

**ANKARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

DOKTORA TEZİ

**İLERİ KONTROL YÖNTEMLERİYLE KABLOSUZ SIVI SEVİYE
KONTROLÜ**

İSMAİL BAYRAM

KİMYA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ANKARA

2015

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 etike uygun davrandığımı, yararlandığım bütün kaynakları atıf yaparak belirttiğimi beyan ederim.

26.11.2015

İsmail BAYRAM

ÖZET

Doktora Tezi

İLERİ KONTROL YÖNTEMLERİYLE KABLOSUZ SIVI SEVİYE KONTROLÜ

İsmail BAYRAM

Ankara Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof.Dr. Zehra ZEYBEK

Endüstriyel bir proseste yer alan değişkenler; akış hızı, sıvı seviye, sıcaklık, basınç, derişim vb.dir. Bir kimyasal prosesin çeşitli değişkenlerini sabit tutabilmek için kontrol sistemleri kullanılmaktadır. Prosesler normal şartlarda çalışırken bütün değişkenler zamanla değişmeyerek, belli sabit değerlerde olmasına rağmen işletim esnasında bir takım etkilerin çıkış değişkenini etkilemesi nedeniyle sistemler istenen değerden sapabilirler. Sistemi istenilen değerde tutmak için kontrol sistemleri kullanılır. Bilgisayar sistemlerinin geliştirilmesi ile birlikte artan endüstriyel proseslerin bilgisayar destekli kontrolü; üretim kalitesinde oluşan farklılığın en aza indirilmesi ve sistem değişkenlerinin gerçek zamanlı olarak takibi açısından büyük fayda sağlamaktadır. Sıvı seviye kontrolü kimyasal prosesler açısından büyük öneme sahiptir. Endüstride sıvıların doldurulduğu tanklarda seviye ölçümünün doğru ve güvenilir cihazlarla yapılması ve sıvı seviyesini belirli seviyede tutmak hem taşmayı önlemek hem de sabit debide ürün gönderebilmek yönünden önemlidir. Ayrıca sıvı seviyesi, üretimdeki ürünün derişimini doğrudan etkiler bu yüzden seviye kontrolü sağlanarak optimum seviyenin elde edilmesi kimya prosesleri açısından önemlidir. Tez kapsamında yapılan çalışmalarda bir proses kontrol simülâtör sisteminde kablosuz sıvı seviye kontrolü gerçekleştirilmiştir. Tüm hesaplama ve veri işleme prosedürleri için sıvı seviye sisteminin yer aldığı sisteme on-line bağlı bilgisayarda MATLAB programı kullanılmıştır. Ön çalışmalarda açık hat dinamik deneyler gerçekleştirilerek sistemin özellikleri belirlenmiştir. Kapalı hatta ayar değişkeni olarak seçilen değişkene çeşitli etkiler verilerek çıkış değişkeninin davranışı incelenmiştir. Proses kontrol simülâtörünün sıvı seviyesiyle, sıvı seviye kontrol vanası açıklığı arasındaki ilişkiyi verecek modelin bulunması için, farklı giriş sinyalleri (basamak etki, PRBS vb..) uygulanarak sistem tanımlama yapılmıştır. Dinamik çalışmalarda elde edilen işletim koşullarında ve bulunan en uygun model kullanılarak sistemin PID, GPC ve Fuzzy kontrolü gerçekleştirilmiştir. Bunun için kablosuz bilgisayar sistemi kullanılmıştır. Kontrol sonuçları performans kriterleri göz önünde bulundurularak karşılaştırılmıştır.

Kasım 2015, 156 sayfa

Anahtar Kelimeler: Kablosuz sıvı seviye kontrolü, PID Kontrol, Genelleştirilmiş Öngörmeli Kontrol, Fuzzy Kontrol

ABSTARCT

Ph.D. Thesis

WIRELESS LEVEL CONTROL WITH ADVANCED CONTROL METHODS

İsmail BAYRAM

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

Supervisor: Prof. Dr. Zehra ZEYBEK

The variables of an industrial process are temperature, pressure, flow rate and concentration etc.. The control systems are being used to make constant for different variables of chemical processes. When proces works in desired condition all variables don't charge with time. Although all variables are in constant values and also process works in normal conditions under some affections disturb the system and then output variables diverse from desires values. The hold process variables on desired values control systems are used. After computer support in computer world, computer control is so populer. Level control has an important significance in chemical industry. To make the minimum difference from production quality and also to fallow the control system is very useful. Level measurement is important for safety processes. In industry with liquid tanks, it is very important to measure to liquid level with correct and trustable measuring instrument and so to hold the liquid level on desired values is useful for protecting flood and also to send production of constant flow rate. Morover liquid level has a direct effect on the product concentration. Thus optimum operation circumtances are very important for chemical processes. In this thesis, wireless level control has been studied on a proces control simulator. All calculations and data procedures are used online computer with MATLAB programmer in a level control system. Firstly, open-loop dynamics experiments has been conducted to identify system spesifications. Output behaviour has been identified with different level control effects in a close-loop. To find corelation between liquid level and liquid level control valve in a process control simulator, different input signals (PRBS, square wave etc..) has been applied for system identification. With in dynamic experiments has found best model and this model used PID, GPC, Fuzzy control. Advanced control methods has been used in wireless computer systems. Control results compared with via performance criters.

November 2015, 156 pages

Key Words: Wireless level control, PID Control, Generalized Predictive Control, Fuzzy Control

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Tez süresince her an desteklerini esirgemeyen danışman hocam Prof.Dr. Zehra ZEYBEK (Ankara Üniversitesi Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı), sayın hocam Prof.Dr. Mustafa ALPBAZ, Prof.Dr. Metin GÜRÜ (Gazi Üniversitesi Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı), Yrd.Doç.Dr. Suna ERTUNÇ (Ankara Üniversitesi Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı), Prof.Dr. Hale HAPOĞLU (Ankara Üniversitesi Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı), Prof.Dr. Ayla ALTINTEN (Gazi Üniversitesi Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı), Proses Kontrol Grubu üyelerine ve deneylerim süresince karşılaştığım her türlü teknik hatalar karşısında pratik çözümler üretilmesinde yardımlarını esirgemeyen Kimya Yüksek Mühendisi Uğur YILDIZ'a ve Dr. Adnan ALDEMİR'e teşekkür ederim.

Doktora eğitimi süresince beni hiç yalnız bırakmayan maddi-manevi desteklerini esirgemeyen aileme ve biricik prensesSIM'e çok teşekkür ederim.

İsmail BAYRAM

ANKARA, Kasım 2015

İÇİNDEKİLER

TEZ ONAY SAYFASI

ETİK.....	i
ÖZET.....	ii
ABSTRACT.....	iii
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR.....	iv
SİMGELER DİZİNİ.....	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xiv
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	3
3. KURAMSAL TEMELLER.....	8
3.1 Kablosuz Ağlar.....	8
3.1.1 Kablosuz teknolojiler.....	8
3.1.1.1 Kızıl ötesi.....	10
3.1.1.2 Radyo frekansı.....	11
3.2 Kablosuz Ağ Çeşitleri.....	11
3.2.1 Kablosuz kişisel alan ağ.....	11
3.2.2 Kablosuz Yerel Alan Ağ.....	12
3.2.3 Kablosuz metropol alan ağ.....	13
3.3 Kablosuz Ölçüm ve Kontrol Sistemleri.....	14
3.3.1 Yıldız tipi kablosuz ağ yapısı.....	14
3.3.2 Ağaç tipi kablosuz ağ yapısı.....	15
3.3.3 Örgü tipi kablosuz ağ yapısı.....	16
3.4 Kablosuz Ölçüm ve Kontrol Sistemlerinin Kullanım Alanları.....	16
3.5 Sıvı Seviye Kontrolü.....	17
3.6 PID Kontrol.....	17
3.6.1 Oransal kontrol(P).....	17

3.6.2 İntegral kontrol(I).....	18
3.6.3 Türevsel kontrol(D).....	18
3.7 Sistem Tanımlama.....	19
3.8 GPC Kontrol Sistemleri.....	20
3.8.1 Ardışık sistem modelleri.....	20
3.8.2 Yük modelleri.....	21
3.8.3 Toplam sinyal modeli.....	23
3.8.4 Bir prosesin doğrusal model parametrelerinin belirlenmesi.....	25
3.8.5 Pseudo random binary sequence etkileri (PRBS).....	25
3.8.6 Genelleştirilmiş tahmin edici kontrol (GPC).....	28
3.9 Fuzzy Kontrol.....	35
3.9.1 Bulanık mantık.....	35
3.9.2 Bulanık küme kuramı ve bulanık mantık.....	36
3.9.3 Bulanık mantık denetleyici sistemler.....	39
3.9.4 Bulanık mantık denetim kurallarının oluşturulması.....	40
3.9.5 Genel bulanık mantık denetleyiciler.....	40
3.9.6 Bulanıklaştırma birimi.....	41
3.9.7 Bilgi tabanı.....	45
3.9.8 Karar verme (çıkarım) birimi.....	45
3.9.9 Durulama birimi.....	45
4. MATERYAL VE YÖNTEM.....	46
4.1 Proses Kontrol Simulatörü.....	46
4.2 Sıvı Seviye Deney Yöntemi.....	48
4.3 Kablosuz Kontrol Amacı İle Geliştirilen Proses Kontrol Simulatörü.....	50
4.4 Kablosuz Brine Saflaştırma Sistemi İçin Kurulan Deney Sistemi.....	51
4.5 Kablosuz Brine Saflaştırma Deney Yöntemi.....	52
5. DENEYSEL SONUÇLAR.....	53
5.1 Yatışkın Hal Deneyleri.....	53
5.2 Dinamik Hal Deneyleri.....	56

5.2.1 Basamak etkinin verildiği dinamik hal deney sonuçları.....	58
5.2.2 PRBS etkinin verildiği dinamik hal deney sonuçları.....	66
5.2.3 Kare dalga etki uygulanan dinamik hal sonuçları.....	68
5.3 Sistem Tanımlama Sonuçları.....	70
5.4 Kontrol Deneyleri Sonuçları.....	72
5.4.1 PID kontrol deneyleri sonuçları.....	72
5.4.1.1 Cohen-Coon yöntemi ile PID kontrol deney sonuçları.....	73
5.4.1.2 Deneme-yanılma yöntemi ile PID kontrol deney sonuçları.....	78
5.4.2 GPC kontrol deney sonuçları.....	83
5.4.2.1 Set noktası 3 dm iken elde edilen GPC kontrol sonuçları.....	85
5.4.2.2 Set noktası 4 dm iken elde edilen GPC kontrol sonuçları.....	89
5.4.2.3 Set noktası 5 dm iken elde edilen GPC kontrol sonuçları.....	93
5.4.2.4 Set noktası 6 dm iken elde edilen GPC kontrol sonuçları.....	97
5.4.3 Fuzzy kontrol deney sonuçları.....	100
5.4.3.1 Set noktası 3dm iken elde edilen fuzzy kontrol sonuçları.....	102
5.4.3.2 Set noktası 4dm iken elde edilen fuzzy kontrol sonuçları.....	104
5.4.3.3 Set noktası 5dm iken elde edilen fuzzy kontrol sonuçları.....	106
5.4.3.4 Set noktası 6dm iken elde edilen fuzzy kontrol sonuçları.....	108
5.4.4 Brine saflaştırma sisteminde yapılan deneysel çalışmalar.....	111
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	113
KAYNAKLAR.....	118
EKLER.....	120
EK 1 PID Kontrol Algoritması.....	121
EK 2 GPC Kontrol Algoritması.....	128
EK 3 Fuzzy Kontrol Algoritması.....	138
EK 4 Fuzzy Kontrol İçin Kullanılan İlişki Matrisi.....	148
EK 5 Fuzzy Kontrolde Değişken Hataları İçin Üyelik Fonksiyon kümeleri.....	149
ÖZGEÇMİŞ.....	150

