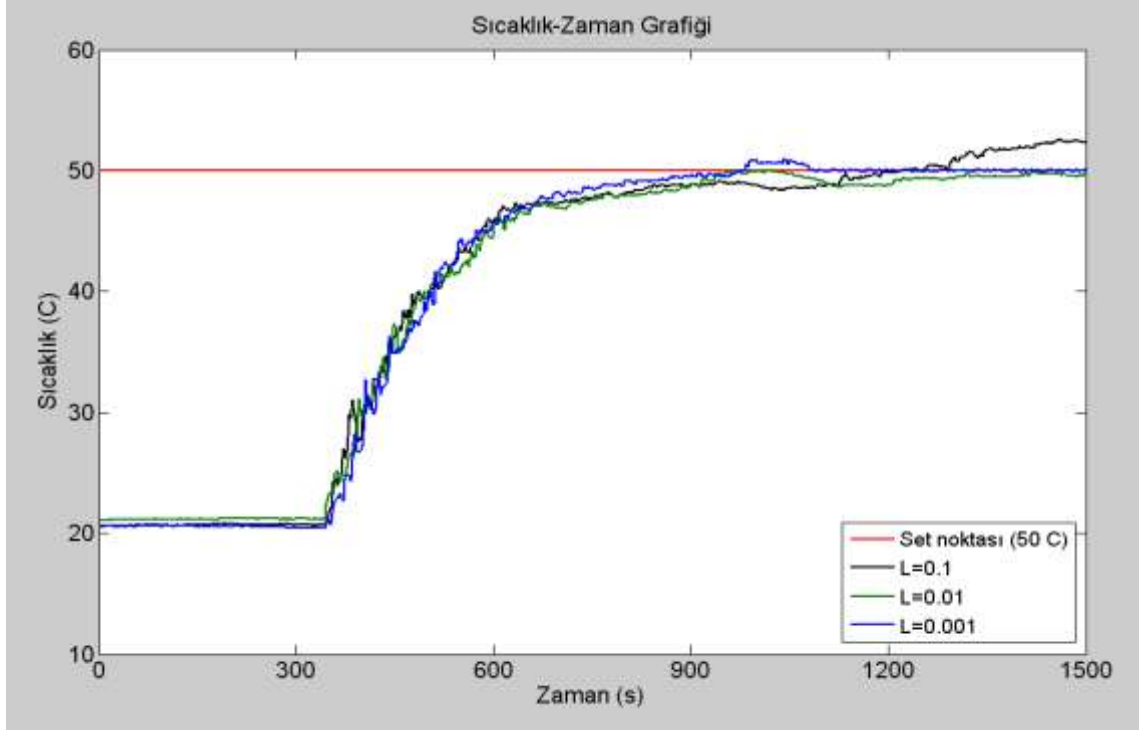
Şekil 5.47 $N_U=1$, $N_2=4$ ve $\lambda=0.005, 0.05, 0.5$ için sıcaklığın zamanla değişim grafiği



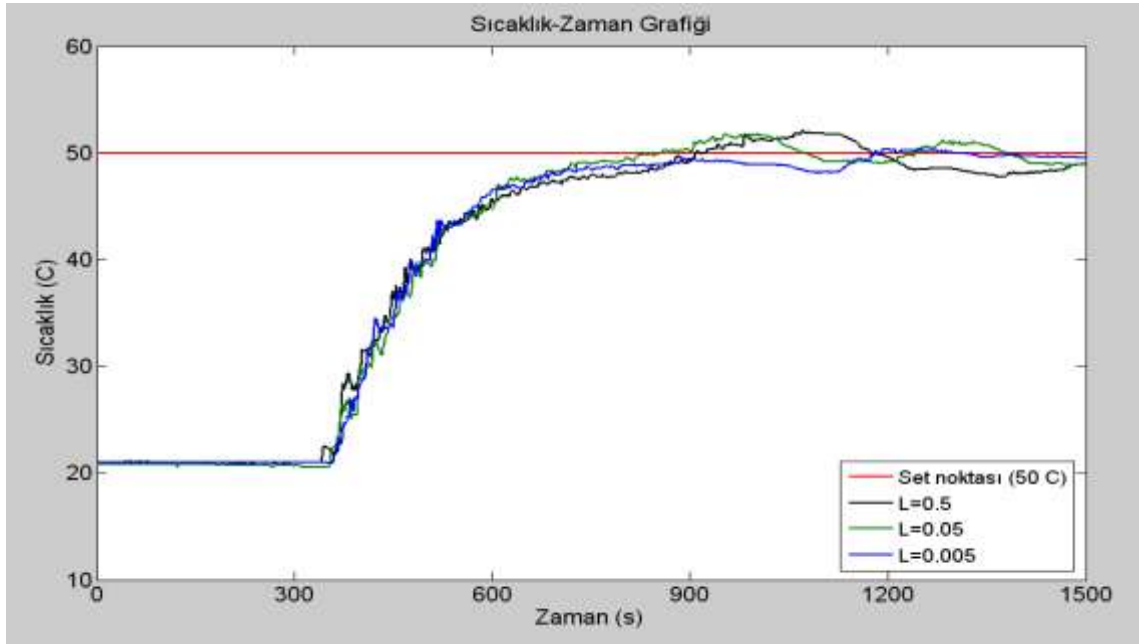
Şekil 5.48 $N_U=2$, $N_2=2$ ve $\lambda=0.001, 0.01, 0.1$ için sıcaklığın zamanla değişim grafiği



Şekil 5.49 $N_U=2$, $N_2=2$ ve $\lambda=0.005, 0.05, 0.5$ için sıcaklığın zamanla değişim grafiği



Şekil 5.50 $N_U=2$, $N_2=4$ ve $\lambda=0.001, 0.01, 0.1$ için sıcaklığın zamanla değişim grafiği



Şekil 5.51 $N_U=2$, $N_2=4$ ve $\lambda=0.005, 0.05, 0.5$ için sıcaklığın zamanla değişim grafiği

Çizelge 5.13 Tset=50 °C için hesaplanan ISE değerleri

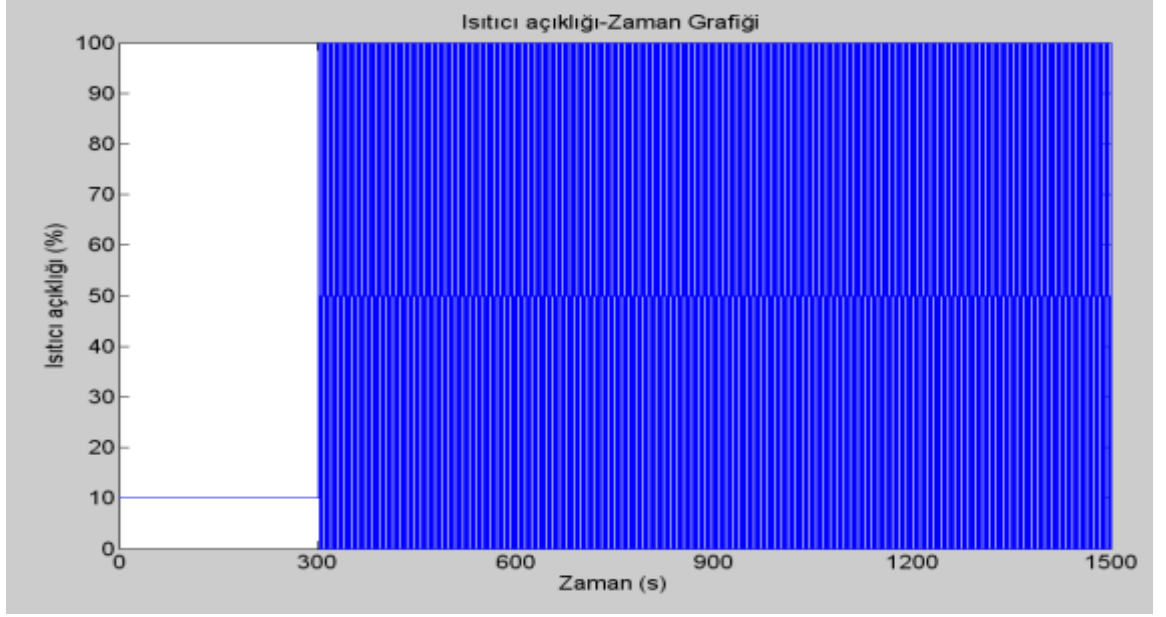
	$\lambda=0.001$	$\lambda=0.005$	$\lambda=0.01$	$\lambda=0.05$	$\lambda=0.1$	$\lambda=0.5$
Nu=1, N2=2	60534,77	61563,10	59008,28	59981,36	62488,23	63248,61
Nu=1, N2=4	63143,64	63437,35	61657,55	62182,98	63793,99	70883,09
Nu=2, N2=2	66114,53	71016,31	63999,01	64935,69	72290,16	74135,42
Nu=2, N2=4	70872,40	75781,33	64562,83	69668,41	78849,61	79998,53

Çizelge 5.14 Tset=50 °C için hesaplanan IAE değerleri

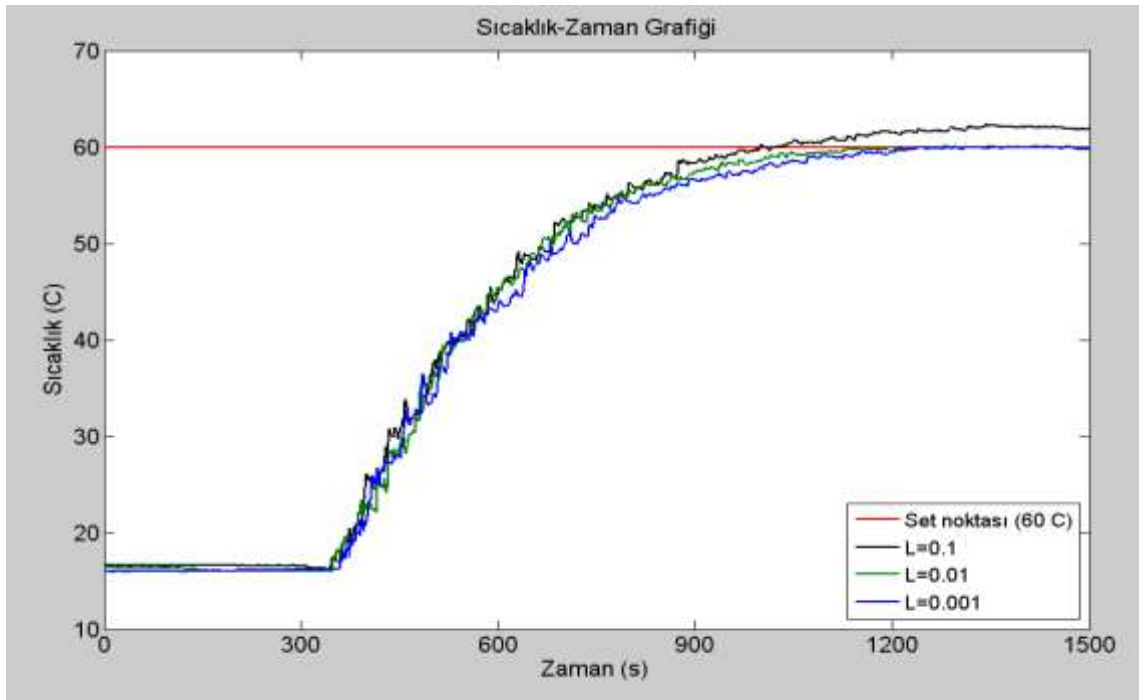
	$\lambda =0.001$	$\lambda =0.005$	$\lambda =0.01$	$\lambda =0.05$	$\lambda =0.1$	$\lambda =0.5$
Nu=1, N2=2	4224,90	4425,10	4088,30	4355,10	4742,80	4498,70
Nu=1, N2=4	4415,00	4896,50	4232,40	4436,70	4602,50	5067,50
Nu=2, N2=2	4505,70	4706,50	4310,00	4491,50	4827,40	4840,80
Nu=2, N2=4	4856,50	4881,80	4540,90	4600,40	5315,10	5881,10

5.6.3 Tset=60 °C için GPC deney sonuçları

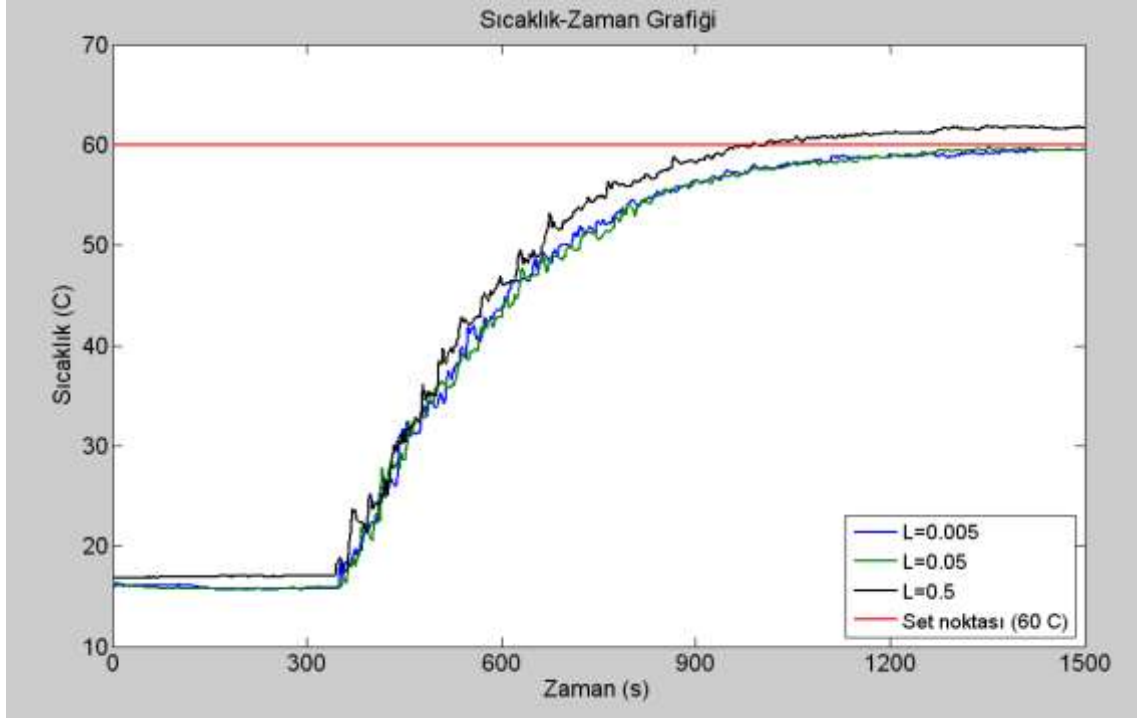
GPC kontrol algoritmasının kullanıldığı kablosuz sıcaklık kontrol deneylerinde, Tset=60 °C için algoritmadaki N_U , N_2 ve λ parametreleri kullanılarak $N_U=1$ $N_2=2$, $N_U=1$ $N_2=4$, $N_U=2$ $N_2=2$ ve $N_U=2$ $N_2=4$ değerlerindeki $\lambda=0.001$, 0.005, 0.01, 0.05, 0.1, 0.5 değerlerinde yapılan deneylerde ısıtıcı açıklığının zamanla değişim grafiği şekil 5.52’de ve ısıtıcı açıklığına bağlı sıcaklığın zamanla değişim grafiği şekil 5.53–5.60’da verilmiştir. Bu deneylerde elde edilen veriler kullanılarak hesaplanan ISE değerleri çizelge 5.15’te ve IAE değerleri çizelge 5.16’da verilmiştir.



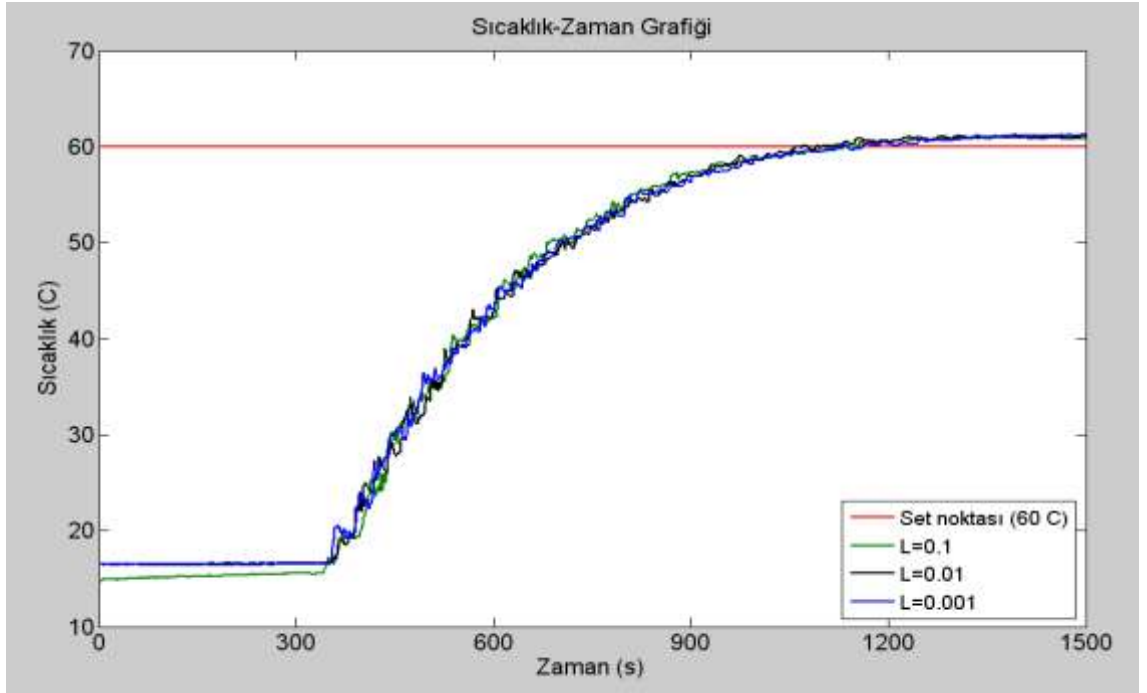
Şekil 5.52 GPC deneylerinde $T_{set}=60^{\circ}\text{C}$ için ısıtıcı açıklığının zamanla değişim grafiği



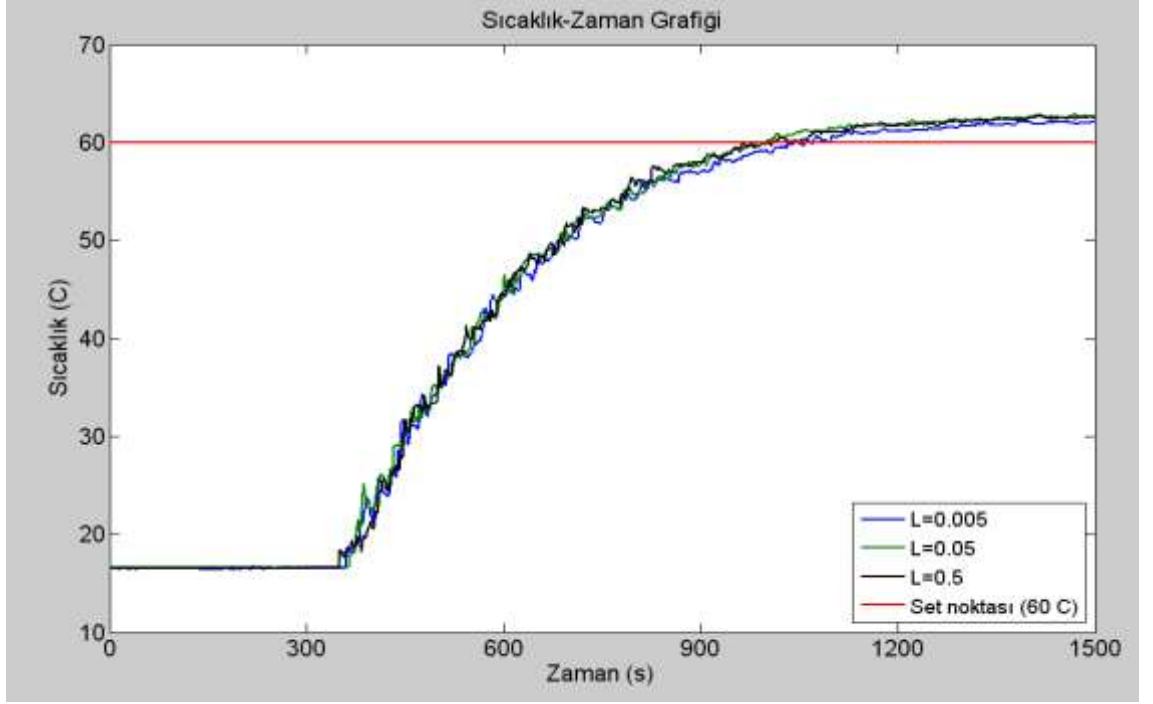
Şekil 5.53 $N_U=1$, $N_2=2$ ve $\lambda=0.001, 0.01, 0.1$ için sıcaklığın zamanla değişim grafiği



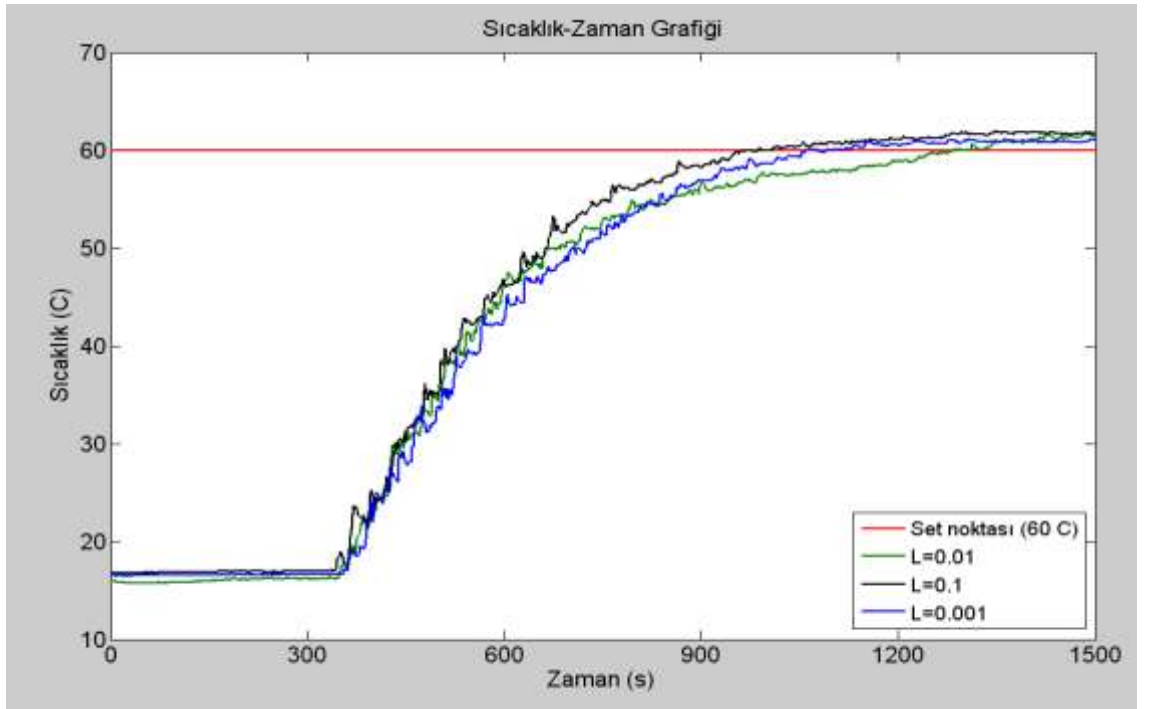
Şekil 5.54 $N_U=1$, $N_2=2$ ve $\lambda=0.005, 0.05, 0.5$ için sıcaklığın zamanla değişim grafiği



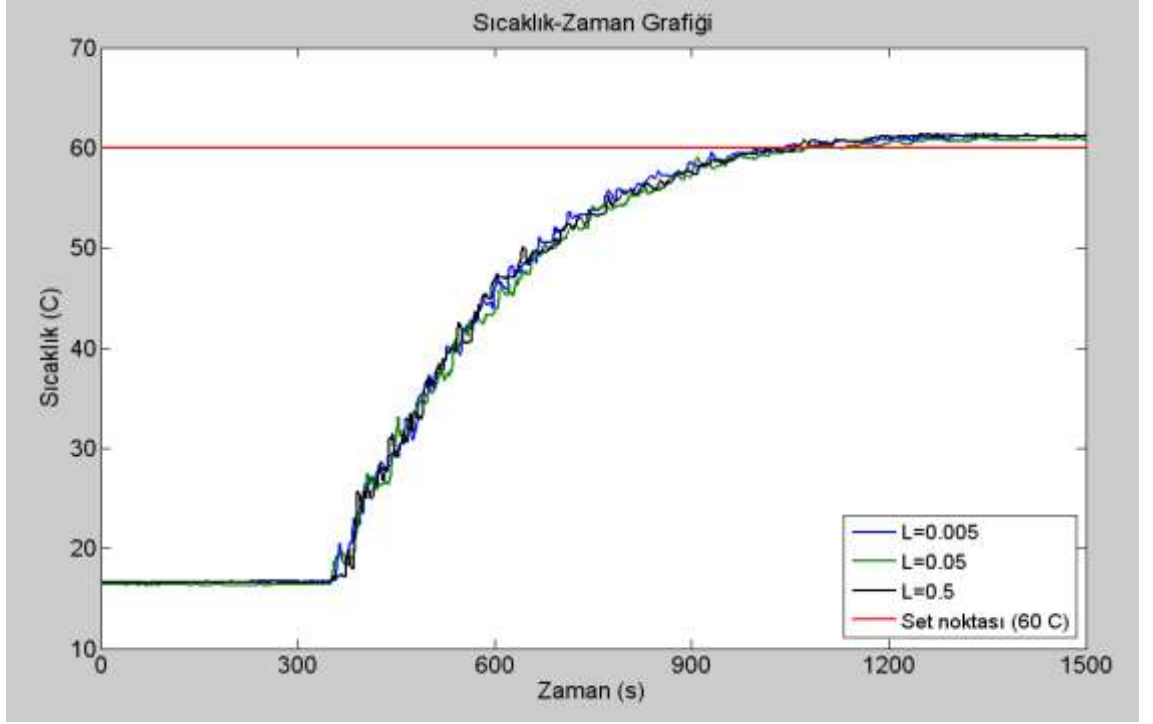
Şekil 5.55 $N_U=1$, $N_2=4$ ve $\lambda=0.001, 0.01, 0.1$ için sıcaklığın zamanla değişim grafiği



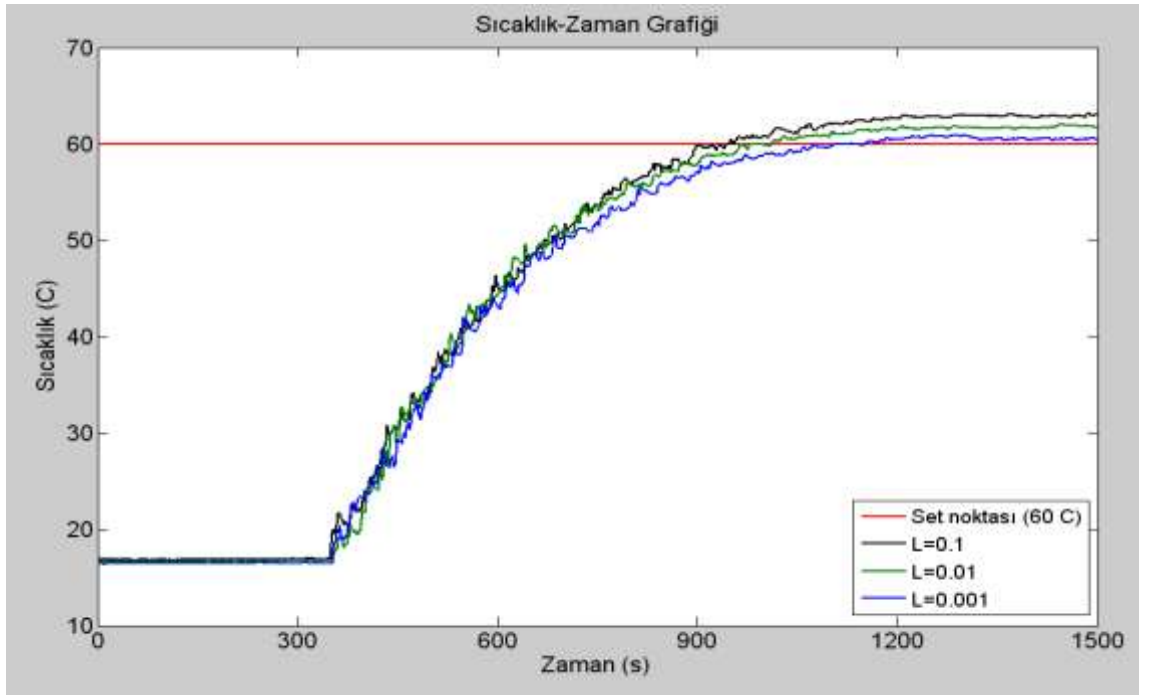
Şekil 5.56 $N_U=1$, $N_2=4$ ve $\lambda=0.005, 0.05, 0.5$ için sıcaklığın zamanla değişim grafiği



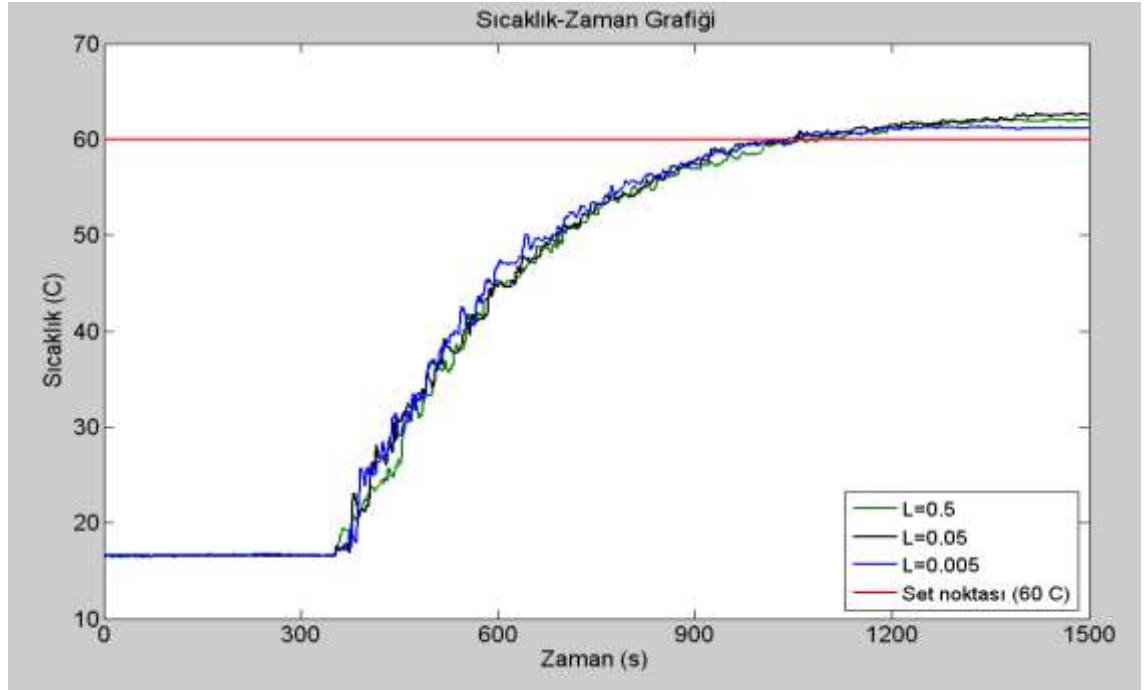
Şekil 5.57 $N_U=2$, $N_2=2$ ve $\lambda=0.001, 0.01, 0.1$ için sıcaklığın zamanla değişim grafiği



Şekil 5.58 $N_U=2$, $N_2=2$ ve $\lambda=0.005, 0.05, 0.5$ için sıcaklığın zamanla değişim grafiği



Şekil 5.59 $N_U=2$, $N_2=4$ ve $\lambda=0.001, 0.01, 0.1$ için sıcaklığın zamanla değişim grafiği



Şekil 5.60 $N_U=2$, $N_2=4$ ve $\lambda=0.005, 0.05, 0.5$ için sıcaklığın zamanla değişim grafiği

Çizelge 5.15 $T_{set}=60\text{ }^{\circ}\text{C}$ için hesaplanan ISE değerleri

	$\lambda = 0.001$	$\lambda = 0.005$	$\lambda = 0.01$	$\lambda = 0.05$	$\lambda = 0.1$	$\lambda = 0.5$
$N_u=1, N_2=2$	230608,73	238978,45	216372,58	229068,34	251189,2	255201,85
$N_u=1, N_2=4$	246643,91	245438,40	224396,82	226978,68	231434,14	251434,14
$N_u=2, N_2=2$	247277,42	248254,42	241464,77	236526,64	248487,98	252190,04
$N_u=2, N_2=4$	250241,19	257593,07	239987,66	243916,83	257283,73	258254,42

Çizelge 5.16 $T_{set}=60\text{ }^{\circ}\text{C}$ için hesaplanan IAE değerleri

	$\lambda = 0.001$	$\lambda = 0.005$	$\lambda = 0.01$	$\lambda = 0.05$	$\lambda = 0.1$	$\lambda = 0.5$
$N_u=1, N_2=2$	10026,00	10178,50	9285,60	9585,60	10295,00	10758,30
$N_u=1, N_2=4$	10197,50	10318,20	9473,00	9632,90	10417,70	10544,00
$N_u=2, N_2=2$	10178,50	10278,40	9697,20	9755,60	10471,40	10544,00
$N_u=2, N_2=4$	10300,70	10423,40	9897,20	9919,20	10398,50	10646,70

GPC algoritmasının kullanıldığı kablosuz sıcaklık kontrol deneylerinde, algoritmadaki N_U , N_2 ve λ parametreleri kullanılarak $N_U=1$ $N_2=2$, $N_U=1$ $N_2=4$, $N_U=2$ $N_2=2$ ve $N_U=2$ $N_2=4$ değerlerindeki $\lambda=0.001$, 0.005 , 0.01 , 0.05 , 0.1 , 0.5 değerleri için aynı koşullarda yapılan deneyler sonucunda ısıtıcı ve sıcaklık profillerinin zamanla değişimi gözlenmiştir. Buna göre yapılan tüm deneylerde, ısıtıcının %0 ve % 100 değerlerinde düzenli olarak açık-kapalı olarak çalıştığı gözlenmiştir. Elde edilen deneysel sonuçlarda, sıcaklık profilleri incelendiğinde genel olarak $N_U=1$ $N_2=2$ değerlerindeki deneysel sıcaklıkların $N_U=1$ $N_2=4$, $N_U=2$ $N_2=2$ ve $N_U=2$ $N_2=4$ değerlerine göre set noktasına daha yakın olduğu ve salınımın daha az olduğu görülmüştür. Ayrıca N_U ve N_2 değerlerinin arttırılmasıyla sıcaklıkların set noktasından uzaklaşmaya başladığı ve salınımların arttığı gözlenmiştir. $\lambda=0.001$, 0.005 , 0.01 , 0.05 , 0.1 , 0.5 değerleri için aynı koşullarda yapılan deneyler sonucunda en iyi sıcaklık kontrolünü sağlayan parametre değerleri ISE ve IAE değerleri kullanılarak belirlenmiştir. Buna göre yapılan deneylerde elde edilen sonuçlar kullanılarak hesaplanan ISE ve IAE değerlerinin verildiği çizelge 5.11-5.16 incelendiğinde en düşük ISE ve IAE değerleri $\lambda=0.01$ değerinde olduğu belirlenmiştir. Ayrıca bu çizelgeler incelendiğinde, $\lambda=0.01$ 'den düşük ve yüksek değerlerinde ISE ve IAE değerlerinin arttığı ve sıcaklığın set noktasından uzaklaştığı görülmektedir.