SİMGELER DİZİNİ

λ	Kontrol Ağırlık Faktörü
τ	Proses zaman sabiti
Θ	Proses ölü zamanı
$e(t)$	Hata
CV1	Flow Control Valve
CV2	Level Control Valve
CV3	Pressure Control Valve
$G(s)$	Transfer fonksiyonu
K	Proses kazancı
K_c	Oransal sabit
N_u	Kontrol ufku
N_1	Minimum öngörme ufku
N_2	Maksimum öngörme ufku
$r(t)$	Set noktası
$u(t)$	Ayarlanabilen değişken
$y(t)$	Çıkış değişkeni

Kısaltmalar

ARMA	Auto Regressive Moving Average
ARMAX	Auto Regressive Moving Average eXogenous
ARIMAX	Auto Regressive Integral Moving Average eXogenous
FCC	Federal Communications Commission
FLC	Fuzzy Logic Control

GA	Genetik Algoritma
GDR	Genelleştirilmiş Delta Kuralı
GPC	Generalized Predictive Control
IAE	Integral of Absolute Error
IEEE	Elektrik Elektronik Mühendisleri Enstitüsü
ISE	Integral of Square Error
ISM	Industrial, Scientific, Medical
LAN	Local Area Network
MAN	Metropol area network
PDA	Personel Digital Assistant
PID	Proportional Integral Derivative Control
PRBS	Pseudo Random Binary Sequence
RF	Radyo Frekansı
WAN	Wide area network
WIMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access
WLAN	Wireless Local Area Network
WPAN	Wireless Personal Area Network

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1 Kablosuz iletişim.....	9
Şekil 3.2 Elektromanyetik spektrum.....	9
Şekil 3.3 Radyo dalgaları frekans aralığı.....	10
Şekil 3.4 Kablosuz kişisel alan ağı (WPAN).....	12
Şekil 3.5 Kablosuz yerel alan ağı (WLAN).....	13
Şekil 3.6 Kablosuz metropol alan ağı (WMAN).....	14
Şekil 3.7 Yıldız tipi kablosuz sistem yapısı.....	15
Şekil 3.8 Ağaç tipi kablosuz sistem yapısı.....	15
Şekil 3.9 Örgü tipi kablosuz sistem yapısı.....	16
Şekil 3.10 Kapalı Hat Kontrol Edici Blok Diyagramı.....	17
Şekil 3.11 PRBS sinyalinin gösterimi.....	25
Şekil 3.12 Kendinden ayarlamalı kontrol edici yapısı.....	28
Şekil 3.13 Genelleştirilmiş tahmin edici kontrol algoritması.....	35
Sekil 3.14 Sıcaklık için keskin küme örneği.....	37
Sekil 3.15 Sıcaklık için bulanık küme örneği.....	37
Sekil 3.16 Bulanık Küme Örtüsümü.....	38
Sekil 3.17 Bulanık mantık denetleyicinin temel yapısı.....	40
Şekil 3.18 Sayıların komşuluğu.....	42
Şekil 3.19 $A=(-5,-1,1)$ kümesinin komşuluğu.....	44
Şekil 3.20 Yamuk sayı komşuluğu.....	44
Şekil 4.1 Proses kontrol simülatörü.....	46
Şekil 4.2 Proses kontrol simülatörü proses şeması.....	47
Şekil 4.3 Sıvı seviye deneyi için seviye kontrol döngüsü ve proses şeması.....	48
Şeli 4.4 Sıvı seviye sitemindeki V2 tankı ve elle ayarlanabilir akış hızı vanaları.....	49
Şekil 4.5 Kablosuz kontrol amacı ile geliştirilen proses kontrol simülatörü.....	50
Şekil 4.6 Kablosuz veri aktarımını sağlayan anten ve modüller.....	51

Şekil 4.7 Brine saflaştırma sistemi.....	51
Şekil 4.8 Brine saflaştırma sistemi simulink akış diyagramı.....	52
Şekil 5.1 Yatışkın hal sıvı seviye deneyinin MATLAB/Simulink blok diyagramı.....	53
Şekil 5.2 Sıvı seviyesinin %10 vana açıklığında yatışkın hal deney sonucu.....	54
Şekil 5.3 Sıvı seviyesinin %55 vana açıklığında yatışkın hal deney sonucu.....	55
Şekil 5.4 Sıvı seviyesinin %60 vana açıklığında yatışkın hal deney sonucu.....	55
Şekil 5.5 Sıvı seviyesinin %63 vana açıklığında yatışkın hal deney sonucu.....	55
Şekil 5.6 Sıvı seviyesinin %65 vana açıklığında yatışkın hal deney sonucu.....	56
Şekil 5.7 Basamak etki uygulanan dinamik hal deneyinin MATLAB Simulink gösterimi.....	57
Şekil 5.8 Pozitif etkinin (%10-55) verildiği dinamik hal deneyinde sıvı seviye vana açıklığının zamanla değişim grafiği	58
Şekil 5.9 Pozitif etkinin (%10-55) verildiği dinamik hal deneyinde sıvı seviyesinin zamanla değişim grafiği.....	58
Şekil 5.10 Negatif etkinin (%55-10) verildiği dinamik hal deneyinde sıvı seviye vana açıklığının zamanla değişim grafiği.....	59
Şekil 5.11 Negatif etkinin (%55-10) verildiği dinamik hal deneyinde sıvı seviyesinin zamanla değişim grafiği.....	59
Şekil 5.12 Pozitif etkinin (%10-60) verildiği dinamik hal deneyinde sıvı seviye vana açıklığının zamanla değişim grafiği.....	60
Şekil 5.13 Pozitif etkinin (%10-60) verildiği dinamik hal deneyinde sıvı seviyesinin zamanla değişim grafiği.....	60
Şekil 5.14 Negatif etkinin (%60-10) verildiği dinamik hal deneyinde sıvı seviye vana açıklığının zamanla değişim grafiği.....	61
Şekil 5.15 Negatif etkinin (%60-10) verildiği dinamik hal deneyinde sıvı seviyesinin zamanla değişim grafiği.....	61
Şekil 5.16 Pozitif etkinin (%10-63) verildiği dinamik hal deneyinde sıvı seviye vana açıklığının zamanla değişim grafiği.....	62

Şekil 5.17 Pozitif etkinin (%10-63) verildiği dinamik hal deneyinde sıvı seviyesinin zamanla değişim grafiği.....	62
Şekil 5.18 Negatif etkinin (%63-10) verildiği dinamik hal deneyinde sıvı seviye vana açıklığının zamanla değişim grafiği.....	63
Şekil 5.19 Negatif etkinin (%63-10) verildiği dinamik hal deneyinde sıvı seviyesinin zamanla değişim grafiği.....	63
Şekil 5.20 Pozitif etkinin (%10-65) verildiği dinamik hal deneyinde sıvı seviye vana açıklığının zamanla değişim grafiği.....	64
Şekil 5.21 Pozitif etkinin (%10-65) verildiği dinamik hal deneyinde sıvı seviyesinin zamanla değişim grafiği.....	64
Şekil 5.22 Negatif etkinin (%65-10) verildiği dinamik hal deneyinde sıvı seviye vana açıklığının zamanla değişim grafiği.....	65
Şekil 5.23 Negatif etkinin (%65-10) verildiği dinamik hal deneyinde sıvı seviyesinin zamanla değişim grafiği.....	65
Şekil 5.24 PRBS etkinin verildiği dinamik hal deneyinde sıvı seviye vana açıklığının zamanla değişim grafiği.....	67
Şekil 5.25 PRBS etkinin verildiği dinamik hal deneyinde vana sıvı seviyesinin zamanla değişim grafiği.....	67
Şekil 5.26 Kare dalga etkinin verildiği dinamik hal deneyinde sıvı seviye vana açıklığının zamanla değişim grafiği.....	69
Şekil 5.27 Kare dalga etkinin verildiği dinamik hal deneyinde sıvı seviyesinin zamanla değişim grafiği.....	69
Şekil 5.28 Basamak etkinin verildiği ARIMAX model ile deneysel verilerin karşılaştırılması.....	70
Şekil 5.29 PRBS etkinin verildiği ARIMAX model ile deneysel verilerin karşılaştırılması.....	71
Şekil 5.30 Kare dalga etkinin verildiği ARIMAX model ile deneysel verilerin karşılaştırılması.....	71

Şekil 5.31 PID algoritması kullanılarak gerçekleştirilen sıvı seviye kontrol	
deneyinin Matlab/Simulink blok diyagramı.....	72
Şekil 5.32 Basamak etki sonucu sıvı değişimi ile oluşturulan	
reaksiyon eğrisi.....	73
Şekil 5.33 PID kontrol deneyinde set noktası=3dm iken sıvı seviyesi	
değişim grafiği.....	74
Şekil 5.34 PID kontrol deneyinde set noktası=3dm iken sıvı seviye vana	
açıklığı değişim grafiği.....	74
Şekil 5.35 PID kontrol deneyinde set noktası=4dm iken sıvı seviyesi	
değişim grafiği.....	75
Şekil 5.36 PID kontrol deneyinde set noktası=4dm iken sıvı seviye vana	
açıklığı değişim grafiği.....	75
Şekil 5.37 PID kontrol deneyinde set noktası=5dm iken sıvı seviyesi	
değişim grafiği.....	76
Şekil 5.38 PID kontrol deneyinde set noktası=5dm iken sıvı seviye vana	
açıklığı değişim grafiği.....	76
Şekil 5.39 PID kontrol deneyinde set noktası=6dm iken sıvı seviyesi	
değişim grafiği.....	77
Şekil 5.40 PID kontrol deneyinde set noktası=6dm iken sıvı seviye vana	
açıklığı değişim grafiği.....	77
Şekil 5.41 PID kontrol deneyinde set noktası=3dm iken sıvı seviyesi	
değişim grafiği.....	79
Şekil 5.42 PID kontrol deneyinde set noktası=3dm iken sıvı seviye vana	
açıklığı değişim grafiği.....	79
Şekil 5.43 PID kontrol deneyinde set noktası=4dm iken sıvı seviyesi	
değişim grafiği.....	80
Şekil 5.44 PID kontrol deneyinde set noktası=4dm iken sıvı seviye vana	
açıklığı değişim grafiği.....	80

Şekil 5.45 PID kontrol deneyinde set noktası=5dm iken sıvı seviyesi değişim grafiği.....	81
Şekil 5.46 PID kontrol deneyinde set noktası=5dm iken sıvı seviye vana açıklığı değişim grafiği.....	81
Şekil 5.47 PID kontrol deneyinde set noktası=6dm iken sıvı seviyesi değişim grafiği.....	82
Şekil 5.48 PID kontrol deneyinde set noktası=6dm iken sıvı seviye vana açıklığı değişim grafiği.....	82
Şekil 5.49 GPC algoritması kullanılarak gerçekleştirilen sıvı seviye kontrol deneyinin Matlab/Simulink blok diyagramı.....	84
Şekil 5.50 $N_u=1$, $N_2=2$ ve $\lambda=0.5$ için sıvı seviyesinin zamanla değişim grafiği.....	85
Şekil 5.51 $N_u=1$, $N_2=2$ ve $\lambda=0.5$ için vana açıklığının zamanla değişim grafiği.....	85
Şekil 5.52 $N_u=1$, $N_2=2$ ve $\lambda=0.05$ için sıvı seviyesinin. zamanla değişim grafiği.....	86
Şekil 5.53 $N_u=1$, $N_2=2$ ve $\lambda=0.05$ için vana açıklığının zamanla değişim grafiği.....	86
Şekil 5.54 $N_u=1$, $N_2=2$ ve $\lambda=0.005$ için sıvı seviyesinin zamanla değişim grafiği.....	87
Şekil 5.55 $N_u=1$, $N_2=2$ ve $\lambda=0.005$ için vana açıklığının zamanla değişim grafiği.....	87
Şekil 5.56 $N_u=1$, $N_2=2$ ve $\lambda=0.5$ için sıvı seviyesinin zamanla değişim grafiği.....	89
Şekil 5.57 $N_u=1$, $N_2=2$ ve $\lambda=0.5$ için vana açıklığının zamanla değişim grafiği.....	89
Şekil 5.58 $N_u=1$, $N_2=2$ ve $\lambda=0.05$ için sıvı seviyesinin. zamanla değişim grafiği.....	90
Şekil 5.59 $N_u=1$, $N_2=2$ ve $\lambda=0.05$ için vana açıklığının zamanla değişim grafiği.....	90
Şekil 5.60 $N_u=1$, $N_2=2$ ve $\lambda=0.005$ için sıvı seviyesinin zamanla değişim grafiği.....	91
Şekil 5.61 $N_u=1$, $N_2=2$ ve $\lambda=0.005$ için vana açıklığının zamanla değişim grafiği.....	91
Şekil 5.62 $N_u=1$, $N_2=2$ ve $\lambda=0.5$ için sıvı seviyesinin zamanla değişim grafiği.....	93
Şekil 5.63 $N_u=1$, $N_2=2$ ve $\lambda=0.5$ için vana açıklığının zamanla değişim grafiği.....	93
Şekil 5.64 $N_u=1$, $N_2=2$ ve $\lambda=0.05$ için sıvı seviyesinin. zamanla değişim grafiği.....	94
Şekil 5.65 $N_u=1$, $N_2=2$ ve $\lambda=0.05$ için vana açıklığının zamanla değişim grafiği.....	94
Şekil 5.66 $N_u=1$, $N_2=2$ ve $\lambda=0.005$ için sıvı seviyesinin zamanla değişim grafiği.....	95
Şekil 5.67 $N_u=1$, $N_2=2$ ve $\lambda=0.005$ için vana açıklığının zamanla değişim grafiği.....	95

Şekil 5.68 $N_u=1$, $N_2=2$ ve $\lambda=0.5$ için sıvı seviyesinin zamanla değişim grafiği.....	97
Şekil 5.69 $N_u=1$, $N_2=2$ ve $\lambda=0.5$ için vana açıklığının zamanla değişim grafiği.....	97
Şekil 5.70 $N_u=1$, $N_2=2$ ve $\lambda=0.05$ için sıvı seviyesinin. zamanla değişim grafiği.....	98
Şekil 5.71 $N_u=1$, $N_2=2$ ve $\lambda=0.05$ için vana açıklığının zamanla değişim grafiği.....	98
Şekil 5.72 $N_u=1$, $N_2=2$ ve $\lambda=0.005$ için sıvı seviyesinin zamanla değişim grafiği.....	99
Şekil 5.73 $N_u=1$, $N_2=2$ ve $\lambda=0.005$ için vana açıklığının zamanla değişim grafiği.....	99
Şekil 5.74 Fuzzy sıvı seviye kontrol deneyinin MATLAB/Simulink blok diyagramı..	101
Şekil 5.75 Fuzzy kontrol deneyinde sıvı seviyesinin zamanla değişim grafiği (set=3 dm).....	103
Şekil 5.76 Fuzzy kontrol deneyinde vana açıklığının zamanla değişim grafiği (set=3 dm).....	103
Şekil 5.77 Fuzzy kontrol deneyinde sıvı seviyesinin zamanla değişim grafiği (set=4 dm).....	105
Şekil 5.78 Fuzzy kontrol deneyinde vana açıklığının zamanla değişim grafiği (set=4 dm).....	105
Şekil 5.79 Fuzzy kontrol deneyinde sıvı seviyesinin zamanla değişim grafiği (set=5 dm).....	107
Şekil 5.80 Fuzzy kontrol deneyinde vana açıklığının zamanla değişim grafiği (set=5 dm).....	107
Şekil 5.81 Fuzzy kontrol deneyinde sıvı seviyesinin zamanla değişim grafiği (set=6 dm).....	109
Şekil 5.82 Fuzzy kontrol deneyinde vana açıklığının zamanla değişim grafiği (set=6 dm).....	109
Şekil 5.83 Magnezyum çökelme prosesinde pH'ın zamanla değişim grafiği	112
Şekil 5.84 Kalsiyum çökelme prosesinde pH'ın zamanla değişim grafiği	113
Şekil 5.85 Kalsiyum-Magnezyum eşanlı çökelme prosesinde pH'ın zamanla değişim grafiği.....	114
Şekil 5.86 Kalsiyum-Magnezyum eşanlı çökelme prosesinde pH'ın PID kontrolü.....	114

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 5.1 Yatışkın hal deney koşulları.....	54
Çizelge 5.2 PRBS etkisi altında dinamik hal deney koşulları.....	66
Çizelge 5.3 Kare dalga etkisi altında dinamik hal deney koşulları.....	68
Çizelge 5.4 Reaksiyon eğrisi ile elde edilen parametre değerleri.....	73
Çizelge 5.5 Cohen-Coon yöntemi ile belirlenen katsayılar.....	74
Çizelge 5.6 Cohen-Coon ayar parametreleri ile yapılan PID kontrol performans değerleri.....	78
Çizelge 5.7 Deneme-Yanılma yöntemi ile belirlenen katsayılar.....	78
Çizelge 5.8 Deneme-Yanılma ile yapılan PID kontrol performans değerleri.....	83
Çizelge 5.9 GPC kontrolü için seviye=3 iken performans değerleri.....	100
Çizelge 5.10 GPC kontrolü için seviye=4 iken performans değerleri.....	100
Çizelge 5.11 GPC kontrolü için seviye=5 iken performans değerleri.....	100
Çizelge 5.12 GPC kontrolü için seviye=6 iken performans değerleri.....	100
Çizelge 5.13 Fuzzy kontrol parametreleri.....	100
Çizelge 5.14 Set=3 dm için fuzzy kontrol parametreleri.....	102
Çizelge 5.15 Set=4 dm için fuzzy kontrol parametreleri.....	104
Çizelge 5.16 Set=5 dm için fuzzy kontrol parametreleri.....	106
Çizelge 5.17 Set=6 dm için fuzzy kontrol parametreleri.....	108
Çizelge 5.18 Fuzzy için kontrol performans değerleri.....	110
Çizelge 5.19 Magnezyum çökelme prosesinde deney süresince ölçülen pH değerleri.....	111
Çizelge 5.20 Kalsiyum çökelme prosesinde deney süresince ölçülen pH değerleri.....	112
Çizelge 5.21 Kalsiyum ve magnezyum eşanlı çökelme prosesinde deney süresince ölçülen pH değerleri.....	113

1. GİRİŞ

Kablosuz iletişim, iki veya daha fazla nokta arasında herhangi bir kablo olmadan bilgi aktarımıdır. Kablosuz iletişimde kablolu iletişime göre kablo hattı döşeme ve bakım onarım gibi maliyetler yoktur. Bilgi alış-verişi havada yayılan elektromanyetik kablolarla gerçekleşmektedir. Herhangi bir kablo bağlantısı olmadığından rahatça hareket edilebilmekte, kullanıcılar için yer ve zaman kısıtlamaları ortadan kalkmaktadır.

Kablosuz iletişim sistemlerinin kurulumu daha hızlı ve basittir. Kablolu sistemlerin kurulamadığı ve çalışmaların tehlikeli olduğu yerlerde kablosuz iletişim ağları ile iletişim imkanı sağlanır. Dağ, tepe, nehir gibi kablolu iletişimi zor olan doğal alanlarda radyo dalgaları ile kablosuz iletişim kolaylıkla sağlanabilir.

Kablosuz iletişim teknolojilerinin uygulama alanları oldukça geniştir. Kablosuz iletişim genel olarak eğitim, sağlık, ulaşım, ticaret, güvenlik, endüstri alanlarında kullanılmaktadır. Yaygın örnekler; telsizler, cep telefonları, kablosuz sabit telefonlar, cep bilgisayarları, kablosuz ağlar ve dijital uydulardır. Kablosuz iletişim sayesinde yakın gelecekte çoğu işin evden yürütülmesi ve böylece trafik, insan yoğunluğu ve çevre kirliliğinin azalması düşünülmektedir (Mumari ve Lotto 2005).

Endüstriyel bir proseste yer alan değişkenler; akış hızı, sıvı seviye, sıcaklık, basınç, derişim vb.'dir. Bir kimyasal prosesin çeşitli değişkenlerini sabit tutabilmek için kontrol sistemleri kullanılmaktadır. Sıvı seviye kontrolü bir kimyasal proses için çok önemli bir işlemdir. Bilgisayar sistemlerinin geliştirilmesi ile birlikte artan endüstriyel proseslerin bilgisayar destekli kontrolü; üretim kalitesinde oluşan farklılığın en aza indirilmesi ve sistem değişkenlerinin gerçek zamanlı olarak takibi açısından büyük fayda sağlamaktadır. Ayrıca proses değişkenlerinin çok sayıda olması bu değişkenlerin on-line bilgisayarlarla anlık ve sürekli olarak kontrol edilmesini zorunlu kılar.

Kimya endüstrisinde ürün elde edebilmek için işletim şartlarının iyi belirlenmesi ve bu işletim şartlarının istenilen değerde tutulması gerekmektedir. 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 (Alpbaz vd. 2011).

Sıvı seviye kontrolü kimyasal prosesler açısından büyük öneme sahiptir. Endüstride sıvıların doldurulduğu tanklarda seviye ölçümünün doğru ve güvenilir cihazlarla yapılması ve sıvı seviyesini belirli seviyede tutmak hem taşmayı önlemek hem de bir yere sabit debide ürün gönderebilmek yönünden önemlidir. Ayrıca sıvı seviyesi, üretimdeki ürünün derişimini doğrudan etkiler. Seviye artarsa derişim azalır, seviye azalırsa ise derişim artar. Her ikisi de istenmeyen durum olup seviye kontrolü sağlanarak optimum seviyenin elde edilmesi kimya prosesleri açısından önemlidir.