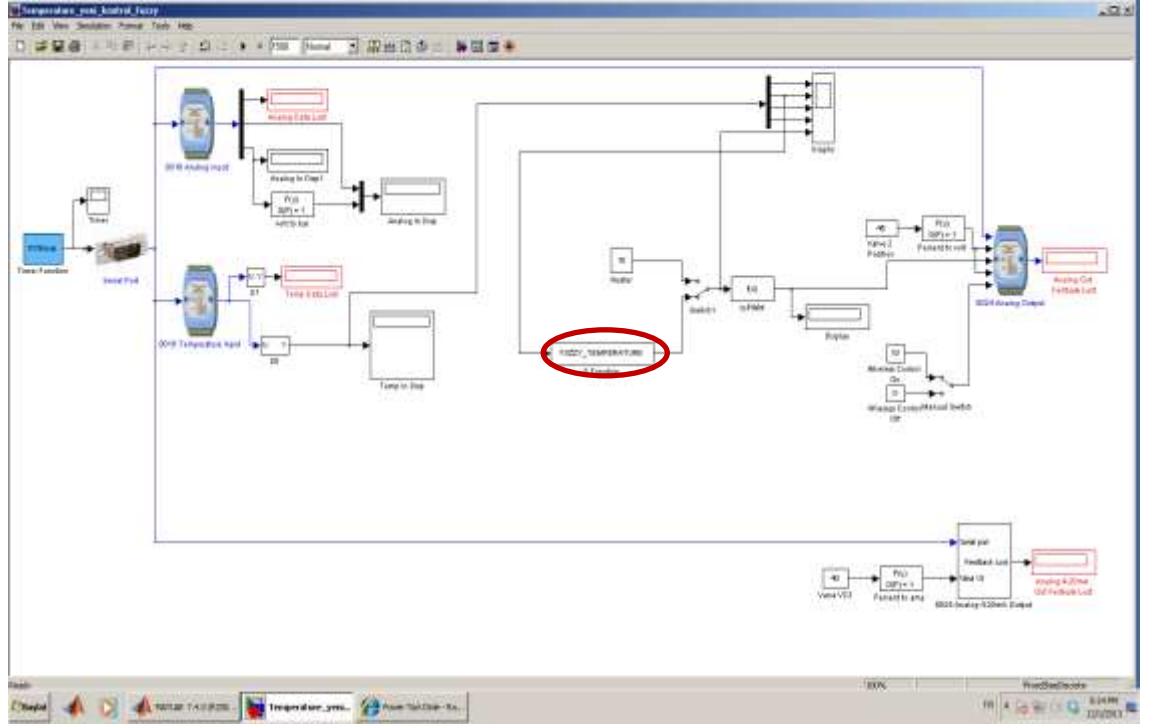
5.7 Fuzzy Kontrol Sonuçları

Fuzzy algoritmasının kullanıldığı kablosuz sıcaklık kontrol deneylerinde, algoritmadaki ULAR, YSETT, USETT, YSON, YSCAL ve USCAL parametrelerinin farklı değerleri için aynı koşullarda deneyler yapılmış ve en iyi sıcaklık kontrolünü sağlayan parametre değerleri belirlenmiştir. Fuzzy kontrol algoritmasında kullanılan parametreler ve bu parametrelerin işlevleri çizelge 5.17'de verilmiştir. Kablosuz sıcaklık kontrol deneylerinde başlangıçta ısıtıcı sabit %10 ısıtıcı açıklığı değerinde 300s çalıştırılarak sistemin yatışkın hale ulaştıktan sonra MATLAB/Simulink blok diyagramında bulunan kontrol anahtarı değiştirilmiş, böylece önceden kaydedilen Fuzzy kontrol algoritması devreye alınmış ve sıcaklığın zamanla değişimi izlenerek algoritmadaki parametrelerin kontrol üzerindeki etkisi gözlenmiştir. MATLAB ortamında m-file olarak hazırlanan Fuzzy kontrol algoritması EK 3'te verilmiştir. Kablosuz sıcaklık kontrol deneyinde

Fuzzy kontrol algoritmasının kullanıldığı MATLAB/Simulink blok diyagramı şekil 5.61’de verilmiştir. Fuzzy kontrol deneylerinde kullanılan algoritmanın performansı ve kullanılan kontrol katsayılarının etkinliklerinin değerlendirilmesi için tüm deneyler aynı koşullarda gerçekleştirilmiştir. Bunun için kontrol deneylerinden önce CV1 akış hızı kontrol vanası 2.5 l/dk olacak şekilde ayarlanır. CV2 sıvı seviye kontrol vanası %45 vana açıklığı değerinde ayarlanarak V2’deki sıvı seviyesinin sabitlenmesi sağlanmıştır. Farklı set noktaları için yapılan kablosuz sıcaklık deneylerinde elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

Çizelge 5.17 Fuzzy kontrol parametreleri ve işlevleri

Parametre	Kontrol algoritmasındaki işlevi
ULAR	Isıtıcı açıklığının sayısal değerleri
YSETT	Set sıcaklığının sayısaldeğeri
USETT	Isıtıcı açıklığının yatışkın koşul değeri
YSON	Set sıcaklığının pozitif ve negatıfsapma değeri
YSCAL	Set sıcaklığı değişiminin en büyük ve en küçük sayısal fark değeri
USCAL	Isıtıcı açıklığı değişiminin en büyük ve en küçük sayısal fark değeri



Şekil 5.61 Fuzzy sıcaklık kontrol deneyinin MATLAB/Simulink blok diyagramı

Fuzzy kontrol deneyleri için yapılan yaklaşımlar;

1. Fuzzy kontrol modeli 1. mertebeden kabul edilmiştir.
2. Üçgen tip fuzzy üyelik fonksiyonları kullanılmıştır.
3. Üçgen tip üyelik fonksiyonlarının simetrik olduğu kabul edilmiştir.
4. Bir girdi ve bir çıktı için üyelik fonksiyonlarının sayısı beş olarak seçilmiştir.
5. Herbir üyelik fonksiyonu için sol genişlik, sağ genişlik ve pikin konumu optimize edilecek parametreler olarak seçilmiştir.
6. Girdi ve çıktı için aynı üyelik fonksiyonu kümesi kullanılmış ancak bu değerler kontrol algoritmasında YSCAL ve USCAL değerleri ile çarpılarak skala ayarlaması yapılmıştır.

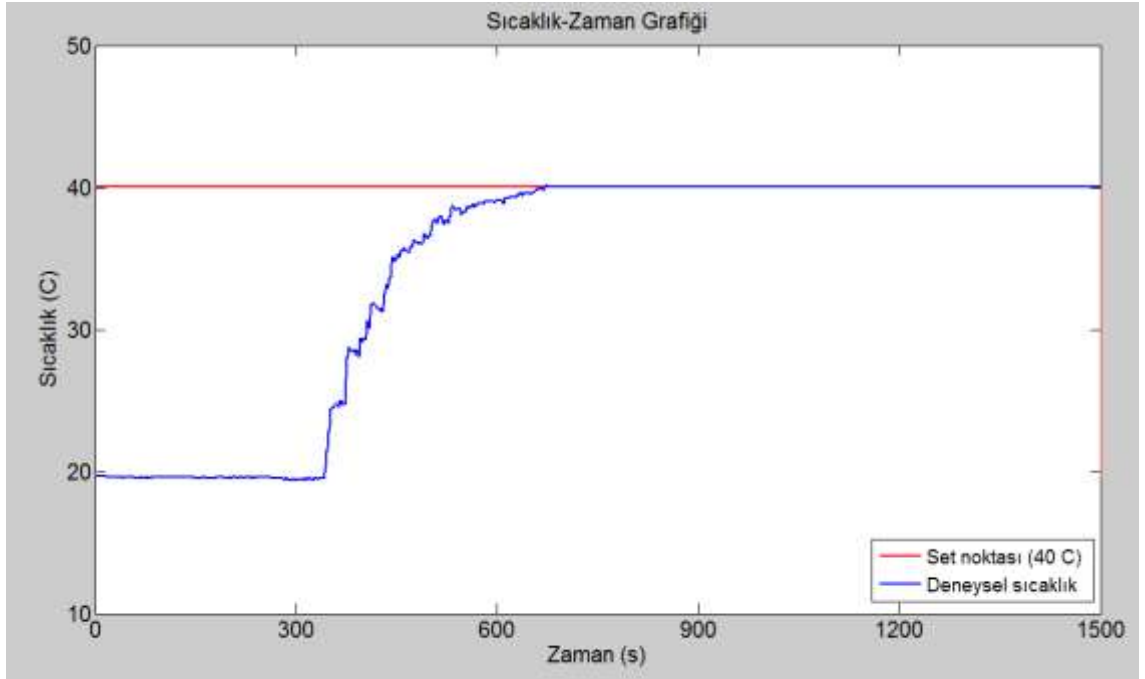
Ayarlanabilen değişken olan ısıtıcı % açıklığı ve çıkış değişkeni olan ısıtıcı çıkış sıcaklığı için hazırlanan üçgen tip ve simetrik olan üyelik fonksiyonları EK 4’de verilmiştir. Bu tez kapsamında gerçekleştirilen kablosuz fuzzy sıcaklık kontrol çalışmalarında kullanılan üç boyutlu (5x5x5) ilişki matrisi EK 5’te verilmiştir.

5.7.1 Tset=40 °C için Fuzzy kontrol deney sonuçları

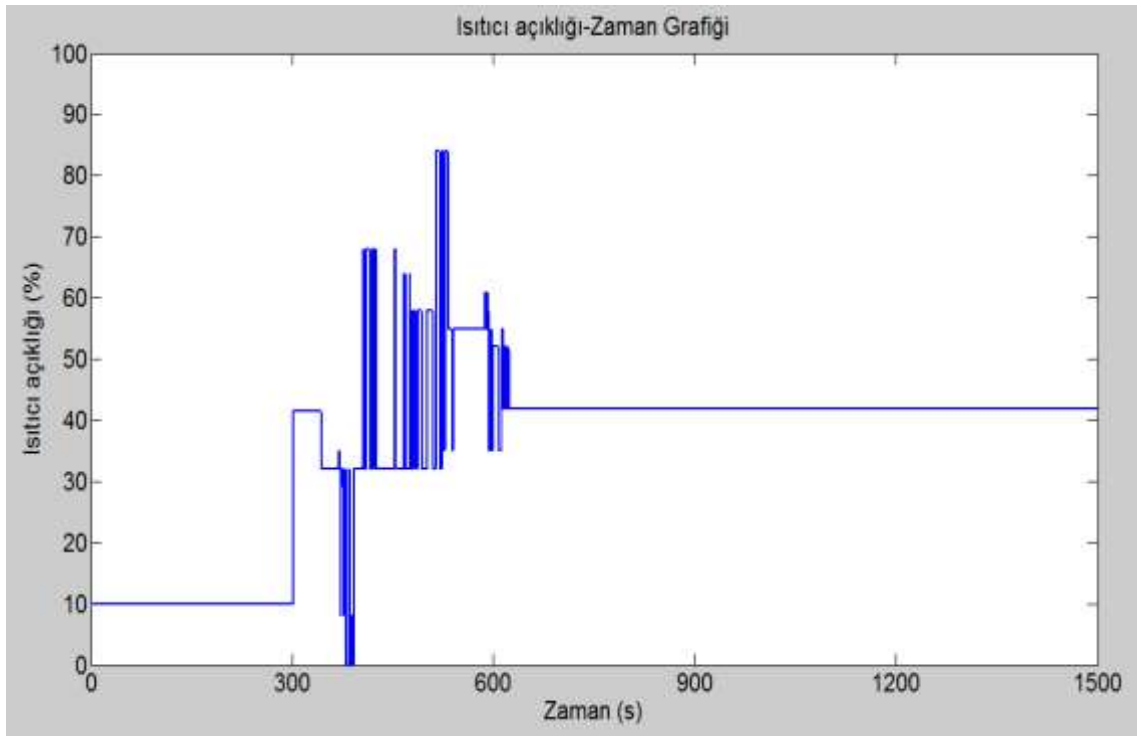
Fuzzy kontrol algoritmasında kullanılan parametrelerin Tset=40°C için belirlenen değerleri çizelge 5.18’de verilmiştir. Fuzzy kontrol deneyinde Tset=40°C için ısıtıcı açıklığının zamanla değişim grafiği şekil 5.62’de ve ısıtıcı açıklığına bağlı sıcaklığın zamanla değişim grafiği şekil 5.63’de verilmiştir.

Çizelge 5.18 Tset=40 °C için Fuzzy kontrol deney koşulları

Parametre	Değeri
ULAR	[0. 4. 8. 12. 16. 20. 23. 26. 29. 32. 35. 37. 38. 39.40. 40.5 41. 41.5 42. 42.5 43. 43.544. 45. 46. 47. 49.52. 55. 58. 61. 64. 68. 72. 76. 80. 84.]
YSETT	40.0 °C
USETT	42.0 %
YSON	40.2 °C
YSCAL	1.0 °C
USCAL	42.0 %



Şekil 5.62 Fuzzy kontrol deneyinde sıcaklığın zamanla değişim grafiği ($T_{set}=40^{\circ}\text{C}$)



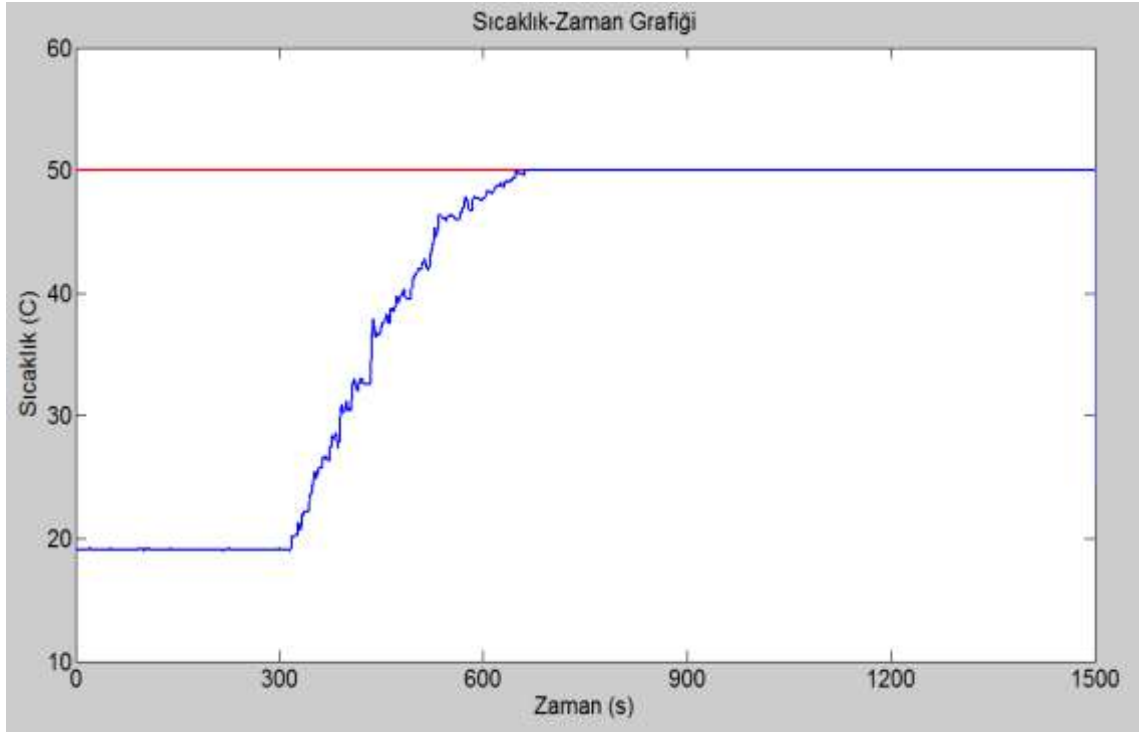
Şekil 5.63 Fuzzy kontrol deneyinde ısıtıcı açıklığı zamanla değişim grafiği ($T_{set}=40^{\circ}\text{C}$)