Tez kapsamında yapılan çalışmalarda bir proses kontrol simülatör sisteminde sıvı seviye kontrolü gerçekleştirilmiştir. Ön çalışmalarda açık hat dinamik deneyler gerçekleştirilerek sistemin özellikleri belirlenmiştir. Daha sonra ayar değişkeni olarak seçilen sıvı seviye vana açıklığına çeşitli etkiler verilerek çıkış değişkeninin davranışı incelenmiştir. Proses kontrol simülatörünün sıvı seviyesiyle, sıvı seviye kontrol vanası açıklığı arasındaki ilişkiyi verecek modelin bulunması için, farklı giriş sinyalleri (basamak etki, PRBS vb..) uygulanarak sistem tanımlama yapılmıştır. Dinamik çalışmalarda elde edilen işletim koşullarında ve bulunan en uygun model kullanılarak sistemin PID, GPC ve Fuzzy kontrolü gerçekleştirilmiştir. Bunun için kablosuz on-line bilgisayar kontrol sistemleri kullanılmıştır. Endüstride yaygın olarak kullanılan kontrol yöntemi olan PID kontrolü ile de proses kontrol simülatör sisteminin sıvı seviye kontrolü gerçekleştirilmiş ve PID, GPC, Fuzzy kontrol sonuçları performans kriterleri göz önünde bulundurularak karşılaştırılmıştır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Bu çalışma için gerekli ve temel kaynak araştırması kronolojik verilmiştir. Bu çalışmada kullanılan kablosuz sistem ve kontrol yöntemleri olan PID, GPC ve Fuzzy kontrol sistemleri ile ilgili örnekler sunulmuştur.

Zadeh (1965), yaptığı yayınlarda 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, tümleme gibi kavramlar ve bunların özelliklerini göstermiş, fuzzy kümelerde cebirsel işlemleri anlatmıştır.

Zimmerman (1992), 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 gözardı edilemeyeceğini belirtmiştir.

Klir ve Yuan (1995), yaptıkları çalışmada, klasik ve fuzzy kümelerini 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), bu 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 Simulink program kombinasyonları denenmiştir. Örnek olarak hidrolik tipi işletmeler için Kaskat kontrolü vermişlerdir. Kontrol edici olarak PID kullanmışlardır.

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

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

Murari ve Lotto (2005), 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 online veri aktarımı yapılan sistemde termočift ile sıcaklık ve optik sensör ile ışık miktarı voltaj olarak ve pil değeri bilgisayardan takip edilmektedir.

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 işletilen 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.

Sheikhzadeh vd. (2007), yaptıkları çalışmada gerçek zamanlı dinamik optimal kontrol yöntemini kesikli bir kristalizasyona uygulamışlardır. Bu çalışmanın önemli özelliklerinden biri kristalizasyonun oluşumunun ve büyümesinin gerçek zamanlı tahmin edilmiş olmasıdır. Bunun için gerçek zamanlı tek ve çoğul özellikte optimizasyon teknikleri kullanmışlardır. Doygunluk anı FTR spektrofotometre ile tayin edilmiştir. Kristalizasyon için matematiksel bir model oluşturulmuş, sonlu farklar yöntemi ile çözülmüştür. Sonuçta çok amaçlı optimizasyon kontrolü ile kristal taneciklerinde daha iyi boyutta ürün elde edilmiştir.

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 faktörünün) göreceli küçük

değerleri seçildiğinde, pH değeri kontrol değişkeni olarak set noktasına erişmiş fakat salınımlı davranış sergilemiştir. Uygun λ değeri genetik algoritma (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 geliştirmişler. 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 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 8 m 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 sensör ve kablosuz modül olmak üzere iki tür modül 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 ölçümelerini 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.

Barroca vd. (2013) inşaat mühendisliği yapıları için, beton içindeki sıcaklık ve nem değişimini takip etmek üzere kablosuz sensör izleme sistemi geliştirilmiştir. Bu sistem ile beton yapısının özellikle ilk evrelerde ve katılaşma sürecinde hem sıcaklık hem de nem değişimlerinin gözlenmesi amaçlanmıştır. Küp şeklindeki beton kalıplarının içinde sıcaklık ve nem değerlerinin aynı anda izlenebileceği iki farklı tür sensör kullanılmıştır.

Yapılan kaynak araştırması sonucu kablosuz bir kontrol sistemi için iki gelişmiş kontrol sisteminin uygulanmasına karar verilmiştir. Çalışmada sırasıyla PID, GPC ve Fuzzy kontrol yöntemleri denenmiştir. Literatür ile kıyaslandığında, yapılan çalışmanın özgün bir çalışma olduğuna karar verilmiştir. Aynı koşullarda gerçekleştirilen kablosuz seviye kontrol deneylerinde kullanılan kontrol yöntemlerinin etkinliği ve seviye kontrolündeki performansları deney sonuçları karşılaştırılarak belirlenmiştir.

3.KURAMSAL TEMELLER

3.1 Kablosuz Ağlar

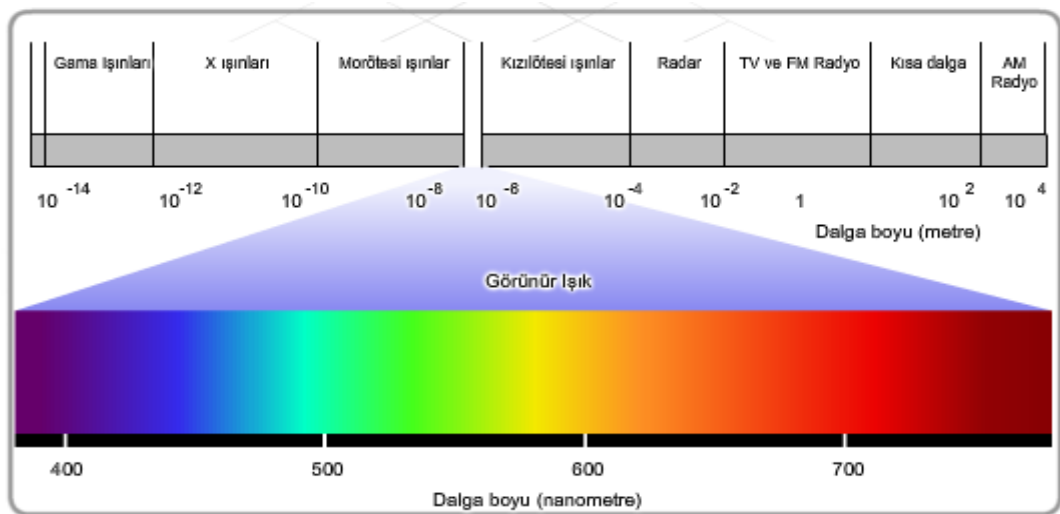
3.1.1 Kablosuz teknolojiler

Kablosuz iletişim, kablolu iletişimin yanı sıra bir noktadan başka bir noktaya kablo hattı kullanmadan veri, ses veya görüntü taşınmasına denir. Buna göre kablosuz iletişimi kablolu iletişimden ayıran önemli nokta iletim ortamı olarak havanın kullanılmasıdır. Modern kablosuz iletişim, Heinrich Rudolph Hertz'in radyo dalgası olarak bilinen elektromanyetik dalgaları keşfetmesiyle 1800'li yılların sonunda başlar. Guglielmo Marconi 1901 yılında radyo dalgalarını kullanarak Atlantik Okyanusu'nun karşısına kablosuz telgraf ile mesaj göndermiştir. 1920'de radyo telgraf ve radyo telefonlar kullanılmaya başlanmıştır. 1940'lı yıllarda yapılan gelişmiş radar sistemiyle kısa dalga boyları kullanılarak radyo mesajlarının taşınması gerçekleştirilmiştir. Dalga boyu küçük olan bu dalgalar günümüzde mikrodalga olarak bilinir. Mikrodalgalar, daha çok bilgiyi daha büyük hızla ve daha güvenilir taşımayı mümkün kılar. Daha sonra geliştirilen "Spread spectrum (Dağınık Spektrum)" teknolojisi ile veriler daha güvenli olarak taşınmaya başlanmıştır. 1950'li yıllarda radyo tabanlı "paging system" ile radyo teknolojisi kullanarak kıtalar arasında ses ve telgraf alış-verişi gerçekleştirilir. 1983 yılında hücresel telefonların çıkması ile kablosuz ağ teknolojileri kullanıp gruplar hâlinde bilgisayarların birbirlerine bağlanması için yeni sistemler geliştirilir. Bununla birlikte "IEEE" standartları ortaya çıkar. Her yeni teknolojinin gelişmesiyle kişilerin yaşama şekillerini değiştiren ilerlemeler meydana gelmiştir. Bu bağlamda günümüzde kablosuz erişim teknolojisi ile çalışan taşınabilir bilgisayar, masaüstü bilgisayar, el bilgisayarı, kişisel sayısal yardımcı (PDA- Personel Digital Assistant), cep telefonu, kalemli bilgisayar ve çağrı cihazları gibi aygıtlar kullanılır hâle gelmiştir(Çölkesen ve Örencik 2002).



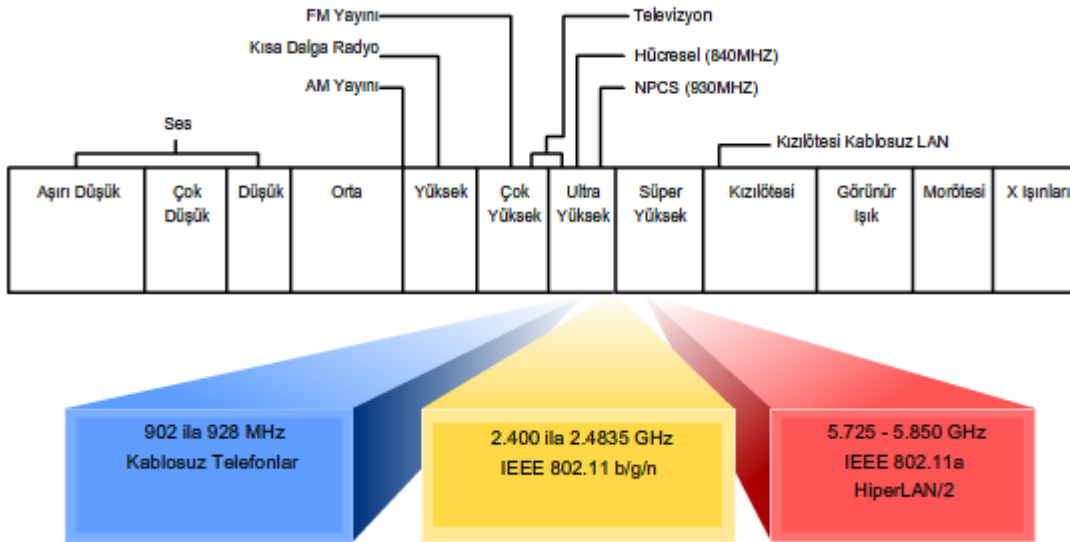
Şekil 3.1 Kablosuz iletişim

Kablosuz teknolojiler, cihazlar arasında bilgi taşımak için elektromanyetik dalgalar kullanır. Elektromanyetik dalga hava ortamında bulunur. Elektromanyetik dalga içerisinde gama ışını, x-ışını, kızıl ötesi, mor ötesi, radar ve radyo ışını dalgaları yer alır. Her bir dalganın farklı bir dalga boyu ve frekansı vardır. Fakat hepsi aynı hızla hareket eder. Eğer dalgalar, dalga boyu ve frekanslarına göre düzenlenirse “Elektromanyetik Spektrum (Tayf)” elde edilmiş olur.



Şekil 3.2 Elektromanyetik spektrum

Bazı elektromanyetik dalga türleri veri taşımak için uygun değildir. Çünkü elektromanyetik tayfın bu bölümleri FCC(Federal Communications Commission – Federal iletişim Komisyonu) tarafından yönetilir ve belirli uygulamalar için çeşitli kuruluşlara lisanslanır. Tayfın diğer alanları ise herhangi bir kısıtlama olmadan endüstri, bilim ve tıp alanlarında genel kullanım için ayrılmıştır. Kablosuz teknolojiler, lisans ve kullanım ücreti gerektirmeyen ISM (Industrial, Scientific, Medical – Endüstri, Bilim, Tıp) frekans bantlarında çalışmaktadır. Bu frekansları kullanan kablosuz (Wireless) cihazlar ile kablosuz telefon, mikrodalga gibi cihazlar arasında girişim (enterferance) diye adlandırılan frekans çarpışmaları meydana gelebilir ve bu girişimler performans düşüşüne neden olabilir.



Şekil 3.3 Radyo dalgaları frekans aralığı

Genel kablosuz iletişim için kullanılan en yaygın dalga boyları arasında Kızılötesi ve Radyo Frekansı bandının bir bölümü yer alır.

3.1.1.1 Kızıl ötesi

Kızıl ötesi (IR: Infrared), nispeten daha düşük seviyeli bir enerji olup duvar veya diğer nesnelerden geçemez. Radyo frekanslarıyla değil, ışık darbeleriyle çalışırlar. Bu nedenle

veri iletiminin olması için iki cihazın birbirini görmesi gerekir. Kişisel Sayısal Yardımcı (PDA), kişisel bilgisayar, uzaktan kumanda aygıtları, kablosuz fareler, kablosuz klavyeler gibi aygıtlar arasında bağlantı ve veri taşıma amacıyla kullanılabilir. Kızıl ötesi Doğrudan Erişim (IrDA) bağlantı noktası olarak bilinen özel bir iletişim bağlantı noktası, aygıtlar arasında bilgi alışverişi yapılmasını sağlamak için kızıl ötesi bağlantısı kullanır. Kızıl ötesi ile cihazlar arasında yalnızca bire bir bağlantı gerçekleştirilebilir ve 900 MHz hızında veri iletimi gerçekleştirilebilir. Düşük güç tüketimi, radyo dalgalarından etkilenmemesi, kapalı ortamlarda izinsiz dinlemeye ve bozucu etkilere karşı tam bir güvenlik sağlaması ve herhangi bir lisans gerektirmemesi kızıl ötesi teknolojinin avantajlarıdır. Dezavantajları ise iletişim mesafesinin kısa olması (10-15 m), sinyallerin katı cisimleri geçememesi ve hava şartlarından etkilenmesidir.

3.1.1.2 Radyo frekansı

Radyo frekansı (RF) dalgaları duvarlardan ve diğer nesnelerden geçerek kızıl ötesinden daha geniş bir aralık kullanır. RF bantlarının belirli alanları kablosuz yerel alan ağ (WLAN), kablosuz telefon ve bilgisayar çevresel aygıtları gibi lisanssız aygıtların kullanımına ayrılmıştır. Bu alanlar, 900 MHz, 2.4 GHz ve 5 GHz frekans aralıklarındadır. 2.4 GHz ve 5 GHz bantları kullanan teknolojiler, çeşitli IEEE(Elektrik Elektronik Mühendisleri Enstitüsü) 802.11 standartlarına uygun modern kablosuz LAN teknolojileridir. Bunlar daha yüksek güç düzeyinde iletim sağlayıp daha geniş aralık sunarak bluetooth teknolojisinden ayrılır (Çölkesen ve Örencik 2002).

3.2 Kablosuz Ağ Çeşitleri

3.2.1 Kablosuz kişisel alan ağ

Kablosuz kişisel alan ağ (WPAN: Wireless Personal Area Network), yakın mesafedeki elektronik cihazları (PDA), fare, klavye, cep telefonu, dizüstü bilgisayar vb.) kablosuz

olarak birbirine bağlayan ağlardır. Kablosuz kişisel alan ağlar diğer ağlara kıyasla daha düşük veri hızına ve daha kısa iletişim mesafesine sahiptir. Kablosuz kişisel alan ağların hızları 1 Mbps ve kapsamı 10 m civarındadır. Bu ağlar HomeRF ve Bluetooth teknolojilerini uygulamaları için kullanılır.

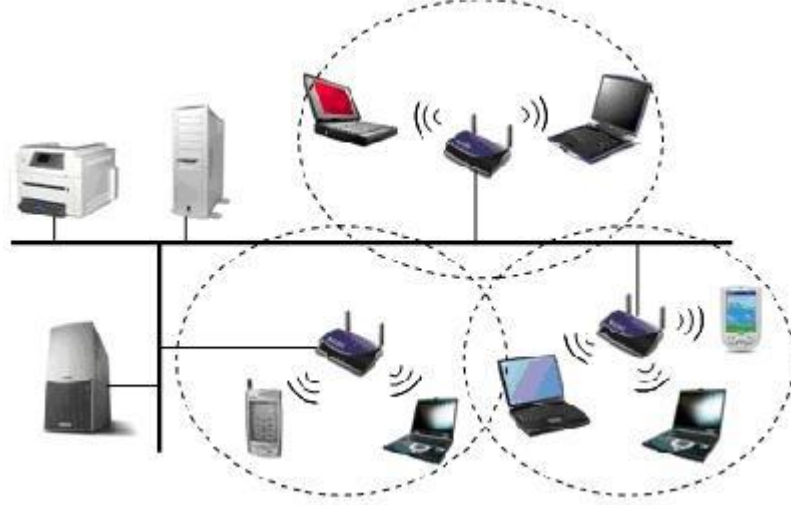


Şekil 3.4 Kablosuz kişisel alan ağı (WPAN)

3.2.2 Kablosuz yerel alan ağ

Kablosuz yerel alan ağ (WLAN: Wireless Local Area Network), iki yönlü geniş bant veri iletişimi sağlayan iletim ortamı olarak kablo yerine Radyo Frekansı(RF) veya Kızıl ötesi(IR) ışınları kullanan ve bina, kampüs gibi sınırlı alanda çalışan iletişim ağlarıdır. Kablosuz yerel alan ağları genellikle kablolu yerel alan ağın sınırlarını genişletmek için kullanılır. Bu ağlar IEEE 802.11 standartlarına göre çalışır. Kablosuz LAN (WLAN) sistemleri; kullanıcılara kablosuz geniş bant internet erişimi, sunucu üzerindeki uygulamalara ulaşım, aynı ağa bağlı kullanıcılar arasında elektronik posta hizmeti ve dosya paylaşımı gibi çeşitli imkânlar sağlamaktadır. Kablosuz LAN sistemlerinin

mesafesi 25-100 m civarındadır. Dünyada yaygın olarak kullanılan iki tür kablosuz LAN teknolojisi mevcuttur. Bunlardan birisi Amerika tabanlı IEEE 802.11x ve diğeri ise Avrupa tabanlı HiperLAN sistemleridir.

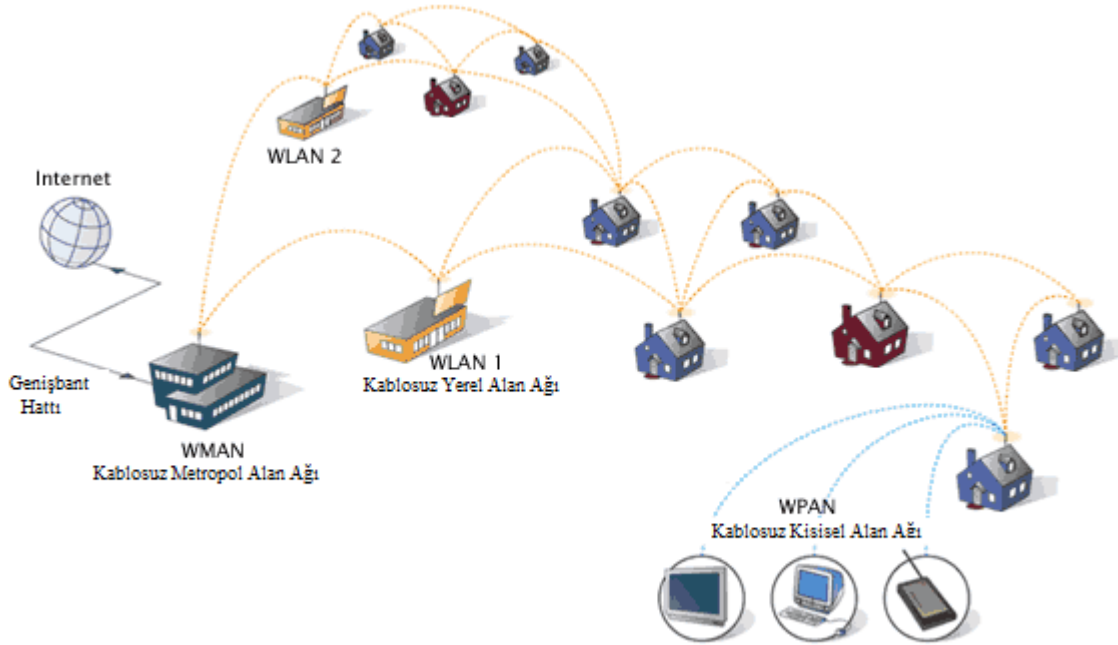


Şekil 3.5 Kablosuz yerel alan ağı (WLAN)

3.2.3 Kablosuz metropol alan ağı

Bir şehri kapsayacak şekilde yapılandırılmış iletişim ağlarına veya birbirinden uzak yerlerdeki yerel bilgisayar ağlarının birbirleri ile bağlanmasıyla oluşturulan ağlara Metropol Alan Ağları (MAN) denilmektedir. Metropol alan ağlarda (MAN) ve geniş alan ağlarda (WAN) genellikle kiralık hatlar veya telefon hatları kullanılmaktadır. Bu tür alanlarda kablo yerine uydu veya RF iletişim teknolojileri kullanılması durumunda Kablosuz Metropol Alan Ağları (WMAN: Wireless Metropol Alan Ağ) olarak isimlendirilmektedir. Kablosuz MAN'lar çok sayıda şubesi bulunan kurum ve büyük şirketler ile dağınık yerleşime sahip üniversiteler gibi yapılarda yaygın olarak kullanılmaktadır. IEEE 802.16 standardı WMAN için geliştirilmektedir. IEEE 802.16 standardı günümüzde WIMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access -

Mikrodalga Erişim için Dünya apında Birlikte alışabilirlik) olarak isimlendirilmektedir (lkesen ve rencik 2002).