5.7.2 Tset=50 °C için Fuzzy kontrol deney sonuçları

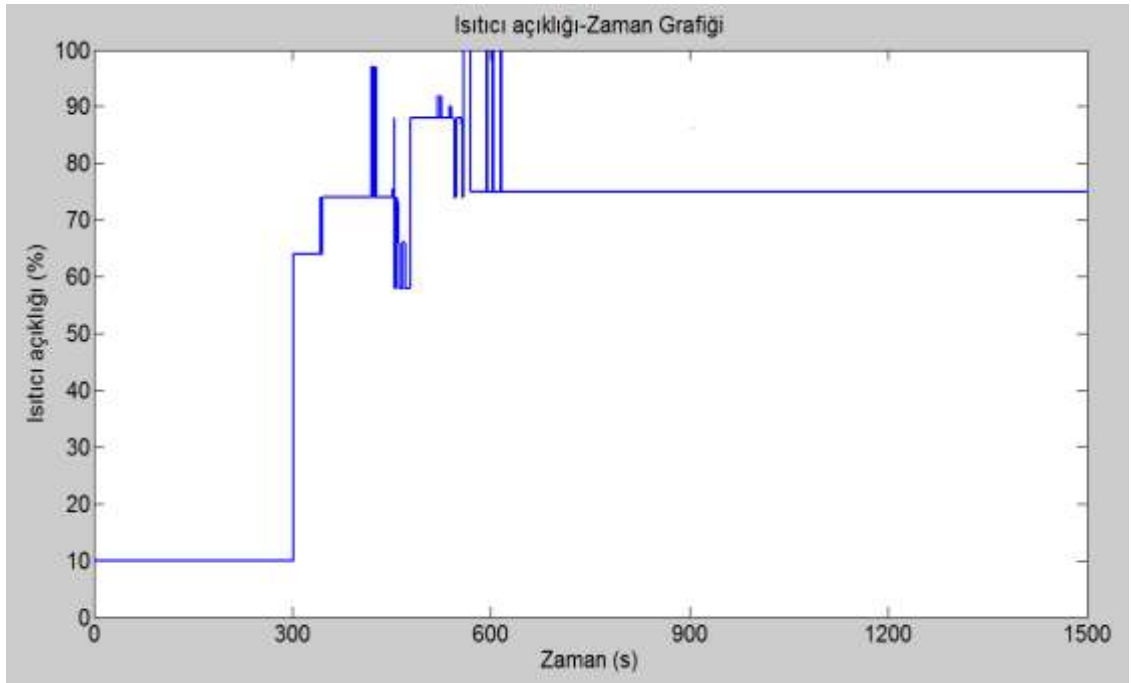
Fuzzy kontrol algoritmasında kullanılan parametrelerin Tset=50°C için belirlenen değerleri çizelge 5.19’da verilmiştir. Fuzzy kontrol deneyinde Tset=50°C için ısıtıcı açıklığının zamanla değişim grafiği şekil 5.64’de ve ısıtıcı açıklığına bağlı sıcaklığın zamanla değişim grafiği şekil 5.65’de verilmiştir.

Çizelge 5.19 Tset=50 °C için Fuzzy kontrol deney koşulları

Parametre	Değeri
ULAR	[58. 61. 64. 66. 68. 70. 71. 72. 73. 74. 75. 75.5 76. 76.5 77. 77.5 78. 78.5 79. 79.5 80. 80.5 81. 81.5 82 82.5 83. 84. 85. 86. 87. 88. 90. 92. 94. 97. 100.]
YSETT	50.0 °C
USETT	79.0 %
YSON	50.2 °C
YSCAL	1.0 °C
USCAL	21.0 %



Şekil 5.64 Fuzzy kontrol deneyinde sıcaklığın zamanla değişim grafiği ($T_{set}=50^{\circ}\text{C}$)



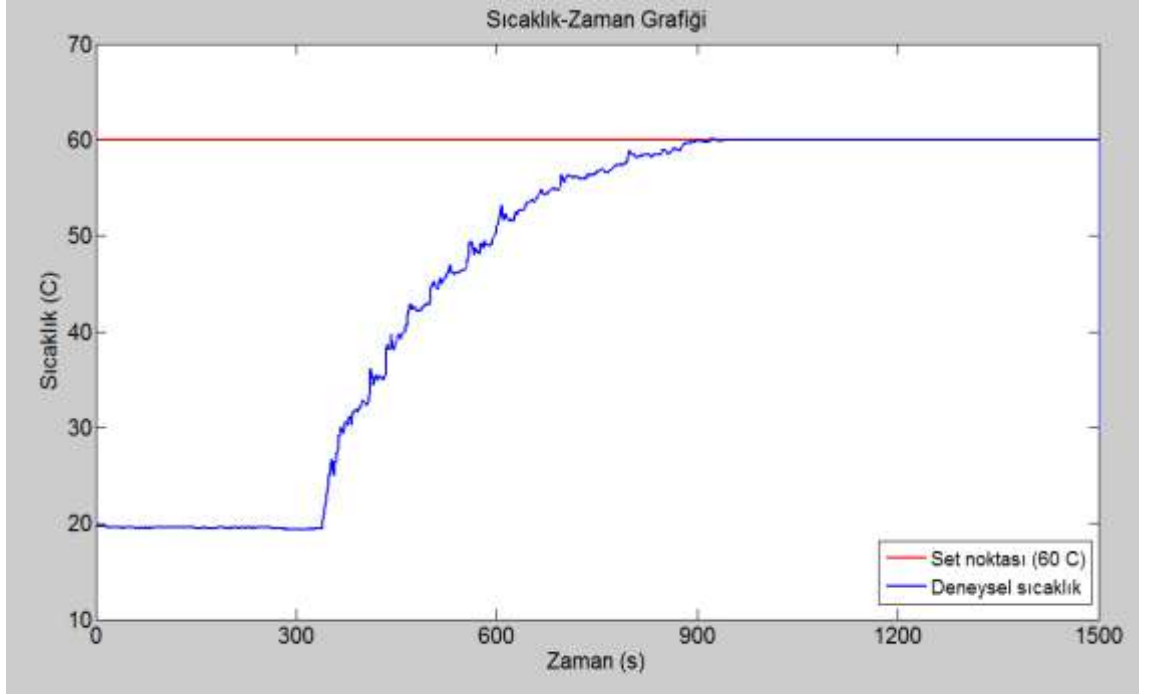
Şekil 5.65 Fuzzy kontrol deneyinde ısıtıcı açıklığı zamanla değişim grafiği ($T_{set}=50^{\circ}\text{C}$)

5.7.3 Tset=60 °C için Fuzzy kontrol deney sonuçları

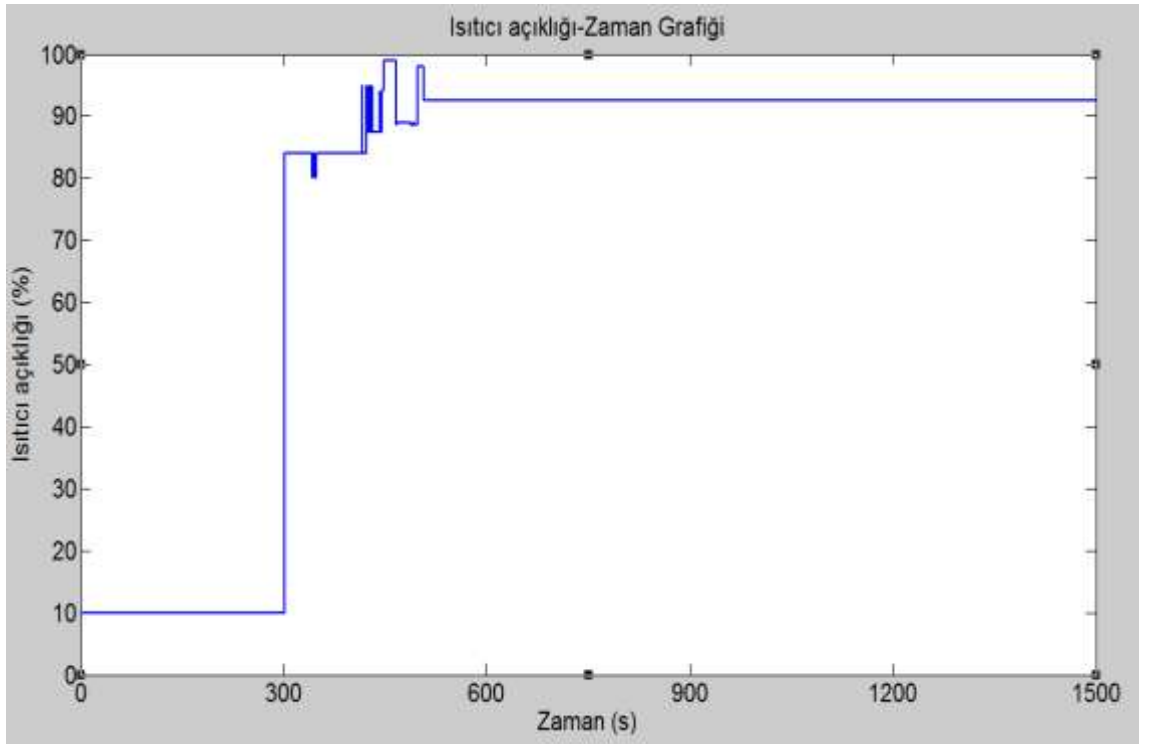
Fuzzy kontrol algoritmasında kullanılan parametrelerin Tset=60°C için belirlenen değerleri çizelge 5.20’de verilmiştir. Fuzzy kontrol deneyinde Tset=60°C için ısıtıcı açıklığının zamanla değişim grafiği şekil 5.66’da ve ısıtıcı açıklığına bağlı sıcaklığın zamanla değişim grafiği şekil 5.67’de verilmiştir.

Çizelge 5.20 Tset=60 °C için Fuzzy kontrol deney koşulları

Parametre	Değeri
ULAR	[80. 81. 82. 82.5 83. 83.5 84. 84.5 85. 85.5 86. 86.5 87. 87.5 88. 88.5 89. 89.5 90. 90.5 91. 91.5 92. 92.5 93 93.5 94. 94.5 95. 95.5 96. 96.5 97. 97.5 98. 99. 100.]
YSETT	60 °C
USETT	90.0 %
YSON	60.3 °C
YSCAL	1.0 °C
USCAL	10.0 %



Şekil 5.66 Fuzzy kontrol deneyinde sıcaklığın zamanla değişim grafiği ($T_{set}=60\text{ }^{\circ}\text{C}$)



Şekil 5.67 Fuzzy kontrol deneyinde ısıtıcı açıklığı zamanla değişim grafiği ($T_{set}=60\text{ }^{\circ}\text{C}$)

Çizelge 5.21 Fuzzy kontrol sonuçlarına göre hesaplanan ISE ve IAE değerleri

	ISE	IAE
Tset=40 °C	11980,86	1293,00
Tset=50 °C	48291,04	3035,20
Tset=60 °C	176791,50	8077,50

Fuzzy kontrol sonuçlarına göre hesaplanan ISE ve IAE değerleri çizelge 5.21’de verilmiştir. Fuzzy üyelik fonksiyonları genellikle deneme-yanılma işlemi ile belirlenmektedir. Yapılan çalışmada fuzzy üyelik fonksiyon sayısı giriş ve çıkış değişkenleri için beş olarak ve şekli de üçgen tip olarak belirlenmiştir. Fuzzy kontrol ile sıcaklık kontrol deneylerinde ayarlanabilen değişken (ısıtıcı açıklığı için hata değişimi) ve ölçülen değişken (sıcaklık için hata değişimi) için fuzzy üyelik fonksiyon kümeleri ve bunlara bağlı olarak ilişki matrisi belirlenmiştir. Belirlenen bu parametreler ve ilişki matrisi kullanılarak sistemin deneysel olarak fuzzy kontrolü gerçekleştirilmiştir. Fuzzy kontrol deney sonuçları incelendiğinde deneysel sıcaklıkların ayarlanabilen değişkenin davranışına bağlı olarak set noktasına başarıyla ulaştığı gözlenmiştir. Isıtıcı açıklığının Tset=40 °C için 650s’den sonra % 43 değerinde sabitlendiği, Tset=50 °C için 600s’den sonra %76 değerinde sabitlendiği, Tset=60 °C için 550s’den sonra %92 değerinde sabitlendiği gözlenmiştir. Farklı set noktaları için yapılan fuzzy kontrol deneyleri sonunda elde edilen sıcaklık profilleri incelendiğinde sıcaklığın istenilen set noktasına hızlı bir şekilde ulaştığı ve ısıtıcı açıklığının sabit değerdeki davranışına bağlı olarak herhangi bir salınım olmadığı gözlenmiştir. Fuzzy kontrol deney sonuçlarına göre hesaplanan ISE ve IAE değerlerinin GPC deneysonuçlarına göre hesaplanan ISE ve IAE değerleri ile karşılaştırıldığında fuzzy kontrol deney sonuçlarına göre hesaplanan ISE ve IAE değerlerinin daha küçük olduğu belirlenmiştir. Ayrıca deneysel sonuçlar incelendiğinde Fuzzy kontrol algoritmasında ayarlanabilen değişken değerlerinin ULAR olarak sisteme kaydedilen değerler arasından seçilmesi, ısıtıcı açıklığının istenilen aralıklarda çalışarak kontrol performansını arttırdığı görülmüştür. Elde edilen fuzzy kontrol sonuçlarının proseslerin kararlı ve sürekli işletimler için daha güvenilir ve uygulanabilir olduğu anlaşılmıştır.

6. TARTIŞMA VE SONUÇ

Yapılan çalışmada bir proses kontrol simülatöründe kablosuz sıcaklık ölçüm ve kontrolü başarıyla gerçekleştirilmiştir. Başlangıçta kablosuz deneylerin gerçekleştirilmesi için proses kontrol simülatöründe bazı değişiklikler yapılmış ve kablosuz veri alış-verişi için gerekli olan modüller ve antenler takılmıştır. Temel İşlemler laboratuvarındaki proses kontrol simülatörü ile proses kontrol laboratuvarında bulunan bilgisayar arasındaki kablosuz ölçüm ve kontrol deneylerinde, MATLAB/Simulink programında oluşturulan blok diyagramı on-line olarak kullanılmıştır. Kablosuz sıcaklık deneylerinde ayarlanabilen değişken olan ısıtıcı açıklığının davranışına göre çıkış değişkeni olan ısıtıcı çıkış sıcaklığının (T_2) değişimi gözlenmiştir. Kablosuz sıcaklık deneylerinde kullanılan yöntemlerin etkinliğini karşılaştırmak için tüm deneyler aynı koşullarda gerçekleştirilmiştir. Bunun için tüm deneylerden önce CV1 akış hızı kontrol vanası 2.5 l/dk olacak şekilde ayarlanır. CV2 sıvı seviye kontrol vanası %45 vana açıklığı değerinde ayarlanarak V2'deki sıvı seviyesinin sabitlenmesi sağlanmıştır.

Kablosuz sıcaklık deneylerinde öncelikle sistem dinamiğini incelemek amacıyla ısıtıcı açıklığına basamak, kare dalga ve PRBS şeklinde üç farklı etki verilmiş ve ısıtıcı çıkış sıcaklığının zamanla değişimi gözlenmiştir. Basamak etkinin uygulandığı dinamik hal deneyinde başlangıçta %10 ısıtıcı açıklığında 300s çalıştırılarak sıcaklığın yatışkın hale gelmesi beklenmiştir. Ardından ısıtıcı açıklığına 80 birimlik pozitif etki verilerek ısıtıcı açıklığının %90 olması sağlanmıştır. %10 ısıtıcı açıklığında 26.2°C 'de sabitlenen ısıtıcı çıkış sıcaklığı, basamak etki sonrasında artarak 58.6°C 'de sabitlendiği gözlenmiştir. Sisteme verilen basamak etki ile ısıtıcı çıkış sıcaklığı değerleri kullanılarak reaksiyon eğrisi elde edilmiş ve bu eğri yardımıyla ölü zaman 33s ve zaman sabiti 367s olarak belirlenmiştir.

PRBS etkinin uygulandığı dinamik hal deneyinde ısıtıcı çıkış sıcaklığının ısıtıcı açıklığına bağlı davranışının gözlenmesi amacıyla PRBS sinyalleri %10 ile %90 ısıtıcı açıklığına göre verilmiştir. Sistem başlangıçta %10 ısıtıcı açıklığında 300s çalıştırılarak sıcaklık yatışkın hale ulaştıktan sonra MATLAB/Simulink programındaki anahtar

PRBS bloğuna bağlanmış ve uygulanan ikili etkiye göre sıcaklık değişimleri gözlenmiştir. PRBS etki deney sonucuna göre ısıtıcı çıkış sıcaklığının 40 °C ile 45 °C arasında düzenli salınımlar yaptığı gözlenmiştir.

Kare dalga etkinin uygulandığı dinamik hal deneyinde blok diyagramında ısıtıcı açıklığının %10 ile %70 değerlerinde çalışması için ayarlanmıştır. Böylece sistemin düzenli olarak 60 birimlik pozitif ve negatif etkiler altında çalışması sağlanarak çıkış değişkeninin değişimi takip edilmiştir. Sistem başlangıçta %10 ısıtıcı açıklığında 300 s çalıştırılarak sıcaklık yatışkın hale ulaştıktan sonra uygulanan kare dalga etkiye bağlı olarak sıcaklığın 25°C ile 45°C arasında düzenli salınımlar yaptığı gözlenmiştir.

Sistem tanımlama için giriş değişkenine verilen basamak etki, PRBS etki ve kare dalga etki yukarıda belirtilen koşullarda uygulanmıştır. Sistem tanımlama deneylerinde ve daha sonra gerçekleştirilen kablosuz kontrol deneylerinde sistemin birinci mertebeden ölü zamanlı modele sahip olduğu varsayılmıştır. Bu amaçla giriş ve çıkış değişkenlerinin değerleri MATLAB System Identification Toolbox araç kutusuna işlenerek birinci mertebeden ölü zamanlı model katsayıları ve ARMAX model katsayıları belirlenmiştir. MATLAB System Identification Toolbox sonuçlarına göre sistemin ölü zaman değerleri basamak etkide 35.11s, kare dalga etkide 39.62s ve PRBS etkide 44.24s olarak ve zaman sabiti değerleri de basamak etkide 359.88s, kare dalga etkide 367.54s ve PRBS etkide 371.73s olarak belirlenmiştir. Bununla birlikte basamak etki, kare dalga etki ve PRBS etki uygulanan dinamik deney sonuçları kullanılarak MATLAB System Identification Toolbox sonuçlarına göre a_1 , a_2 , b_0 , b_1 , b_2 , c_1 ve c_2 ARMAX model katsayıları belirlenmiştir.

Kablosuz sıcaklık kontrol deneylerinde PID, GPC ve Fuzzy kontrol yöntemleri kullanılarak yapılmıştır. MATLAB programında m-file olarak hazırlanan PID kontrol, GPC kontrol ve Fuzzy kontrol algoritmalarına kontrol için gerekli olan parametrelerin değerleri belirlendikten sonra bu parametreler algoritmalara kaydedilmiş ve kontrol deneyleri gerçekleştirilmiştir. Sıcaklık kontrol deneylerinde başlangıçta ısıtıcı sabit %10 ısıtıcı açıklığında 300s çalıştırılarak sistem sıcaklığının yatışkın hale gelmesi

gözlenmiştir. 300s sonunda MATLAB/Simulink blok diyagramında bulunan kontrol anahtarı değiştirilerek daha önce kaydedilen kontrol algoritmaları devreye alınmış ve bu algoritmaların kontrol üzerindeki etkisi gözlenmiştir. Kablosuz sıcaklık kontrol deneylerinde kullanılan yöntemlerin etkinliğini karşılaştırmak için tüm deneyler aynı koşullarda gerçekleştirilmiştir. Kablosuz kontrol deneylerinde elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak kontrol yöntemlerinin etkinliği belirlenmiştir.

PID kontrol algoritmasının uygulandığı kablosuz sıcaklık kontrol deneylerinde algoritmadaki K_c , τ_I ve τ_D kontrol parametrelerinin Cohen-Coon ve Ziegler-Nichols yöntemleri ile bulunan değerleri kullanılarak aynı koşullarda deneyler yapılmıştır. Cohen-Coon ve Ziegler-Nichols yöntemleriyle kontrol parametrelerinin belirlenmesi için dinamik analiz deneylerinde sisteme uygulanan basamak etki sonucu hazırlanan reaksiyon eğrisinden elde edilen ölü zaman ve zaman sabiti değerleri kullanılmıştır. Cohen-Coon ve Ziegler-Nichols yöntemleriyle belirlenen kontrol parametreleri ile yapılan kontrol deneylerinden sonra deneme-yanılma yöntemi ile kontrol parametreleri değiştirilerek yapılan sıcaklık kontrol deneylerinde en iyi kontrol sağlayan parametreler belirlenmiştir. Kablosuz sıcaklık kontrol deneylerinde başlangıçta ısıtıcı sabit %10 ısıtıcı açıklığı değerinde 300 s çalıştırılarak sistemin yatışkın hale gelmesi beklenmiştir. 300s sonunda MATLAB/Simulink blok diyagramında bulunan kontrol anahtarı değiştirilerek daha önce kaydedilen kontrol algoritması devreye alınmış ve bu algoritmadaki parametrelerin kontrol üzerindeki etkisi gözlenmiştir.

Cohen-Coon yöntemi ile PID kontrol parametrelerinin değerleri K_c 37.7, τ_I 78.3 ve τ_D 11.8 olarak belirlenmiştir. Cohen-Coon yöntemi ile belirlenen PID kontrol katsayılarının kullanıldığı farklı set noktaları için yapılan deney sonuçları incelendiğinde genel olarak ısıtıcının başlangıçtan itibaren açık-kapalı şeklinde ve düzensiz çalıştığı gözlenmiştir. $T_{set}=40^\circ\text{C}$ için ısıtıcı açıklığının düzensiz olarak çalıştığı ve buna bağlı olarak sıcaklık kontrolünde salınımlara neden olduğu gözlenmiştir. $T_{set}=50^\circ\text{C}$ ve $T_{set}=60^\circ\text{C}$ için ısıtıcı açıklığının açık-kapalı şeklindeki hareketlerinin giderek sıklaştığı ancak $T_{set}=50^\circ\text{C}$ ve $T_{set}=60^\circ\text{C}$ için istenilen sıcaklıklara ulaşamadığı gözlenmiştir. DeneySEL sonuçlara göre Cohen-Coon yöntemi ile bulunan PID katsayılarının kullanıldığı sıcaklık

kontrolünün istenilen performansı göstermediği ve bu katsayıların sıcaklık kontrolü için uygun olmadığı belirlenmiştir.

Ziegler-Nichols yöntemi ile PID kontrol parametrelerinin değerleri K_c 0.412, τ_I 66.0 ve τ_D 16.5 olarak belirlenmiştir. Ziegler-Nichols yöntemi ile belirlenen PID kontrol katsayılarının kullanıldığı farklı set noktaları için yapılan deney sonuçları incelendiğinde $T_{set}=40^\circ\text{C}$ için ısıtıcı açıklığının başlangıçta %10'dan %45'e 35 birimlik ani bir artıştan sonra çok küçük salınımlarla %60 değerine ulaşarak bu değerde sabitlendiği gözlenmiştir. Isıtıcı açıklığına bağlı olarak sıcaklığın düzenli olarak artarak 41°C 'de sabitlendiği gözlenmiştir. $T_{set}=50^\circ\text{C}$ için ısıtıcı açıklığının başlangıçta %10'dan %65'e 55 birimlik ani bir artıştan sonra çok küçük salınımlarla %86 değerine ulaşarak bu değerde sabitlendiği gözlenmiştir. Isıtıcı açıklığına bağlı olarak sıcaklığın düzenli olarak artarak 51°C 'de sabitlendiği gözlenmiştir. $T_{set}=60^\circ\text{C}$ için ısıtıcı açıklığının başlangıçta %10'dan %85'e 75 birimlik ani bir artıştan sonra çok küçük salınımlarla %98 değerine ulaşarak bu değerde sabitlendiği gözlenmiştir. Isıtıcı açıklığına bağlı olarak sıcaklığın düzenli olarak artarak 61°C 'de sabitlendiği gözlenmiştir. Deneysel sonuçlara göre Ziegler-Nichols yöntemi ile bulunan PID katsayılarının kullanıldığı sıcaklık kontrolünde sıcaklıkların istenilen set sıcaklıklarına ulaşarak bu sıcaklıklardan 1°C 'lik offset olduğu belirlenmiştir.

Deneme-yanılma yöntemi ile sıcaklık kontrol deneylerinde en iyi kontrol sağlayan parametrelerin değerleri K_c 0.21, τ_I 20.0 ve τ_D 4.5 olarak belirlenmiştir. Deneme-yanılma yöntemi ile belirlenen PID kontrol katsayılarının kullanıldığı farklı set noktaları için yapılan deney sonuçları incelendiğinde $T_{set}=40^\circ\text{C}$ için ısıtıcı açıklığının başlangıçta %10'dan %40'e 30 birimlik ani bir artıştan sonra çok küçük salınımlarla %59 değerine ulaşarak bu değerde sabitlendiği gözlenmiştir. Isıtıcı açıklığına bağlı olarak sıcaklığın düzenli olarak artarak 40°C 'de sabitlendiği gözlenmiştir. $T_{set}=50^\circ\text{C}$ için ısıtıcı açıklığının başlangıçta %10'dan %55'e 45 birimlik ani bir artıştan sonra çok küçük salınımlarla %83 değerine ulaşarak bu değerde sabitlendiği gözlenmiştir. Isıtıcı açıklığına bağlı olarak sıcaklığın düzenli olarak artarak 50°C 'de sabitlendiği gözlenmiştir. $T_{set}=60^\circ\text{C}$ için ısıtıcı açıklığının başlangıçta %10'dan %65'e 55 birimlik ani bir artıştan sonra çok küçük salınımlarla %94 değerine ulaşarak bu değerde

sabitlendiği gözlenmiştir. Isıtıcı açıklığına bağlı olarak sıcaklığın düzenli olarak artarak 60°C’de sabitlendiği gözlenmiştir. Deneysel sonuçlara göre deneme-yanılmayöntemi ile bulunan PID katsayılarının kullanıldığı sıcaklık kontrolünde sıcaklıkların istenilen set sıcaklıklarına ulaşarak bu sıcaklıklardaki kontrol başarıyla sağlanmıştır.

GPC kontrol algoritmasındaki ayar parametresi olan λ , N_2 , N_U katsayılarının farklı değerlerinde kontrol çalışması yapılarak sıcaklığın zamanla değişimi incelenmiştir. GPC algoritmasının kullanıldığı kablosuz sıcaklık kontrol deneylerinde yapılan ön denemelerde, algortmada kullanılan herhangi bir N_U ve N_2 değerinde, λ ’nın 1’den büyük tüm değerlerinde ısıtıcının kontrol dışı davranarak çok büyük salınımlar yaptığı ve buna bağlı olarak sıcaklığında çok büyük salınımlar yaptığı görülmüştür. Bu nedenle GPC kontrol deneyleri, λ ’nın 1’den küçük değerlerinde gerçekleştirilmiştir. GPC algoritmasının kullanıldığı kablosuz sıcaklık kontrol deneylerinde, algortmadaki N_U , N_2 ve λ parametreleri kullanılarak $N_U=1$ $N_2=2$, $N_U=1$ $N_2=4$, $N_U=2$ $N_2=2$ ve $N_U=2$ $N_2=4$ değerlerindeki $\lambda=0.001$, 0.005 , 0.01 , 0.05 , 0.1 , 0.5 değerleri için aynı koşullarda yapılan deneyler sonucunda ısıtıcı ve sıcaklık profillerinin zamanla değişimi gözlenmiştir. Buna göre yapılan tüm deneylerde, ısıtıcının %0 ve % 100 değerlerinde düzenli olarak açık-kapalı olarak çalıştığı gözlenmiştir. Elde edilen deneysel sonuçlarda, sıcaklık profilleri incelendiğinde genel olarak $N_U=1$ $N_2=2$ değerlerindeki deneysel sıcaklıkların $N_U=1$ $N_2=4$, $N_U=2$ $N_2=2$ ve $N_U=2$ $N_2=4$ değerlerine göre set noktasına daha yakın olduğu ve salınının daha az olduğu görülmüştür. Ayrıca N_U ve N_2 değerlerinin artırılmasıyla sıcaklıkların set noktasından uzaklaşmaya başladığı ve salınımların arttığı gözlenmiştir. $\lambda=0.001$, 0.005 , 0.01 , 0.05 , 0.1 , 0.5 değerleri için aynı koşullarda yapılan deneyler sonucunda en iyi sıcaklık kontrolünü sağlayan parametre değerleri ISE ve IAE değerleri kullanılarak belirlenmiştir. Buna göre yapılan deneylerde elde edilen sonuçlar kullanılarak hesaplanan ISE ve IAE değerlerinin verildiği çizelge 5.12-5.17 incelendiğinde en düşük ISE ve IAE değerleri $\lambda=0.01$ değerinde olduğu belirlenmiştir. Ayrıca bu çizelgelerde $\lambda=0.01$ ’den düşük ve yüksek değerlerde ISE ve IAE değerlerinin arttığı ve sıcaklığın set noktasından uzaklaştığı görülmektedir.

Fuzzy kontrol deney sonuçları incelendiğinde deneysel sıcaklıkların ayarlanabilen değişkenin davranışına bağlı olarak set noktasına başarıyla ulaştığı gözlenmiştir. Isıtıcı

açıklığının $T_{set}=40\text{ }^{\circ}\text{C}$ için 650s'den sonra % 43 değerinde sabitlendiği, $T_{set}=50\text{ }^{\circ}\text{C}$ için 600s'den sonra %76 değerinde sabitlendiği, $T_{set}=60\text{ }^{\circ}\text{C}$ için 550s'den sonra %92 değerinde sabitlendiği gözlenmiştir. Farklı set noktaları için yapılan fuzzy kontrol deneyleri sonunda elde edilen sıcaklık profilleri incelendiğinde sıcaklığın istenilen set noktasına hızlı bir şekilde ulaştığı ve ısıtıcı açıklığının sabit değerdeki davranışına bağlı olarak herhangi bir salınım olmadığı gözlenmiştir. Fuzzy kontrol deney sonuçlarına göre hesaplanan ISE ve IAE değerlerinin GPC deney sonuçlarına göre hesaplanan ISE ve IAE değerleri ile karşılaştırıldığında fuzzy kontrol deney sonuçlarına göre hesaplanan ISE ve IAE değerlerinin daha küçük olduğu belirlenmiştir. Ayrıca deneysel sonuçlar incelendiğinde fuzzy kontrol algoritmasında ayarlanabilen değişken değerlerinin ULAR olarak sisteme kaydedilen değerler arasından seçilmesi, ısıtıcı açıklığının istenilen aralıklarda çalışarak kontrol performansını arttırdığı görülmüştür. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde, fuzzy tip kontrol ediciler, GPC ve PID kontrol ediciler ile karşılaştırıldığında sıcaklığın daha erken yatışkın hale geldiği belirlenmiştir. Elde edilen fuzzy kontrol sonuçlarının proseslerin kararlı ve sürekli işletimler için daha güvenilir ve uygulanabilir olduğu anlaşılmıştır. Endüstriyel proseslerin çoğu karmaşık yapıda, çok girdi-çok çıktı değişkenlerine sahiptir ve bu değişkenler arasındaki ilişkiler genellikle doğrusal değildir ve bu ilişkilerin belirlenmesi oldukça zordur. Fuzzy kontrol edicileri oluşturan yapısal ve ayar parametrelerinin belirlenmesi için prosesin kendine özgü özellikleri ve tasarımcının deneyimleri kullanılmaktadır. Bu nedenle fuzzy kontrol ediciler birçok prosesin kontrolünde başarılı bir şekilde uygulanmıştır.

Kablosuz iletişim yönteminin, kablolu iletişime göre kurulumun kolay ve hızlı olması, kurulum, bakım ve onarım maliyetinin düşük olması, kablosuz iletişim cihazlarının taşınabilir olması gibi üstünlükleri bulunmaktadır. Bu çalışmada elde edilen en önemli sonuç, kablosuz iletişim yönteminin proses ölçüm ve kontrolünde de başarılı olmasıdır. Elde edilen deneysel sonuçlara dayanarak, kablosuz kontrol sistemlerinin geliştirilerek endüstriyel uygulamaların yaygınlaşması ile kablolu kontrol sistemlerine alternatif olarak kullanılabilirliğini göstermektedir. Ayrıca yakın gelecekte birçok prosesin evden yönetilebileceği düşünüldüğünde trafik, çevre kirliliği ve insan yoğunluğunun azalmasının yanında insanları rutin işlerden kurtararak, boş zamanlarını arttıracakı kesindir.

KAYNAKLAR

- Altındış, A. 2006. MATLAB ve Genel Uygulamaları, Değişim Yayınları, Sakarya.
- Altınten, A.2001. Genetik Algoritma Kullanılarak Fuzzy Kontrol Yöntemi ile Bir Stiren Polimerizasyon Reaktörünün Kontrolü. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 220s., Ankara.
- Altınten, A. 2007. Generalized Predictive Control Applied to a pH Neutralization Process. Computers and Chemical Engineering, 31, 1199-1204.
- Babuska, R., Braake, H.A.B., Can, H.J.L., Krijgsman, A.J. and Verbruggen, H.B., 1996. Comparison of Intelligent Control Schemes for Real-Time Pressure Control, Control Eng.,Practice, Vol.4, No.11, 1585-1592.
- Bequette, B. 2003. Process Control:Modelling, Design and Simulation, PTR. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ .
- Capella, J. V., Bonastre, A., Ors,R. and Peris, M., 2010. A Wireless Sensor Network Approach for Distributed In-Line Chemical Analysis of Water. Talanta, 80, 1789–1798.
- Caro, D. 2008. Wireless Networks for Industrial Automation, ISA-The Instrumentation, Systems and Automation Society, 2nd Edition.
- Chen, D., Nixon, M., Aneweer, T., Shepard, R. and Mok, A. 2004. Middleware for Wireless Process Control Systems, Wacerts.
- Clarke, D.M., Mohtadi, C. and Tuffs, P.S. 1987. Generalized Predictive Control, Part I. The Basic Algorithm. Automatica, 23(2), 137-148.
- Clarke, D.M., Mohtadi, C. and Tuffs, P.S. 1987. Generalized Predictive Control, Part II. Extensions and Interpretations. Automatica, 23(2), 149-160.
- Cohen, G.H. and Coon, G.A. 1953. Theoretical Considerations of Retarded Control, Trans. ASME, 75, 827.
- Driankov, D., Hellendoorn, H. and Reinfrank, M., 1993. An Introduction to Fuzzy Control. Springer, New York.
- Engell, S. and Heckenthaler, T. 1995. Fuzzy Control: An Alternative to Model-Based Control, Methods of Model Based Process Control, Springer, 755-773.
- Etter, D. M. 1996. Introduction to MATLAB for Engineers and Scientists, Prentice Hall, New York.