şekil 3.6 Kablosuz metropol alan ağı (WMAN)

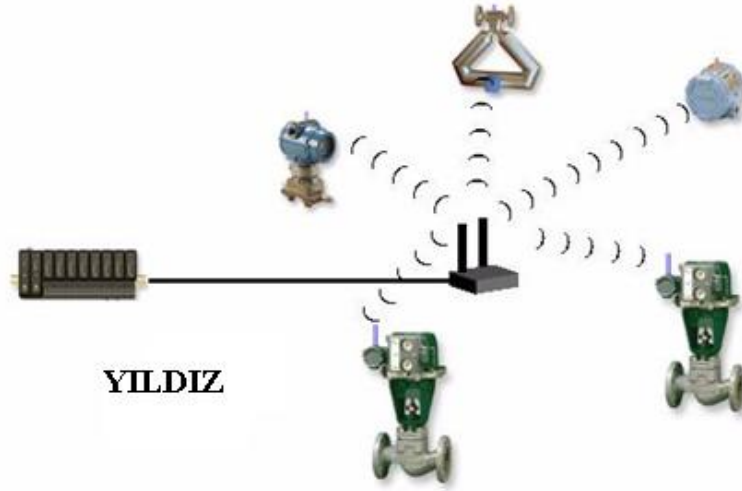
3.3 Kablosuz lüm ve Kontrol Sistemleri

Kablolu ağılar modüllerin konumu ve ağı bileşenlerinin konumu tarafından belirlenen düzen ve yapıya sahiptir. Kablosuz ağıların yapısı ağı bileşenlerinin mantıksal kabiliyeti ile tanımlanır. Kablosuz ağıları tanıtmak kolay değıldir.  çeşit kablosuz ağı yapısı vardır. Bunlar; yıldız, ağaç ve örgü tipi ağı yapılarıdır.

3.3.1 Yıldız tipi kablosuz ağı yapısı

Kablosuz ağılardaki en tipik ve en geçerli diziliş yıldız tipi olan kablosuz ağı yapısıdır. Bunlarda erişim noktası (modül) ortadadır. Her bir kablosuz alet sadece bu erişim

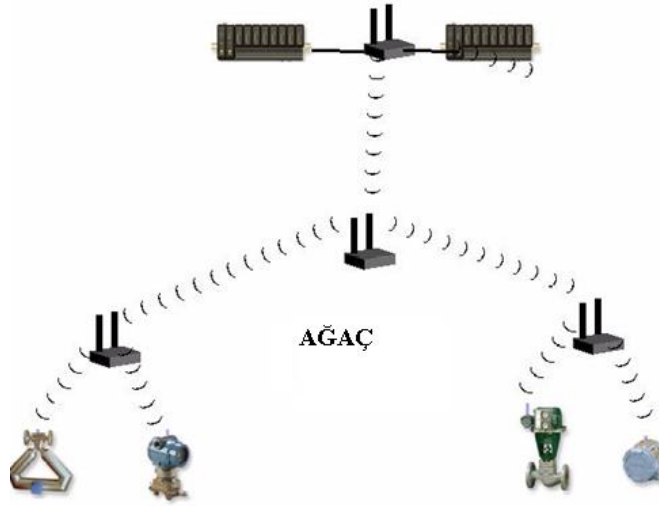
noktası ile veri alış-verişi yapıp iletişim kurabilmektedir. Kablosuz aletlerin kendi aralarında veri aktarımı gerekiyorsa bu iletişim kablolar aracılığı ile yapılmaktadır. Bu ağ tipi bilinmedik, ikinci bir sinyal gelmedikten sonra hiçbir sorun çıkarmamaktadır.



Şekil 3.7 Yıldız tipi kablosuz sistem yapısı (Caro 2008)

3.3.2 Ağaç tipi kablosuz ağ yapısı

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



Şekil 3.8 Ağaç tipi kablosuz sistem yapısı (Caro 2008)

3.3.3 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.



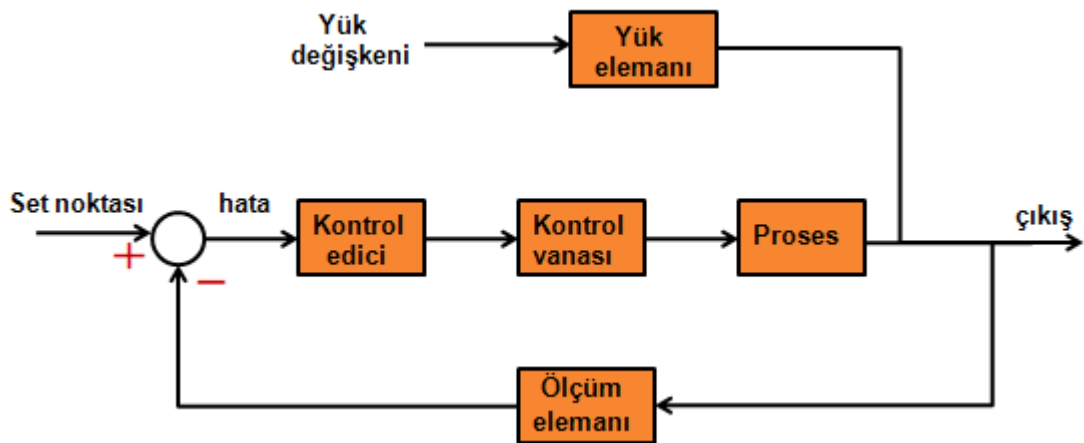
Şekil 3.9 Örgü tipi kablosuz sistem yapısı (Caro 2008)

3.4 Kablosuz Ölçüm ve Kontrol Sistemlerinin Kullanım Alanları

Kablosuz ölçüm ve kontrol sistemleri; kablosuz forklift çağrı sistemi, kablosuz acil yıkama uyarı sistemi, kablosuz toprak nem-sıcaklık ölçüm sistemi, su deposu seviye izleme ve kontrol sistemi ve döner kiln sıcaklık izleme gibi kullanım alanları vardır (Chen vd. 2004).

3.5 Sıvı Seviye Kontrolü

Bir prosesin çıkış değişkenini belli bir değerde tutmak için, ayarlanabilen değişkenin değiştirilmesine 'Proses Kontrol' denir. İki türlü kontrol sistemi mevcuttur. Birincisi açık hat kontrol sistemi diğeri ise kapalı hat kontrol sistemidir. Kapalı hat kontrol sistemlerinde sistem çıkışından sürekli olarak ölçüm yapılır. Ölçülen değer istenilen değerle karşılaştırılarak hata sinyali oluşur. Oluşan hata sinyali kontrol ediciye gönderilir. Kontrol edici gerekli işlemi yaparak kontrol vanasına kapanması ya da açılması sinyalini gönderir. Kontrol vanası açılarak ya da kapanarak prosese etki eder ve yeni bir çıkış alınır. Ölçülen değerle istenilen değer eşitlenene kadar bu döngü devam ederek kontrol sağlanır [Alpbaz vd.2013].



Şekil 3.10 Kapalı Hat Kontrol Edici Blok Diyagramı

3.6 PID Kontrol

PID algoritması üretime yönelik faaliyet gösteren endüstride en çok bilinen ve kullanılan bir geri beslemeli kontrol şeklidir. Kolay, anlaşılabilir ve güvenilir algoritması ile mükemmel performans sağlamakta, değişken ve dinamik karakteristik özellikleri ile sanayide en çok tercih edilen kontrol tipi olarak ön plana çıkmaktadır (Aldemir 2014).

3.6.1 Oransal kontrol (P)

Oransal mod; kontrol edicinin, kontrol edilecek sistemden gelen giriş sinyaline (hata sinyali; E_p) orantılı olarak ayarlanmasını sağlar.

$$P(t) = K_p E_p(t) + P_o \quad (3.1)$$

(3.1) eşitliğinde verilen $P(t)$ kontrol edici çıkış sinyalini, K_p hata sinyali ve çıkış sinyali arasındaki oransal sabiti, $E_p(t)$ hata sinyalini, P_o başlangıçtaki kontrol edici çıkış sinyalini göstermektedir.

3.6.2 İntegral kontrol (I)

Oransal kontrole ek olarak gelen integral terimi, proseste oluşabilecek offset hatalarını tanımlı zaman içerisinde doğrulamak için kullanılır.

$$\frac{dB}{dt} = K_i E_p \quad (3.2)$$

$$P(t) = K_i \int_0^t E_p(t) dt + p(0) \quad (3.3)$$

(3.3) eşitliğinde verilen K_i integral sabiti, dB/dt kontrol edicinin çıkış sinyalinin değişim hızını, $P(t)$ kontrol edici çıkış sinyalini, $P(o)$ başlangıçtaki kontrol edici çıkış sinyalini göstermektedir.

3.6.3 Türevsel kontrol (D)

Hataya doğrudan etki etmez ama hatanın değişim hızını etkiler.

$$P(t)=K_d(dE_p/dt)+P(o) \quad (3.4)$$

(3.4) eşitliğinde K_d türevsel sabiti, dE_p/dt hatanın değişim hızını, $P(t)$ kontrol edici çıkış sinyalini, $P(o)$ başlangıçtaki kontrol edici çıkış sinyalini göstermektedir.

3.7 Sistem Tanımlama

Sistem tanımlama, proses kontrol çalışmalarının başarısını etkileyen oldukça önemli bir işlemdir. Dinamik bir sistemde gerçekleştirilen deneysel çalışmalarda elde edilen veriler kullanılarak sistemi en iyi şekilde tanımlayan matematiksel model belirlenmeye çalışılır. Sistem tanımlama bir prosesten elde edilen giriş-çıkış değişkenleri verilerinin öngörülen modele uygunluğunun araştırıldığı bir yöntemdir. Sisteme herhangi bir etki (basamak, PRBS, kare dalga gibi...) verilmesi ve belli zaman aralıklarında elde edilen çıkış değişkeni verileri kullanılarak prosesin dinamik davranışını veren matematiksel model parametreleri bulunur (Akpınar 2011).

Yapılan çalışmalarda PID parametrelerinin bulunması için ‘Reaksiyon Eğrisi Metodu’ kullanılmıştır. Cohen-Coon ayarlama yöntemi ile PID kontrol edici parametreleri hesaplanmıştır.

Birinci yatışkın halden ikinci yatışkın hale geçiş zamana karşı grafiğe aktarılır. Böylece reaksiyon eğrisi elde edilmiş olunur. Reaksiyon eğrisine tırmanma noktasından teğet çizilir. Çizilen teğet yardımıyla “ Proses Zaman Sabiti ” ve “ Proses Ölü Zamanı ” belirlenir.

Prosesin birinci mertebeden ölü zamanlı transfer fonksiyonu veren Eşitlik 3.5'te verilmiştir.

$$\frac{K * e^{-\theta s}}{\tau s + 1} = G(s) \quad (3.5)$$

(3.5) eşitliğinde verilen K proses kazancını, τ proses zaman sabitini, θ proses ölü zamanını ve G(s) transfer fonksiyonunu göstermektedir.

Basamak etkisi verilen sistemin çıkış değişkeninin zamanla değişen değerleri grafiğe geçirilir. Reaksiyon Eğrisi Metodunu kullanarak sistem parametreleri; τ , θ , $K = \Delta y / \Delta u$ bulunur.