- Graham, B. P. and Newell, R. B. 1989. Fuzzy Adaptive Control of A First-Order Process, *Fuzzy Sets and Systems*, 31(1), 47-65.
- Holmblad, L.P. and Østergaard, J. J. 1982. Control of a cement kiln by fuzzy logic, *Fuzzy Information and Decision Processes*, 389-400.
- İnan, A. 2012. MATLAB Kılavuzu, Grafik, Programlama, Matematik ve Mühendislik Uygulamaları. Papatya Yayıncılık, İstanbul.
- Jackson, T., Mansfield, K., Saafi, M., Colman, T. and Romine, P. 2008. Measuring Soil Temperature and Moisture Using Wireless MEMS Sensors. *Measurement*, 41, 381–390.
- Jantzen, J., 2007. *Foundations of Fuzzy Control*, John Wiley & Sons, Chichester.
- Jiangin, C. and Larjiu, C. 1993. Study on stability of fuzzy closed-loop control systems. *Fuzzy Sets and Systems* 57, 159-168.
- Kickert, W.J.M. and Lemke, H.R. 1976. Application of a Fuzzy Controller in a Warm Water Plant, *Automatica*, 12(4), 301-308.
- Leung, D., 2006. Real-Time MPC Supervisory System, *Computers and Chemical Engineering*, 24, 285-290.
- Ljung, L., 1987. *System Identification: Theory for the User*, Prentice Hall, New York.
- Luyben, W.L. 1990. *Process Modelling, Simulation and Control for Chemical Engineering*. Mc Graw-Hill, New York.
- Mendi, F. Boran, K. and Kulkeci, M.K., 2002. Fuzzy Controlled Central Heating System. *International Journal of Energy Research*, 2, 1313-1321.
- Michels, K. 1997. A Model Based Fuzzy Controller. *Fuzzy Sets and Systems*, 85, 223-232.
- Murari, A. and Lotto, L., 2004. Wireless Communication Using Detectors Located Inside Vacuum Chambers. *Vacuum*, 72, 149–155.
- Newell, R.B. and Lee, P.L. 1998. *Applied Process Control*. Prentice Hall, New York, 97-111.
- Palm, R. Driankov, D. and Hellendoorn, H. 1996. *Model Based Fuzzy Control*. Springer, New York.
- Precup, R.E. and Hellendoorn, H. 2011. A Survey on Industrial Applications of Fuzzy Control. *Computers in Industry*, 62, 213-226.

- Ramirez, W. F., 1993. Process Control and Identification. McGraw-Hill, New York.
- Shahian, B. and Hassul, M. 1993. Control System Design Using MATLAB. Prentice Hall, New York.
- Sheikhzadeh, M., Trifkovic, M., Rohani, S., 2008. Real-Time Optimal Control of an Anti-Solvent Isothermal Semi-Batch Crystallization Process. Chemical Engineering Science, 63(3), 829-839.
- Soderström, T. and Stoica, P. 1989. System Identification. Prentice Hall, New York.
- Song, J. Mok, A., Chen, D., Nixon, M., 2004. Challenges of Wireless Control in Process Industry. Wacerts.
- Stephanopoulos, G. 1984. Chemical Process Control. Prentice Hall, New Jersey.
- Sugeno, M. 1985. Industrial applications of fuzzy control; Elsevier Science. First Edition, Netherlands.
- Uzunoğlu, M., Kızıl, A., Onar, Ö. Ç. 2003. Her Yönü ile MATLAB®. Türkmen Kitabevi. İstanbul.
- Woodard, S.E. and Taylor, B.D. 2007. A Wireless Fluid-Level Measurement Technique. Sensors and Actuators, 137, 268–278.
- Yüksel, İ. 1996. MATLAB® ile Mühendislik Sistemlerinin Analizi ve Çözümü. Ceylan Matbaacılık. Bursa.
- Zadeh, L. A. 1965. Fuzzy Sets. Information and Control, 8(3), 338-353.
- Zeybek, Z. 1997. Fuzzy ve neural network yöntemleri ile kimyasal proseslerin modellenmesi ve Kontrolü. Doktora tezi, Ankara Üniversitesi, Ankara.
- Ziegler, J.G. and Nichols, N.B. 1942. Optimum Settings for Automatic Controllers. Trans.ASME, 64, 759.
- Zupancic, B. 1998. Extension Software for Real-Time Control System Design and Implementation With MATLAB-Simulink. Simulation Practice and Theory, 6, 703-719.

EKLER

EK 1 PID Kontrol Algoritması

EK 2 GPC Kontrol Algoritması

EK 3 Fuzzy Kontrol Algoritması

EK 4 Fuzzy Kontrolde Değişken Hataları için Üyelik Fonksiyon Kümeleri

EK 5 Fuzzy Kontrolde Kullanılan İlişki Matrisi

EK 1 PID Kontrol Algoritması

```

function [sys,x0,str,ts] = Cont_Model_Temp(t,x,u,flag)
%SFUNTMPL General M-file S-function template
%   With M-file S-functions, you can define you own ordinary
differential
%   equations (ODEs), discrete system equations, and/or just about
%   any type of algorithm to be used within a Simulink block diagram.
%
%   The general form of an M-File S-function syntax is:
%       [SYS,X0,STR,TS] = SFUNC(T,X,U,FLAG,P1,...,Pn)
%
%   What is returned by SFUNC at a given point in time, T, depends on
the
%   value of the FLAG, the current state vector, X, and the current
input vector, U.
%
%   FLAG      RESULT      DESCRIPTION
%   -----
%   0          [SIZES,X0,STR,TS]  Initialization, return system sizes in
SYS,
%                                   initial state in X0, state ordering
strings
%                                   in STR, and sample times in TS.
%   1          DX            Return continuous state derivatives in
SYS.
%   2          DS            Update discrete states SYS = X(n+1)
%   3          Y             Return outputs in SYS.
%   4          TNEXT         Return next time hit for variable step
sample
%                                   time in SYS.
%   5                                     Reserved for future (root finding).
%   9          []            Termination, perform any cleanup SYS=[].
%
%
%   The state vectors, X and X0 consists of continuous states followed
%   by discrete states.
%
%   Optional parameters, P1,...,Pn can be provided to the S-function
and
%   used during any FLAG operation.
%
%   When SFUNC is called with FLAG = 0, the following information
%   should be returned:
%
%       SYS(1) = Number of continuous states.
%       SYS(2) = Number of discrete states.
%       SYS(3) = Number of outputs.
%       SYS(4) = Number of inputs.
%               Any of the first four elements in SYS can be specified
%               as -1 indicating that they are dynamically sized. The
%               actual length for all other flags will be equal to the
%               length of the input, U.
%       SYS(5) = Reserved for root finding. Must be zero.
%       SYS(6) = Direct feedthrough flag (1=yes, 0=no). The s-function
%               has direct feedthrough if U is used during the FLAG=3

```

```

%           call. Setting this to 0 is akin to making a promise
that
%           U will not be used during FLAG=3. If you break the
promise
%           then unpredictable results will occur.
% SYS(7) = Number of sample times. This is the number of rows in TS.
%
%
% X0       = Initial state conditions or [] if no states.
%
% STR      = State ordering strings which is generally specified as [].
%
% TS       = An m-by-2 matrix containing the sample time
%           (period, offset) information. Where m = number of
sample
%           times. The ordering of the sample times must be:
%
% TS = [0      0,      : Continuous sample time.
%       0      1,      : Continuous, but fixed in minor step
%                       sample time.
%       PERIOD OFFSET, : Discrete sample time where
%                       PERIOD > 0 & OFFSET < PERIOD.
%       -2      0];     : Variable step discrete sample time
%       where FLAG=4 is used to get time of
%                       next hit.
%
%
%           There can be more than one sample time providing
%           they are ordered such that they are monotonically
%           increasing. Only the needed sample times should be
%           specified in TS. When specifying than one
%           sample time, you must check for sample hits explicitly
by
%           seeing if
%           abs(round((T-OFFSET)/PERIOD) - (T-OFFSET)/PERIOD)
%           is within a specified tolerance, generally 1e-8. This
%           tolerance is dependent upon your model's sampling
times
%           and simulation time.
%
%           You can also specify that the sample time of the S-
function
%           is inherited from the driving block. For functions
which
%           change during minor steps, this is done by
%           specifying SYS(7) = 1 and TS = [-1 0]. For functions
which
%           are held during minor steps, this is done by
specifying
%           SYS(7) = 1 and TS = [-1 1].

% Copyright 1990-2002 The MathWorks, Inc.
% $Revision: 1.18 $

%
% The following outlines the general structure of an S-function.
%
switch flag,

```

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% Initialization %
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
case 0,
    [sys,x0,str,ts]=mdlInitializeSizes;

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% Derivatives %
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
case 1,
    sys=mdlDerivatives(t,x,u);

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% Update %
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
case 2,
    sys=mdlUpdate(t,x,u);

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% Outputs %
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
case 3,
    sys=mdlOutputs(t,x,u);

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% GetTimeOfNextVarHit %
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
case 4,
    sys=mdlGetTimeOfNextVarHit(t,x,u);

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% Terminate %
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
case 9,
    sys=mdlTerminate(t,x,u);

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% Unexpected flags %
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
otherwise
    error(['Unhandled flag = ',num2str(flag)]);

end

% end sfuntmpl

%
%=====
%
% mdlInitializeSizes
% Return the sizes, initial conditions, and sample times for the S-
% function.
%=====
%
function [sys,x0,str,ts]=mdlInitializeSizes

```

```

%
% call simsizes for a sizes structure, fill it in and convert it to a
% sizes array.
%
% Note that in this example, the values are hard coded. This is not a
% recommended practice as the characteristics of the block are
typically
% defined by the S-function parameters.
%
sizes = simsizes;

sizes.NumContStates = 0;
sizes.NumDiscStates = 7;
sizes.NumOutputs = 7;
sizes.NumInputs = 2;
sizes.DirFeedthrough = 1;
sizes.NumSampleTimes = 1; % at least one sample time is needed

sys = simsizes(sizes);

%
% initialize the initial conditions
%
x0 = [0 0 0 0 0 0 0];

%
% str is always an empty matrix
%
str = [];

%
% initialize the array of sample times
%
% ts = [-2 0]; % Variable sample time
ts = [-1 0]; % Inherited sample time
% ts = [0 0]; % continuous sample time

% end mdlInitializeSizes

%
%=====
%
% mdlDerivatives
% Return the derivatives for the continuous states.
%=====
%
function sys=mdlDerivatives(t,x,u)

sys = [];

% end mdlDerivatives

%
%=====
%
% mdlUpdate

```



```

% Return the block outputs.
%=====
=====
%
function sys=mdlOutputs(t,x,u)

sys(1) = x(1);
sys(2) = x(2);
sys(3) = x(3);
sys(4) = x(4);
sys(5) = x(5);
sys(6) = x(6);
sys(7) = x(7);

% end mdlOutputs

%
%=====
=====
% mdlGetTimeOfNextVarHit
% Return the time of the next hit for this block. Note that the
result is
% absolute time. Note that this function is only used when you
specify a
% variable discrete-time sample time [-2 0] in the sample time array
in
% mdlInitializeSizes.
%=====
=====
%
function sys=mdlGetTimeOfNextVarHit(t,x,u)

sampleTime = 1; % Example, set the next hit to be one second
later.
sys = t + sampleTime;

% end mdlGetTimeOfNextVarHit

%
%=====
=====
% mdlTerminate
% Perform any end of simulation tasks.
%=====
=====
%
function sys=mdlTerminate(t,x,u)

sys = [];

% end mdlTerminate

```

EK 2 GPC Kontrol Algoritması

```

function [sys,x0,str,ts] = GPC_TEMPERATURE2(t,x,u,flag)
%SFUNTMPL General M-file S-function template
%   With M-file S-functions, you can define you own ordinary
differential
%   equations (ODEs), discrete system equations, and/or just about
%   any type of algorithm to be used within a Simulink block diagram.
%
%   The general form of an M-File S-function syntax is:
%       [SYS,X0,STR,TS] = SFUNC(T,X,U,FLAG,P1,...,Pn)
%
%   What is returned by SFUNC at a given point in time, T, depends on
the
%   value of the FLAG, the current state vector, X, and the current
input vector, U.
%
%   FLAG      RESULT      DESCRIPTION
%   -----
%   0          [SIZES,X0,STR,TS]  Initialization, return system sizes in
SYS,
%                                   initial state in X0, state ordering
strings
%                                   in STR, and sample times in TS.
%   1          DX            Return continuous state derivatives in
SYS.
%   2          DS            Update discrete states SYS = X(n+1)
%   3          Y            Return outputs in SYS.
%   4          TNEXT        Return next time hit for variable step
sample
%                                   time in SYS.
%   5                                     Reserved for future (root finding).
%   9          []           Termination, perform any cleanup SYS=[].
%
%
%   The state vectors, X and X0 consists of continuous states followed
%   by discrete states.
%
%   Optional parameters, P1,...,Pn can be provided to the S-function
and
%   used during any FLAG operation.
%
%   When SFUNC is called with FLAG = 0, the following information
%   should be returned:
%
%       SYS(1) = Number of continuous states.
%       SYS(2) = Number of discrete states.
%       SYS(3) = Number of outputs.
%       SYS(4) = Number of inputs.
%               Any of the first four elements in SYS can be specified
%               as -1 indicating that they are dynamically sized. The
%               actual length for all other flags will be equal to the
%               length of the input, U.
%       SYS(5) = Reserved for root finding. Must be zero.
%       SYS(6) = Direct feedthrough flag (1=yes, 0=no). The s-function
%               has direct feedthrough if U is used during the FLAG=3

```

```

%           call. Setting this to 0 is akin to making a promise
that
%           U will not be used during FLAG=3. If you break the
promise
%           then unpredictable results will occur.
%           SYS(7) = Number of sample times. This is the number of rows in
TS.
%
%
%           X0      = Initial state conditions or [] if no states.
%
%           STR      = State ordering strings which is generally specified as
[]
%
%           TS       = An m-by-2 matrix containing the sample time
%                     (period, offset) information. Where m = number of
sample
%                     times. The ordering of the sample times must be:
%
%                     TS = [0      0,      : Continuous sample time.
%                          0      1,      : Continuous, but fixed in minor
step
%                               sample time.
%                               PERIOD OFFSET, : Discrete sample time where
%                               PERIOD > 0 & OFFSET < PERIOD.
%                               -2      0];   : Variable step discrete sample
time
%                               where FLAG=4 is used to get
time of
%                               next hit.
%
%           There can be more than one sample time providing
%           they are ordered such that they are monotonically
%           increasing. Only the needed sample times should be
%           specified in TS. When specifying than one
%           sample time, you must check for sample hits explicitly
by
%           seeing if
%           abs(round((T-OFFSET)/PERIOD) - (T-OFFSET)/PERIOD)
%           is within a specified tolerance, generally 1e-8. This
%           tolerance is dependent upon your model's sampling
times
%           and simulation time.
%
%           You can also specify that the sample time of the S-
function
%           is inherited from the driving block. For functions
%           which
%           change during minor steps, this is done by
%           specifying SYS(7) = 1 and TS = [-1 0]. For functions
which
%           are held during minor steps, this is done by
specifying
%           SYS(7) = 1 and TS = [-1 1].