3.8 GPC Kontrol Sistemleri

3.8.1 Ardışık sistem modelleri

Sistem modeli kesikli bir zaman algoritmasıyla gösterilmiştir. Sistem girdisi $u(t)$ ve sistem çıktısı $x(t)$ kesikli zaman yapısındadır. $u(t)$ ve gürültü olmaksızın sistem yanıtını $x(t)$ doğrusal bir fark eşitliği şeklinde aşağıdaki gibi tarif edilir.

$$x(t) + a_1 x(t-1) + \dots + a_{n_a} x(t-n_a) = b_0 u(t) + b_1 u(t-1) + \dots + b_{n_b} u(t-n_b) \quad (3.6)$$

Yukarıdaki denklem z^{-i} gecikme operatörü ile gösterilebilir.

$$z^{-i} x(t) = x(t-i) \quad (3.7)$$

Eşitlik (3.6) kesikli zaman için iletim fonksiyonu ile ifade edilirse;

$$x(t) = \frac{B}{A} u(t) \quad (3.8)$$

Burada A ve B z^{-i} terimlerinin polinomları şeklinde verilmektedir.

$$A(z^{-1}) = 1 + a_1 z^{-1} + \dots + a_{n_a} z^{-n_a} \quad (3.9)$$

$$B(z^{-1}) = b_0 + b_1 z^{-1} + \dots + b_{n_b} z^{-n_b} \quad (3.10)$$

A ve B polinomları sırasıyla 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 (Bayram 2010).

3.8.2 Yük modelleri

Yükler birkaç yoldan sistemde oluşur. Yük değişkeni olan $s(t)$ sistemin doğasından gelen gelişigüzel kaynaklı bir özellikte olup, prosesin kontrol edilen değişkeni üzerinde etkilidir. Bu nedenle proses kontrolde önemli bir faktör olarak ortaya çıktığından ilgili çıkış değişkenine eklenir. Model özelliğine göre yükler ikiye ayrılmaktadır.

I. Doğasından kaynaklanan yükler

Matematiksel bağıntı ile tekrarlanabilen ve tekrarlandığı zaman aynı sonuçları veren tanımlara doğasından kaynaklanan sinyal denir. Çeşitli tiplerde olabilir.

a) sabit offset

$$s(t) = d \quad (3.11)$$

Burada d offset sabitidir.

b) Zamanla değişen bir offset

Bu durumda s(t);

$$s(t) = D(t) = d_0 + d_1 t + \dots + d_{n_d} t^{n_d} \quad (3.12)$$

D(t)'yi A'ya bölerek;

$$s(t) = \frac{D(t)}{A} \quad (3.13)$$

elde edilir.

c) Ölçülebilen kaynaktan gelen etkiler

$$s(t) = \frac{D}{A} v(t) \quad (3.14)$$

II. Random (gelişigüzel) yükler

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

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

Burada,

$$C = 1 + c_1 z^{-1} + c_2 z^{-2} + \dots + c_{n_c} z^{-n_c} \quad (3.16)$$

Gelişigüzel yük modelleri için aşağıda iki tane örnek gösterilmiştir.

a) ARMA (Auto Regressive Moving Average):

Bu model aynı zamanda durgun farklar modeli olarak da bilinmektedir.

$$s(t) = s(t-1) + \frac{C}{A} e(t) \quad (3.17)$$

b) ARIMA (Auto Regressive Integrated Moving Average)

Yukarıda gösterilen durgun farklar modeli bazı sistemleri ifade edemez. Bu nedenle ilgili modele integral terimi ilave edilerek yük modeli uygun hale getirilir.

$$s(t) = s(t-1) + \frac{C}{A} e(t) \quad (3.18)$$

$$s(t) = \frac{C}{\Delta A e(t)} \quad (3.19)$$

$$\Delta s(t) = \frac{C}{A} e(t) \quad (3.20)$$

Karmaşık olmayan çözümler için $C = 1 = A$ alınır ve bu durumda $e(t)$ 'ye beyaz gürültü denir. Böylece $(e(t) / \Delta A)$ terimi 'Brownian motion' veya 'Random walk' olarak isimlendirilir. Ayrıca ilgili terim beyaz gürültünün integrali olarak da bilinir (Bayram 2010).

3.8.3 Toplam sinyal modeli

Eğer bir sistemde yukarıdaki yüklerin hepsi varsa genel bir model oluşturulabilir.

$$s(t) = \frac{D(t)}{A} + \frac{D}{A}v(t) + \frac{C}{A}e(t) \quad (3.21)$$

Yukarıdaki gösterilen tanımlardan sonra tüm yük elemanlarının sistemin genel çıktı ve girdi değişkenlerini içeren modele ilavesi ile belirlenen yeni modele ARMAX denir. Böylece toplam ARMAX modeli eşitlik 3.22'de gösterilmiştir.

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

Yukarıda gösterilen tüm yük ifadeleri aşağıda özetlenirse;

- i) Sabit offset oluşumu prosesin doğasından veya algılayıcısı olan cihazlardan kaynaklanabilir.
 - ii) $v(t)$ ölçülebilen fakat ileri beslemeli kontrol sistemi ile kontrol edilemeyen bir sinyal olabilir.
 - iii) $e(t)$ sistemin ölçülebilen çıktısını etkileyen bir gelişigüzel yüküdür.
- Sadece (iii) göz önüne alınırsa,

$$y(t) = \frac{B}{A}u(t-1) + \frac{C}{A}e(t) \quad (3.23)$$

Bu modele CARMA veya ARMAX modeli denir. Eğer offset eklenirse;

$$Ay(t) = Bu(t-1) + Ce(t) + d \quad (3.24)$$

Bu modele ise genelleştirilmiş ARMAX veya CARMA denir. Bazı durumlarda eşitlik 3.24'ü integre etmekle ARIMAX ya da CARIMA elde edilir (Bayram 2010).

$$y(t) = \frac{B}{A}u(t-1) + \frac{C}{\Delta A}e(t) \quad (3.25)$$

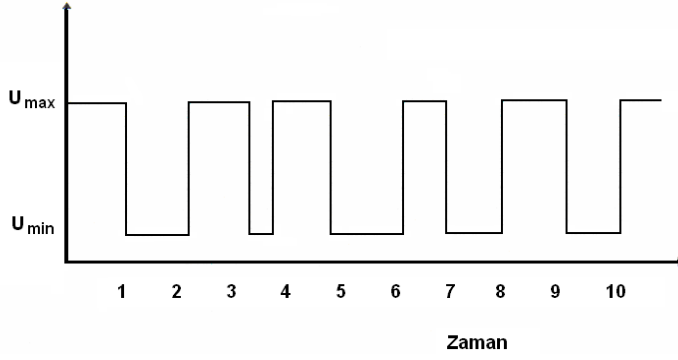
3.8.4 Bir prosesin doğrusal model parametrelerinin belirlenmesi

Kesikli doğrusal filtreleme problemi, katsayı matrisi $P = UDU^T$ olarak çarpanlara ayrılması ile ele alınır. Verimli ve kararlı güncelleştirme işlemi birim üst üçgensel çarpan U ve diyagonal çarpanı D için geliştirilmiştir. Bu algoritmanın hesaplama süresi kısa, kararlı ve boyut esnekliğine sahiptir.

Bu işleme UDU^T veya ekonomik bilgisayar zamanlı parametre hesaplama algoritması denir. İlgili algoritma için ilk önce prosesin girdi ve çıktı ölçümlerinin yapılması gerekir. Sistem açık-hat halinde iken sistemin giriş veya ayarlanabilir değişkenine bir PRBS'lik etki verilir ve çıkış değişkenlerinin değerleri kaydedilir (Bayram 2010).

3.8.5 Gelişigüzel ikili sinyal etkileri (PRBS)

Parametre tahmini için test sinyali olarak kullanılır. Bu konu genel olarak rastgele proses etkileri için deneysel tasarım olarak bilinmektedir. Rastgele proses etkileri sıklık temelinde, iletim fonksiyonları için yapılan çözümleri basitleştirmek için seçilir.



Şekil 3.11 PRBS sinyalinin gösterimi

PRBS sinyallerinin prosese verdiği değişimler genelde, proses işletim şartları içerisinde olmalıdır. PRBS sinyalleri ile parametre tahmini için genelde Bierman algoritması kullanılır. Bunun için her PRBS sinyali değiştiğinde Bierman algoritması bir set parametre hesaplar. Bu parametre setleri PRBS sinyalleri değişikçe farklı değerler alır. PRBS sinyalleri, prosesi belli işletim şartlarında taradığından bulunan parametreler de tüm işletim şartları için geçerlidir. Bu nedenle kontrol amacıyla parametre tahmininde en uygun değerlerin seçimi sağlanır.

Yinelemeli parametre tahmini yapmak için (3.24) model eşitliğinden yararlanılır. Bu eşitlik aşağıdaki şekilde de yazılabilir.

$$y(t) = x^T(t)\theta + e(t)$$

(3.26)

Burada θ bilinmeyen parametrelerin bir vektörünü gösterir.

$$\theta^T = [-a_1, \dots, a_{n_a}, b_0, \dots, b_{n_b}, d_0, c_1, \dots, c_{n_c}] \quad (3.27)$$

X(t) veri vektörü olup sistemin girdi/çıkı değişkenlerini içerir.

$$X^T = [y(t-1), \dots, y(t-n_a), u(t-1), \dots, u(t-n_b-1), 1, e(t-1), \dots, e(t-n_c)] \quad (3.28)$$

Bilinmeyen parametrelerin hesaplanması için Bierman (1976) U-D algoritması kullanılır. Algoritma aşağıda açıklanmıştır.

1.Basamak : f ve g vektörleri hesaplanır.

$$f = U^T(t-1)X(t) \quad (3.29)$$

$$g = D(t-1)f \quad (3.30)$$

U(t) üst üçgen matris formundadır.

$$U(t) = \begin{bmatrix} 1 & u_{12}(t) & . & . & . & u_{1m}(t) \\ 0 & 1 & u_{23}(t) & . & . & u_{2m}(t) \\ . & 0 & 1 & . & . & . \\ . & . & . & . & . & . \\ 0 & 0 & 0 & . & . & u_{m-1,m}(t) \end{bmatrix} \quad (3.31)$$

D(t) bir diyagonal matris formundadır.

$$D(t) = \begin{bmatrix} d_1(t) & 0 & 0 & . & . & . & 0 \\ & d_2(t) & & & & & . \\ . & . & . & . & . & . & . \\ . & & & & & & \\ 0 & 0 & 0 & 0 & & & d_m(t) \end{bmatrix} \quad (3.32)$$

P katsayı matrisi şu şekilde tanımlanır.

$$P(t) = U(t)D(t)U^T(t) \quad (3.33)$$

Başlangıçta P(0) birim matris olarak alınıp α ile çarpılırsa,

$$P(t) = \alpha I \quad (3.34)$$

2.Basamak:: $\zeta(t)$ belirlenir.

$$\zeta(t) = y(t) - X^T(t)\theta(t-1) \quad (3.35)$$

3.Basamak:

J = 1, m kadar (a) ve (b) tekrar edilir.

$$(a) \quad \beta_j = \beta_{j-1} + f_i g_i \quad (3.36)$$

$$d_j(t) = \beta_{j-1} d_j(t-1) / \beta_j \lambda \quad (3.37)$$

$$v_j(t) = g_f \quad (3.38)$$

hesaplanır.