%   Copyright 1990-2002 The MathWorks, Inc.
%   $Revision: 1.18 $

```

```

%
% The following outlines the general structure of an S-function.
%
switch flag,

    %%%%%%%%%%%%%%%
    % Initialization %
    %%%%%%%%%%%%%%%
    case 0,
        [sys,x0,str,ts]=mdlInitializeSizes;

    %%%%%%%%%%%%%%%
    % Derivatives %
    %%%%%%%%%%%%%%%
    case 1,
        sys=mdlDerivatives(t,x,u);

    %%%%%%%%%%%
    % Update %
    %%%%%%%%%%%
    case 2,
        sys=mdlUpdate(t,x,u);

    %%%%%%%%%%%
    % Outputs %
    %%%%%%%%%%%
    case 3,
        sys=mdlOutputs(t,x,u);

    %%%%%%%%%%%%%%%
    % GetTimeOfNextVarHit %
    %%%%%%%%%%%%%%%
    case 4,
        sys=mdlGetTimeOfNextVarHit(t,x,u);

    %%%%%%%%%%%%%%%
    % Terminate %
    %%%%%%%%%%%%%%%
    case 9,
        sys=mdlTerminate(t,x,u);

    %%%%%%%%%%%%%%%
    % Unexpected flags %
    %%%%%%%%%%%%%%%
    otherwise
        error(['Unhandled flag = ',num2str(flag)]);

end

% end sfuntmpl

%
%=====
%
% mdlInitializeSizes
% Return the sizes, initial conditions, and sample times for the S-
function.

```

```

%=====
%
function [sys,x0,str,ts]=mdlInitializeSizes

%
% call simsizes for a sizes structure, fill it in and convert it to a
% sizes array.
%
% Note that in this example, the values are hard coded. This is not a
% recommended practice as the characteristics of the block are
% typically
% defined by the S-function parameters.
%
sizes = simsizes;

sizes.NumContStates = 0;
sizes.NumDiscStates = 7;
sizes.NumOutputs = 7;
sizes.NumInputs = 2;
sizes.DirFeedthrough = 1;
sizes.NumSampleTimes = 1; % at least one sample time is needed

sys = simsizes(sizes);

%
% initialize the initial conditions
%      1      2      3      4      5      6      7      8      9      10     11     12
x0 = [0 0 0 0 0 0 0];

%
% str is always an empty matrix
%
str = [];

%
% initialize the array of sample times
%
% ts = [-2 0]; % Variable sample time
% ts = [-1 0]; % Inherited sample time
% ts = [0 0]; % continuous sample time

% end mdlInitializeSizes

%
%=====
% mdlDerivatives
% Return the derivatives for the continuous states.
%=====
%
function sys=mdlDerivatives(t,x,u)

sys = [];

% end mdlDerivatives

```

```

%
%=====
=====
% mdlUpdate
% Handle discrete state updates, sample time hits, and major time step
% requirements.
%=====
=====
%
function sys=mdlUpdate(t,x,u)

% Şu anki t degeri t(n+1) : Şu anki zaman

% u(1) : anlık giriş değeri @ t=t(n+1)
% u(2) : anlık set point değeri @ t=t(n+1)

% Önceki girişleri ve çıkışları al
giris_n_3 = x(4); %Input @ t(n-3)
giris_n_2 = x(3); %Input @ t(n-2)
giris_n_1 = x(2); %Input @ t(n-1)
giris_n = x(1); %Input @ t(n)

cikis_n_3 = x(8); %Controller output @ t(n-3)
cikis_n_2 = x(7); %Controller output @ t(n-2)
cikis_n_1 = x(6); %Controller output @ t(n-1)
cikis_n = x(5); %Controller output @ t(n)

sp_n_3 = x(12); %Set point @ t(n-3)
sp_n_2 = x(11); %Set point @ t(n-2)
sp_n_1 = x(10); %Set point @ t(n-1)
sp_n = x(9); %Set point @ t(n)

deltat = 0;
KC = 0.0;
KI = 0.0;
KD = 0.0;
STIME=1.0;%GPCCONT.m Script file name Deltt is sampling time
AAS=zeros(1,10);
BBS=zeros(1,10);
AAS(1)=-0.9327404;
AAS(2)=-0.000132491;
AAS(3)=0.0;
AAS(4)=0.0;
BBS(1)=0.00006496159*10000.0;
BBS(2)=0.0;
NAAS=0;
NBBS=0;
NIKI=0;
NUNU=0;
ALWS=0.0;
ALAM=0.0;
NTAL=NAAS+NBBS+1;
NSAY=NAAS+NBBS+1;
ZZZZ=0;
for I=NAAS:-1:1;
    AAS(I+1)=AAS(I);

```

```

end
AAS(1)=1.0;
NES=NIKI-1;
NFS=NAAS+1;
NGS=NES+NBBS;
ATIL=zeros(1,10);
ATIL(1)=1.0;
for I=2:NAAS+1;
    ATIL(I)=AAS(I)-AAS(I-1);
end
FFL=zeros(1,10);
for I=1:NFS
    FFL(1,I)=AAS(I)-AAS(I+1);
end
EEL=zeros(1,10);
EEL(1)=1.0;
for J=1:NIKI-1;
    EEL(J+1)=FFL(J,1);
    for I=1:NFS;
        FFL(J+1,I)=FFL(J,I+1)-ATIL(I+1)*FFL(J,1);
    end
end
GDIA=zeros(1,10);
for J=1:NIKI;
    GDIA(J)=0.0;
    JKL=J;
    for I=1:JKL;
        GDIA(J)=BBS(I)*EEL(J-I+1)+GDIA(J);
    end
end
GSTEP=zeros(1,10);
for J=1:NIKI-1;
    GSTEP(J)=0.0;
    JKL=J;
    for I=1:JKL;
        GSTEP(J)=BBS(I)*EEL(J-I+1)+GSTEP(J);
    end
end
GZ=[];
for J=1:NUNU;
    for I=J:NIKI;
        GZ(I,J)=GSTEP(I-J+1);
    end
end
GTG=[];
GTG(NUNU,NIKI)=0.0;
if NUNU==1;
    SCAL=0.;
    for I=1:NIKI;
        SCAL=SCAL+GZ(I,1)*GZ(I,1);
    end
    SCAL=SCAL+ALAM;
    for I=1:NIKI;
        GTG(1,I)=GZ(I,1)/SCAL;
    end
elseif NUNU>1;
    GTG=GZ'/(GZ*GZ'+ALAM*eye(NIKI,NIKI));
else
end
end

```

```

TOPISE=0.0;
TOPIAE=0.0;
%www= [5.83 5.83 5.83 5.83]; %constant set values
%yyyy= [5.83 5.83 5.83 5.83]; % steady-state input values
%eeee= [0.0 0.0 0.0 0.0]; %steady-state error values
%uuuu= [10.0 10.0 10.0 10.0]; %steady-state manipulating variable first
value
%NITERA=100; % iteration Number
%y=zeros (1,NITERA);
%w=zeros (1,NITERA);
%ZAMAN=zeros (1,NITERA);
%U=zeros (1,NITERA);
%YINPUT=zeros (1,NITERA);
%UMANIP=zeros (1,10);
%YENIOKU (NITERA)=0.6;
%for KK=1:NITERA;
    %YINPUT (KK)=YENIOKU (NITERA); %YENI OKUNAN DEĞER BURAYA GELECEK
    % bdelta=BBS (NBBS) * (uuuu (NSAY-1)-uuuu (NSAY-2)) ;
    %YINPUT (KK)= yyyy (NSAY-1)+bdelta-AAS (NAAS) * (yyyy (NSAY-1) -
    yyyy (NSAY-2)) ...
        %-AAS (NAAS+1) * (yyyy (NSAY-2)-yyyy (NSAY-3)) ;
    %YINPUT (KK)=giris_n
    %yyyy (NSAY)=YINPUT (KK);
    % eeee (NSAY)=www (NSAY) -yyyy (NSAY);
    yyyy (NSAY)=u (1);
    yyyy (NSAY-1)=giris_n;
    yyyy (NSAY-2)=giris_n_1;
    yyyy (NSAY-3)=giris_n_2;
    uuuu (NSAY)=cikis_n;
    uuuu (NSAY-1)=cikis_n_1;
    uuuu (NSAY-2)=cikis_n_2;
    uuuu (NSAY-3)=cikis_n_3;
    www (NSAY)=u (2);
    www (NSAY-1)=sp_n;
    www (NSAY-2)=sp_n_1;
    www (NSAY-3)=sp_n_2;
    HF=zeros (1,10);
    WMF=zeros (1,10);
    for IWW=1:NIKI;
        HF (IWW)=0.0;
    for JWW=1:NFS;
        HF (IWW)=HF (IWW)+FFL (IWW,JWW) *yyyy (NSAY-JWW+1);
    end
    HF (IWW)=GDIA (IWW) * (uuuu (NSAY) -uuuu (NSAY-1)) +HF (IWW);
    end
    for IWW=2:NIKI;
        www (IWW)=ALWS*www (IWW-1) + (1.0-ALWS) *www (NSAY);
    end
    for IWW=1:NIKI;
        WMF (IWW)=www (IWW) -HF (IWW);
    end
    DELCON=0.0;
    for JWW=1:NIKI;
        DELCON=DELCN+GTG (1,JWW) *WMF (JWW);
    end
    deltau = (8.0/1.0)*DELCN;
    output=cikis_n+deltau;
    if output<=0;
        output=0;

```

```

end
% for JK=1:NSAY-1;
% uuuu(JK)=uuuu(JK+1);
%eeee(JK)=eeee(JK+1);
%www(JK)=www(JK+1);
%yyyy(JK)=yyyy(JK+1);
%end
%uuuu(NSAY)=UMANIP(KK);

%if KK<20
    %www(NSAY)=5.83;
%elseif KK>=20
    % www(NSAY)=6.09;
%else
%end
%Y(KK)=yyyy(NSAY);
%w(KK)=www(NSAY);
% ZAMAN(KK)=KK*STIME;
%U(KK)=UMANIP(KK); %BURADAKİ U POMPAYA GİDECEK
%YENIOKU(NITERA)=0.4*U(KK);
AIAE=abs(u(2) - u(1));
AISE=(u(2) - u(1))^2;
TOPISE=TOPISE+AISE;
TOPIAE=TOPIAE+AIAE;
%end
% C=[ZAMAN',w', y',U'];
% save resultGPCLAM1.mat C

%deltau = KC * (1+(deltat/KI)+(KD/deltat)) * (sp_n_1 - giris_n_1) -
KC*(1+(2*KD/deltat)) * (sp_n - giris_n) + (KC*(KD/deltat)) * (u(2) -
u(1));

%output = cikis_n + deltau;

if (output < 0 )
    output = 0;
elseif (output > 100)
    output = 100;
end

% Onceki girisleri ve cikislari al
sys(4) = giris_n_2; %Input @ t(n-2)
sys(3) = giris_n_1; %Input @ t(n-1)
sys(2) = giris_n; %Input @ t(n)
sys(1) = u(1); %Input @ t(n+1)

sys(8) = cikis_n_2; %Controller output @ t(n-2)
sys(7) = cikis_n_1; %Controller output @ t(n-1)
sys(6) = cikis_n; %Controller output @ t(n)
sys(5) = output; %Controller output @ t(n+1)

sys(12) = sp_n_2; %Set point @ t(n-2)
sys(11) = sp_n_1; %Set point @ t(n-1)
sys(10) = sp_n; %Set point @ t(n)
sys(9) = u(2); %Set point @ t(n+1)

% end mdlUpdate

```

```

%
%=====
=====
% mdlOutputs
% Return the block outputs.
%=====
=====
%function sys=mdlOutputs(t,x,u)

sys(1) = x(1);
sys(2) = x(2);
sys(3) = x(3);
sys(4) = x(4);
sys(5) = x(5);
sys(6) = x(6);
sys(7) = x(7);
%sys(2) = x(4);
%sys(11) = x(1);
%sys(12) = x(2);
% end mdlOutputs
%
%=====
=====
% mdlGetTimeOfNextVarHit
% Return the time of the next hit for this block. Note that the
result is
% absolute time. Note that this function is only used when you
specify a
% variable discrete-time sample time [-2 0] in the sample time array
in
% mdlInitializeSizes.
%=====
=====
%
function sys=mdlGetTimeOfNextVarHit(t,x,u)

sampleTime = 1; % Example, set the next hit to be one second
later.
sys = t + sampleTime;

% end mdlGetTimeOfNextVarHit
%
%=====
=====
% mdlTerminate
% Perform any end of simulation tasks.
%=====
=====
%
function sys=mdlTerminate(t,x,u)

sys = [];

% end mdlTerminate

```

EK 3 Fuzzy Kontrol Algoritması

```
function [sys,x0,str,ts] = ADNAN_yeni_fuzzy(t,x,u,flag)
%SFUNTMPL General M-file S-function template
%   With M-file S-functions, you can define you own ordinary
differential
%   equations (ODEs), discrete system equations, and/or just about
%   any type of algorithm to be used within a Simulink block diagram.
%
%   The general form of an M-File S-function syntax is:
%       [SYS,X0,STR,TS] = SFUNC(T,X,U,FLAG,P1,...,Pn)
%
%   What is returned by SFUNC at a given point in time, T, depends on
the
%   value of the FLAG, the current state vector, X, and the current
%   input vector, U.
%
%   FLAG      RESULT      DESCRIPTION
%   -----
%   0          [SIZES,X0,STR,TS]  Initialization, return system sizes in
SYS,
%                                   initial state in X0, state ordering
strings
%                                   in STR, and sample times in TS.
%   1          DX            Return continuous state derivatives in
SYS.
%   2          DS            Update discrete states SYS = X(n+1)
%   3          Y             Return outputs in SYS.
%   4          TNEXT         Return next time hit for variable step
sample
%                                   time in SYS.
%   5                                     Reserved for future (root finding).
%   9          []           Termination, perform any cleanup SYS=[].
%
%
%   The state vectors, X and X0 consists of continuous states followed
%   by discrete states.
%
%   Optional parameters, P1,...,Pn can be provided to the S-function
and
%   used during any FLAG operation.
%
%   When SFUNC is called with FLAG = 0, the following information
%   should be returned:
%
%       SYS(1) = Number of continuous states.
%       SYS(2) = Number of discrete states.
%       SYS(3) = Number of outputs.
%       SYS(4) = Number of inputs.
%               Any of the first four elements in SYS can be specified
%               as -1 indicating that they are dynamically sized. The
%               actual length for all other flags will be equal to the
%               length of the input, U.
%       SYS(5) = Reserved for root finding. Must be zero.
%       SYS(6) = Direct feedthrough flag (1=yes, 0=no). The s-function
```

```

%             has direct feedthrough if U is used during the FLAG=3
%             call. Setting this to 0 is akin to making a promise
that
%             U will not be used during FLAG=3. If you break the
promise
%             then unpredictable results will occur.
%             SYS(7) = Number of sample times. This is the number of rows in
TS.
%
%
%             X0      = Initial state conditions or [] if no states.
%
%             STR      = State ordering strings which is generally specified as
[]
%
%             TS       = An m-by-2 matrix containing the sample time
%             (period, offset) information. Where m = number of
sample
%             times. The ordering of the sample times must be:
%
%             TS = [0      0,      : Continuous sample time.
%                   0      1,      : Continuous, but fixed in minor
step
%                   PERIOD OFFSET, : Discrete sample time where
%                   -2      0];    : Variable step discrete sample
time
%                   where FLAG=4 is used to get
time of
%                   next hit.
%
%             There can be more than one sample time providing
%             they are ordered such that they are monotonically
%             increasing. Only the needed sample times should be
%             specified in TS. When specifying than one
%             sample time, you must check for sample hits explicitly
by
%             seeing if
%             abs(round((T-OFFSET)/PERIOD) - (T-OFFSET)/PERIOD)
%             is within a specified tolerance, generally 1e-8. This
%             tolerance is dependent upon your model's sampling
times
%             and simulation time.
%
%             You can also specify that the sample time of the S-
function
%             is inherited from the driving block. For functions
%             which
%             change during minor steps, this is done by
%             specifying SYS(7) = 1 and TS = [-1 0]. For functions
which
%             are held during minor steps, this is done by
specifying
%             SYS(7) = 1 and TS = [-1 1].

% Copyright 1990-2002 The MathWorks, Inc.
% $Revision: 1.18 $

```

```

%
% The following outlines the general structure of an S-function.
%
switch flag,

    %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
    % Initialization %
    %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
    case 0,
        [sys,x0,str,ts]=mdlInitializeSizes;

    %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
    % Derivatives %
    %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
    case 1,
        sys=mdlDerivatives(t,x,u);

    %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
    % Update %
    %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
    case 2,
        sys=mdlUpdate(t,x,u);

    %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
    % Outputs %
    %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
    case 3,
        sys=mdlOutputs(t,x,u);

    %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
    % GetTimeOfNextVarHit %
    %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
    case 4,
        sys=mdlGetTimeOfNextVarHit(t,x,u);

    %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
    % Terminate %
    %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
    case 9,
        sys=mdlTerminate(t,x,u);

    %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
    % Unexpected flags %
    %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
    otherwise
        error(['Unhandled flag = ',num2str(flag)]);

end

% end sfuntmpl

%
%=====
%
% mdlInitializeSizes

```

```

% Return the sizes, initial conditions, and sample times for the S-
function.
%=====
=====
%
function [sys,x0,str,ts]=mdlInitializeSizes

%
% call simsizes for a sizes structure, fill it in and convert it to a
% sizes array.
%
% Note that in this example, the values are hard coded. This is not a
% recommended practice as the characteristics of the block are
typically
% defined by the S-function parameters.
%
sizes = simsizes;

sizes.NumContStates = 0;
sizes.NumDiscStates = 2;
sizes.NumOutputs     = 2;
sizes.NumInputs      = 1;
sizes.DirFeedthrough = 1;
sizes.NumSampleTimes = 1; % at least one sample time is needed

sys = simsizes(sizes);

%
% initialize the initial conditions
%
%x0 = [0 0 0 0 0 0 0];
x0 = [20 10];
%
% str is always an empty matrix
%
str = [];

%
% initialize the array of sample times
%
% ts = [-2 0]; % Variable sample time
ts = [-1 0]; % Inherited sample time
% ts = [0 0]; % continuous sample time

% end mdlInitializeSizes

%
%=====
=====
% mdlDerivatives
% Return the derivatives for the continuous states.
%=====
=====
%
function sys=mdlDerivatives(t,x,u)

sys = [];

```

```

% end mdlDerivatives

%
%=====
=====
% mdlUpdate
% Handle discrete state updates, sample time hits, and major time step
% requirements.
%=====
=====
%
function sys=mdlUpdate(t,x,u)

% Şu anki t degeri t(n+1) : Şu anki zaman

% u(1) : anlık giriş değeri @ t=t(n+1)
% u(2) : anlık set point değeri @ t=t(n+1)

% Önceki girişleri ve çıkışları al
%giris_n_1 = x(2); %Input @ t(n-1)
%giris_n = x(1); %Input @ t(n)

%cikis_n_1 = x(4); %Controller output @ t(n-1)
%cikis_n = x(3); %Controller output @ t(n)

%sp_n_2 = x(7); %Set point @ t(n-2)
%sp_n_1 = x(6); %Set point @ t(n-1)
%sp_n = x(5); %Set point @ t(n)
RSON(:, :, 1)=[.74859 .36490 .00008 .00000 .00000
.50601 .92013 .46387 .14406 .00000
.00000 .46050 .58798 .62642 .15572
.00000 .02934 .24417 .53954 .70407
.00000 .00000 .00000 .00255 .37940];
RSON(:, :, 2)=[.49399 .50106 .00000 .00000 .00000
.57073 .96013 .49533 .11174 .00000
.01759 .52045 .96200 .53550 .07801
.00000 .12125 .47760 .95457 .58950
.00000 .00000 .03265 .41150 .93734];
RSON(:, :, 3)=[.92537 .46669 .00000 .00000 .00000
.57073 .96013 .48431 .07595 .00000
.01759 .48886 .94700 .50262 .02478
.00000 .12125 .46049 .94879 .58950
.00000 .00000 .00000 .41150 .93734];
RSON(:, :, 4)=[.92537 .50106 .00000 .00000 .00000
.57073 .96013 .49073 .11174 .00000
.01759 .52769 .95320 .53550 .07801
.00000 .12125 .47760 .95457 .58950
.00000 .00000 .03265 .41150 .93734];
RSON(:, :, 5)=[.92537 .00467 .00000 .00000 .00000
.69170 .45702 .43179 .01391 .00000
.18709 .64567 .73803 .46941 .00289
.00000 .11226 .48231 .82084 .49847
.00000 .00000 .00000 .64896 .86666];
ULAR=[10. 13. 20. 25. 30. 35. 40. 45. 48. 50. 52. 54. 55.5 57. 58.
58.5 59. 59.5 60. 60.5 61. 61.5 62. 62.5 63.5 65. 66.5 68.5 70. 73.
75. 78. 81. 85. 90. 95. 100.];
%FFF.m

```

```

%XCARP1.m
YSETT=0.;
USETT=0.;
YSON=0.;
YSCAL=0.;
USCAL=0;
YFUZZY=0;
RMKEZY(1)=-1.;
RMKEZY(2)=-0.523;
RMKEZY(3)=0.05;
RMKEZY(4)=0.47;
RMKEZY(5)=1.;
SOLY(1)=4.5;
SOLY(2)=0.617;
SOLY(3)=0.750;
SOLY(4)=0.717;
SOLY(5)=0.650;
SAGY(1)=0.750;
SAGY(2)=0.617;
SAGY(3)=0.750;
SAGY(4)=0.717;
SAGY(5)=4.5;

for ITT=1:5;
    SOLU(ITT)=SOLY(ITT);
    SAGU(ITT)=SAGY(ITT);
    RMKEZU(ITT)=RMKEZY(ITT);
end

for ITT=1:5;
    SOLY(ITT)=SOLY(ITT)*YSCAL;
    SAGY(ITT)=SAGY(ITT)*YSCAL;
    SOLU(ITT)=SOLU(ITT)*USCAL;
    SAGU(ITT)=SAGU(ITT)*USCAL;
    RMKEZY(ITT)=RMKEZY(ITT)*YSCAL;
    RMKEZU(ITT)=RMKEZU(ITT)*USCAL;

end
YKESKI=u(1)-YSETT;
for JGL=1:5;
%function[FFFy]= FFF(YKESKI,RMKEZY,SOLY,SAGY,JGL)
if (YKESKI<=(RMKEZY(JGL)-SOLY(JGL))) ||
(YKESKI>(RMKEZY(JGL)+SAGY(JGL)))
FFFy=0.;
elseif (YKESKI <= RMKEZY(JGL))
FFFy=1.-( RMKEZY(JGL)-YKESKI)/SOLY(JGL);
else
FFFy=1-(YKESKI-RMKEZY(JGL))/SAGY(JGL);
end
end
%end
%[FFFy] = FFF(YKESKI,RMKEZY,SOLY,SAGY,JGL);
SOYK1(JGL)=FFFy;
end
UZAK=5000000;
for IKRR=1:37;
ANAKO=ULAR(IKRR);

```

```

UK1=ANAKO-USETT;
for JGL=1:5;
%function[FFFy]= FFF(YKESKI, RMKEZY, SOLY, SAGY, JGL)
if (UK1<=(RMKEZU(JGL)-SOLU(JGL))) || (UK1>(RMKEZU(JGL)+SAGU(JGL)))
FFFy=0.;
elseif (UK1 <= RMKEZU(JGL))
FFFy=1.-( RMKEZU(JGL)-UK1)/SOLU(JGL);
else
FFFy=1-(UK1-RMKEZU(JGL))/SAGU(JGL);
end
%end
%[FFFy] = FFF(UK1, RMKEZU(JGL), SOLU(JGL), SAGU(JGL));
SONUCU(JGL)=FFFy;
end
%function[XCARP1y] = XCARP1(RSON, SOYK1, SONUCU, RMKEZY)
AYYU=zeros(5);
for ITT=1:5
SSDD=0;
for ITT1=1: 5
SSYEN=0;
for ITT2=1: 5

if (SONUCU(ITT2)<= RSON(ITT2, ITT1, ITT));
TTIF=SONUCU(ITT2);
else
TTIF=RSON(ITT2, ITT1, ITT);
end
if (TTIF > SSYEN);
SSYEN=TTIF;
end
end

if(SOYK1(ITT1)<=SSYEN);
TTIF=SOYK1(ITT1);
else
TTIF=SSYEN;
end
if TTIF > SSDD;
SSDD=TTIF;
end
end
AYYU(ITT)=SSDD;
end
SS=0.;
SS1=0.;
for IGL=1: 5
SS1=SS1+AYYU(IGL);
SS=SS+AYYU(IGL)*RMKEZY(IGL);
end
DFUZZY=0.;
if or(SS1 <0, SS1> 0)
DFUZZY=SS/SS1;
end
XCARP1y=DFUZZY;

%end

```

```

%[XCARP1y]=XCARP1(RSON,SOYK1,SONUCU,RMKEZY);
WRWR=XCARP1y;
WRW1=WRWR+YSETT;
if UZAK > abs(WRW1-YSON)
UZAK=abs(WRW1-YSON);
USAYI=UK1;
YFUZZY=WRW1;
UNO=IKRR;
end
end

UK1=USAYI+USETT;
YKEEE=YKESKI+YSETT;
ANAKO=UK1*1.;

%deltat = 0.0;
%KC = 0.0;
%KI = 0.0;
%KD = 0.0;

%deltau = KC * (1+(deltat/KI)+(KD/deltat)) * (sp_n_1 - giris_n_1) -
KC*(1+(2*KD/deltat)) * (sp_n - giris_n) + (KC*(KD/deltat)) * (u(2) -
u(1));

%output = cikis_n + deltau;
output=ANAKO;

if (output < 0 )
    output = 0;
elseif (output > 100)
    output = 100;
end

%sys(7) = sp_n_1;           % Set point noktalarini kaydir
%sys(6) = sp_n;
%sys(5) = u(2);

%sys(4) = cikis_n;         % Output degerlerini kaydir
sys(2) = output;           % Yeni Controller cikis degeri

%sys(2) = giris_n;         % Input degerlerini kaydir
sys(1) = u(1);

% end mdlUpdate

%
%=====
%
% mdlOutputs
% Return the block outputs.
%=====
%

```

```

function sys=mdlOutputs(t,x,u)

sys(1) = x(1);
%sys(2) = x(2);
sys(2) = x(2);
%sys(4) = x(4);
%sys(5) = x(5);
%sys(6) = x(6);
%sys(7) = x(7);

% end mdlOutputs

%
%=====
=====
% mdlGetTimeOfNextVarHit
% Return the time of the next hit for this block. Note that the
result is
% absolute time. Note that this function is only used when you
specify a
% variable discrete-time sample time [-2 0] in the sample time array
in
% mdlInitializeSizes.
%=====
=====
%
function sys=mdlGetTimeOfNextVarHit(t,x,u)

sampleTime = 1; % Example, set the next hit to be one second
later.
sys = t + sampleTime;

% end mdlGetTimeOfNextVarHit

%
%=====
=====
% mdlTerminate
% Perform any end of simulation tasks.
%=====
=====
%
function sys=mdlTerminate(t,x,u)

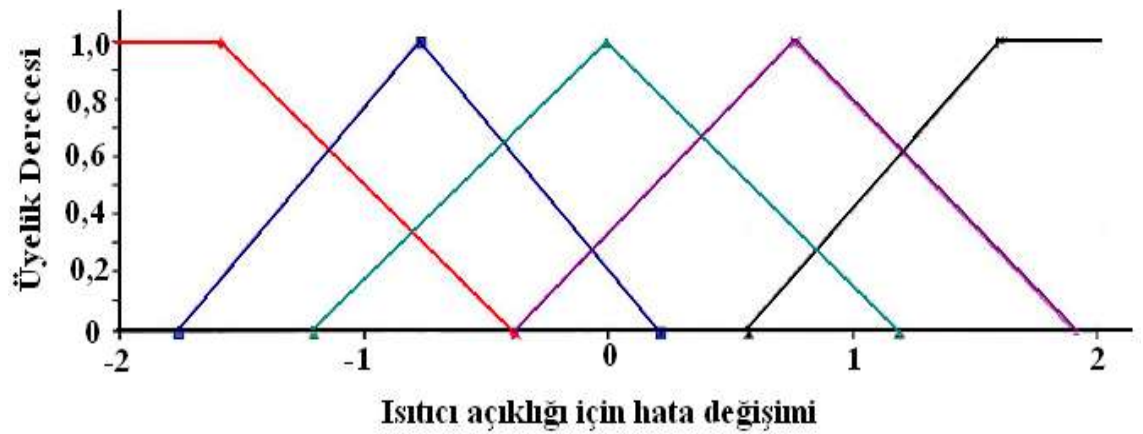
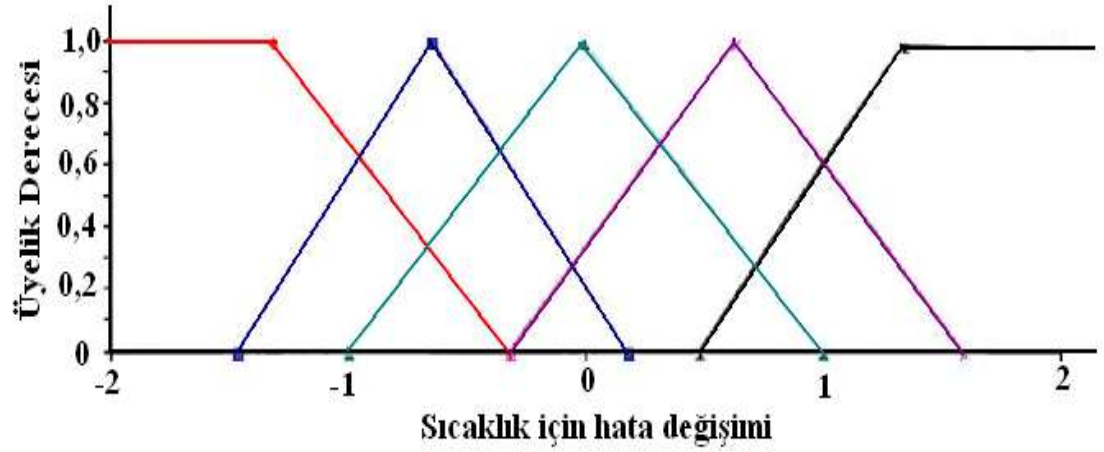
sys = [];

% end mdlTerminate

```

EK 4 Fuzzy Kontrolde Değişken Hataları İçin Üyelik Fonksiyon Kümeleri

Üyelik No	Merkez	Sol Genişlik	Sağ Genişlik
1	-1,000	4,500	0,750
2	-0,523	0,617	0,617
3	-0,050	0,750	0,750
4	0,470	0,717	0,717
5	1,000	0,650	4,500



EK 5 Fuzzy Kontrolde Kullanılan İlişki Matrisi

[.74859	.36490	.00008	.00000	.00000
.50601	.92013	.46387	.14406	.00000
.00000	.46050	.58798	.62642	.15572
.00000	.02934	.24417	.53954	.70407
.00000	.00000	.00000	.00255	.37940];
[.49399	.50106	.00000	.00000	.00000
.57073	.96013	.49533	.11174	.00000
.01759	.52045	.96200	.53550	.07801
.00000	.12125	.47760	.95457	.58950
.00000	.00000	.03265	.41150	.93734];
[.92537	.46669	.00000	.00000	.00000
.57073	.96013	.48431	.07595	.00000
.01759	.48886	.94700	.50262	.02478
.00000	.12125	.46049	.94879	.58950
.00000	.00000	.00000	.41150	.93734];
[.92537	.50106	.00000	.00000	.00000
.57073	.96013	.49073	.11174	.00000
.01759	.52769	.95320	.53550	.07801
.00000	.12125	.47760	.95457	.58950
.00000	.00000	.03265	.41150	.93734];
[.92537	.00467	.00000	.00000	.00000
.69170	.45702	.43179	.01391	.00000
.18709	.64567	.73803	.46941	.00289
.00000	.11226	.48231	.82084	.49847
.00000	.00000	.00000	.64896	.86666];

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Adnan ALDEMİR
Doğum Yeri : Van
Doğum Tarihi : 05.12.1981
Medeni Hali : Evli, 1 çocuk babası
Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu

Lise : Vangölü Anadolu Lisesi (1999)
Lisans : İnönü Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği
Bölümü (2004)
Yüksek Lisans : Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Anabilim
Dalı (2008)
Doktora : Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği
Anabilim Dalı

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl

Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Araş. Gör. (2009-2010)

Hakemli Dergi

Aldemir, A., Ertunç, S., Hapoğlu, H., Alpbaz, M., 2012, ‘‘Evaluation of The Number of Transfer Units(NTU) and The Column Height By Using On-Line Temperature Measurements for A Pilot Scale Packed Batch Distillation Column’’, The Online Journal of Science and Technology(TOJSAT), 2, (1), 1-7.

Uluslararası Kongreler

Aldemir, A., Toğrul, H., Hapoğlu, H., Alpbaz, M., ‘‘Application of MATLAB-Simulink Program for Wireless Generalized Predictive Temperature Control’’ 9th European Congress of Chemical Engineering (ECCE 9), 21-25 April 2013, Hague, Netherlands.

Aldemir, A., Toğrul, H., Hapoğlu, H., Alpbaz, M., ‘‘Wireless PID Temperature Control of A Process Simulator With Different Tuning Methods’’ 9th European Congress of Chemical Engineering (ECCE 9), 21-25 April 2013, Hague, Netherlands.

Aldemir, A., Toğrul, H., Hapoğlu, H., Alpbaz, M., ‘‘Application of MATLAB-Simulink Program for Wireless Temperature Deadbeat Control’’ 20th International Congress of

Chemical and Process Engineering (CHISA 2012), 25-29 August 2012, Prague, Czech Republic.

Aldemir, A., Akpınar, A., Pekel, L.C., Ozyurt, B., Hapoğlu, H., “Experimental Multi-input Multi-output (MIMO) Control of A Process Control Simulator” 20th International Congress of Chemical and Process Engineering (CHISA 2012), 25-29 August 2012, Prague, Czech Republic.

Aldemir, A., Akpınar A., Hapoğlu, H., Alpbaz, M., “The Experimental Wireless Temperature Control of A Reactor By Using MATLAB-Simulink Program” 7th Chemical Engineering Conference For Collaborative Research in Eastern Mediterranean Countries (EMCC-7), 27th April-1st May 2012, Corfu-Greece.

Akpınar A., Aldemir, A., Toğrul, H., Hapoğlu, H., Alpbaz, M., “The Wireless Experimental Nonparametric Identification and Control of A Liquid-Gas Pressure System” 7th Chemical Engineering Conference For Collaborative Research in Eastern Mediterranean Countries (EMCC-7), 27th April-1st May 2012, Corfu, Greece.

Aldemir, A., Akpınar A., Toğrul, H., Hapoğlu, H., Alpbaz, M., “Experimental Application of Wireless Temperature Control To A Simulator By Using MATLAB-Simulink Program” The 3rd International Conference on Nuclear and Renewable Energy Resources (NURER 2012), 20-23 May 2012, İstanbul, Turkey.

Ulusal Kongreler

Aldemir, A., Akpınar A., Toğrul, H., Hapoğlu, H., Alpbaz, M., “Kablosuz Sıcaklık Kontrolü için Bir Simülatörün Kesikli ve Sürekli Zamanda Parametrik Olmayan Modellenmesi” 10. Ulusal Kimya Mühendisliği Kongresi (UKMK-10), 3-6 Eylül 2012, Koç Üniversitesi, İstanbul.

Atasoy, N., M. Yücel, U., Aldemir, A., “Van Bölgesinde Yetişen Endemik Bitkilerde Vitamin C Düzeyinin Belirlenmesi” 25. Ulusal Kimya Kongresi, 27 Haziran-02 Temmuz 2011, Atatürk Üniversitesi, Erzurum.

Gün, M.S., Yalçınkaya, Z., Aldemir, A., “Bisfenol-A’nın Enzimatik Polimerleşme Reaksiyon Koşullarının Cevap Yüzey Yöntemi ile Optimize Edilmesi” 9. Ulusal Kimya Mühendisliği Kongresi (UKMK-9), 22-25 Haziran 2010, Gazi Üniversitesi, Ankara.

Aldemir, A., Birhanlı, E., Şengör, M., Yeşilada, Ö., Aktaş, N., “Anilinin Enzimatik Polimerleşme Reaksiyon Koşullarının Cevap Yüzey Yöntemi ile Optimize Edilmesi” 8. Ulusal Kimya Mühendisliği Kongresi (UKMK-8), 26-29 Ağustos 2008, İnönü Üniversitesi, Malatya.