(b) $i = 1, j - 1$ 'e kadar ($j > 1$) için

$$u_{ij}(t) = u_{ij}(t-1) - v_i f_j / \beta_{j-1} \quad (3.39)$$

$$v_i = v_i + u_{ij}(t-1) v_j \quad (3.40)$$

4.Basamak: Bu basamakta v'nin değerleri L'nin elemanları olarak atanır.

$$L^T(t) = [v_1, \dots, v_m] \quad (3.41)$$

5.Basamak: Bu basamakta parametreler güncelleştirilir.

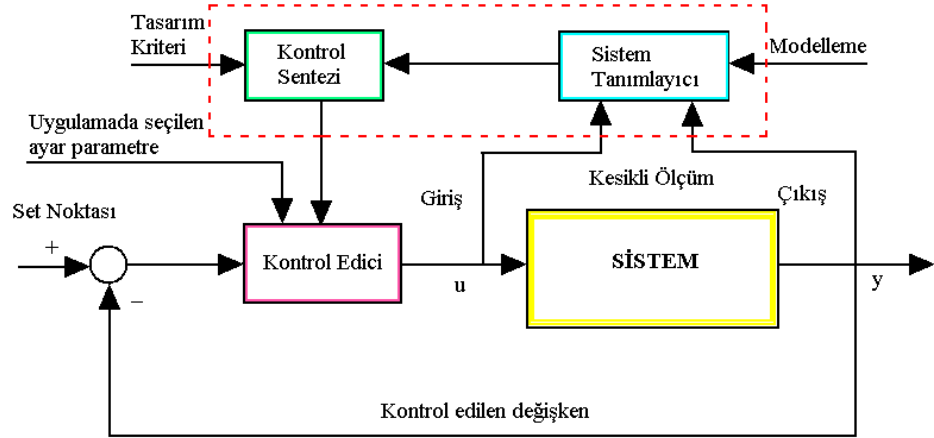
$$\theta(t) = \theta(t-1) + L(t) / \beta_m \quad (3.42)$$

6.Basamak: $t = t + 1$ yazılıp 1. basamağa dönülür.

Model parametrelerinin başlangıç değerleri sıfır alınır (Bayram 2010).

3.8.6 Genelleştirilmiş tahmin edici kontrol (GPC)

Son yıllarda genelleştirilmiş tahmin edici kontrol üzerine yapılan çalışmalar artmıştır. Bu kontrolün STPID ve GMV'den daha iyi bir kontrol sağlamaktadır. GPC sistem çıktısını birkaç örnek alma zamanını göz önüne alarak tahmin eder. Bunun için de gelecek kontrol değerlerini kullanır.



Şekil 3.12 Kendinden ayarlamalı kontrol edici yapısı

Yukarıdaki şekilde kendinden ayarlamalı kontrol edici yapısı görülmektedir. Sisteme giren u değişkeni sistem yapısını tanımlayabilmek için rahatsız edilir. Buda 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 edici parametreleri hesaplandıktan sonra uygulamada seçilen ayar parametresi ile birlikte kontrol ediciye gönderilir. Buradan sistemimize giriş değişkeni olarak bir u çıktısı elde edilir.

Genelleştirilmiş tahmin edici kontrol aşağıda verilen kontrolü güç olan sistemlerin önüne geçebilmektedir.

- Minimum olmayan faz gösteren sistemleri
- Açık-hat kararsız sistemleri
- Değişken veya bilinmeyen ölü zamana sahip sistemleri
- Bilinmeyen dereceden sistemleri de kontrol edebilmektedir.

GPC ile değişen parametre içeren prosesler kararlı olarak kontrol edilir. Model derecesi belli aralıklarda değişen sistemler için 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.

Bu kısımda GPC kontrol yöntemi ile ilgili açıklamalar verilecektir. Bu amaçla çalışmanın başında set noktaları vektörel olarak aşağıdaki şekilde tanımlanır.

$$[r(t+1), r(t+2), \dots, r(t+j)]; \quad i = 1, \dots, j \quad (3.43)$$

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,

$$r(t+j) = \alpha r(t+j-1) + (1-\alpha)r, \quad j=1, 2, \dots \quad (3.44)$$

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 kontrol tasarımını yapabilmek için öncelikle maliyet fonksiyonu minimize edilir.

$$J(u, t) = E \left\{ \sum_{j=N_1}^{N_2} (y(t+j) - r(t+j))^2 + \lambda \sum_{j=1}^{N_u} (\Delta u(t+j-1))^2 \right\} \quad (3.45)$$

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 Maliyel Ufku N_u : Genelde $N_u = 1$ koymak, kabul edilebilir bir kontrol sağlar. Kontrol maliyet ufku'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,

$$Ay(t) = Bu(t-1) + \frac{C}{\Delta} e(t) \quad (3.46)$$

Diophantine eşitliği ise şu şekildedir;

$$C = EA\Delta + z^{-j} F \quad (3.47)$$

(3.47) eşitliğini (3.46)'de yerine koyup $t = t + j$ yazılırsa;

$$y(t+j) = \frac{B}{A} u(t+j-1) + Ee(t+j) + \frac{F}{A\Delta} e(t) \quad (3.48)$$

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.

$$E = 1 + e_1 z^{-1} + \dots + e_{j-1} z^{-j+1} \quad (3.49)$$

Eşitlik (3.46) çekilip (3.48)'de yerine konulursa;

$$y(t+j) = \frac{B}{A} u(t+j-1) + Ee(t+j) + \frac{F}{C} y(t) - \frac{FB}{AC} u(t-1) \quad (3.50)$$

ve

$$y_{t+j} = \frac{F}{C} y(t) + \frac{EB}{C} \Delta u_{t+j-1} + Ee_{t+j} \quad (3.51)$$

Bu eşitlikteki son terim t. zamandaki ölçüm sinyallerinden bağımsız olan veriyi içerir. (3.51)'den (3.52) elde edilir.

$$y_{t+j} = \frac{F}{C} y_t + \frac{EB}{C} \Delta u_{t+j-1} \quad (3.52)$$

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 (3.53) elde edilir.

$$\frac{EB}{C} \Delta u_{t+j-1} = G \Delta u_{t+j-1} + \frac{\Gamma}{C} \Delta u_{t-1} \quad (3.53)$$

$$G = 1 + g_1 z^{-1} + \dots + g_{j-1} z^{-j+1} \quad (3.54)$$

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

$$\frac{EB}{C} = G + z^{-j} \frac{\Gamma}{C} \quad (3.55)$$

(3.52) eşitliği ile (3.55) eşitliği birleştirilirse,

$$\bar{y}_{t+j} = G \Delta u_{t+j-1} + \frac{\Gamma \Delta u_{t-1}}{C} + \frac{F}{C} y_t \quad (3.56)$$

$$\bar{y}_{t+j}|_t = \frac{\Gamma \Delta u_{t-1}}{C} + \frac{F}{C} y_t \quad (3.57)$$

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

$$f = [\bar{y}_{t+1|t}, \bar{y}_{t+2|t}, \dots, \bar{y}_{t+N_2|t}] \quad (3.58)$$

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

$$\bar{u} = [\Delta u_t, \Delta u_{t-1}, \dots, \Delta u_{t+N_u-1}]^T \quad (3.59)$$

Tahmin edilen ve kontrol edilen sistem çıktıları vektörü;

$$\bar{y} = [\bar{y}_{t+1}, \bar{y}_{t+2}, \dots, \bar{y}_{t+N_2}]^T \quad (3.60)$$

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

$$G = \begin{bmatrix} g_0 & 0 & . & . & . & 0 \\ g_1 & g_0 & . & . & . & 0 \\ . & . & . & . & . & . \\ gN_U - 1 & gN_U - 2 & . & . & . & . & g_0 \\ . & . & . & . & . & . & . \\ gN_2 - 1 & gN_2 - 2 & . & . & . & . & gN_2 - N_U \end{bmatrix} \quad (3.61)$$

Bu durum için $N_1 = 1$ alınır. Eşitlik (3.50)'ın minimize edilmesiyle aşağıdaki eşitlik türetilir.

$$J = (\bar{y} - r)^T (\bar{y} - r) + \lambda (\bar{u})^T \bar{u} \quad (3.62)$$

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

$$\bar{u} = (G^T G + \lambda I)^{-1} (r - f) \quad (3.63)$$

Buradaki r set noktası vektörü veya referans sinyali tarif edilirse,

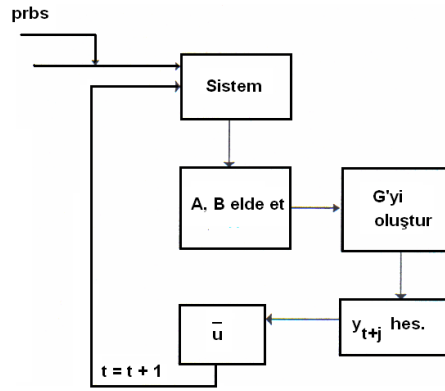
$$r = [r_{t+1}, r_{t+2}, \dots, r_{t+N_2}]^T \quad (3.64)$$

Eşitlik (3.63) 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 (3.63)'deki kontrol kazancı sabit kalır ve sadece f ve r vektörleri her örnek alma zamanı için yeniden bulunur.

GPC algoritması aşağıda sırayla verilmiş olup, şekil 3.13'de gösterilmiştir.

- Sisteme PRBS sinyallerini uygulayarak sistem çıktıları elde edilir.
- Bierman algoritması kullanılarak A ve B polinomunun katsayıları tahmin edilir.
- Bu bölümdeki denklem setleri kullanılarak GPC kontrol çıktısı hesaplanır.
- Zaman artırımı yapılarak tekrar (a)'ya dönülür.



Şekil 3.13 Genelleştirilmiş tahmin edici kontrol algoritması (Bayram 2010)

3.9 Fuzzy Kontrol

3.9.1 Bulanık mantık

Endüstriyel bir süreç denetiminde; sistemin güvenliği ve kararlılığının sağlanması, kolay anlaşılır ve değiştirilebilir olması, sistemin performansının istenen seviyeye çıkması, yatırım açısından ucuz olması istenir. Bu koşulların gerçekleştirilmesi için sistemin yapısının ve dinamik özelliklerinin çok iyi bilinip matematiksel modellemesi gerekir. Bazı sistemler matematiksel modelleme yapılabilecek kadar kesin olarak bilinmeyebilir.

Bazı sistemlerde modelleme doğru şekilde yapılsa bile elde edilen modelin denetleyici tasarımında kullanımı karmaşık problemlere ve oldukça yüksek maliyetlere sebep olabilir. Bu nedenle bazı denetim algoritmalarının belirsiz, doğru olmayan, iyi tanımlanmamış değişken ve karmaşık sistemlere uygulanması mümkün olmayabilir. Bu durumda ya çözüm üretilememekte ya da denetleyicinin performansı iyi olamamaktadır.

Bu gibi durumlarda uzman bir kişinin deneyiminden yararlanılmaya gidilir. Uzman kişi pek az, biraz az, az, pek çok, biraz çok, çok gibi günlük hayatta kullandığımız dilsel niteleyiciler doğrultusunda bir denetim gerçekleştirir. Böylece denetim mekanizması esnek bir yapıya kavuşmaktadır. Temeli insanın herhangi bir sistemi denetlemedeki düşünce ve sezgilerine dayanmakta, böylelikle bir sistemin gerçek durumundan istenilen duruma götürmek için sezilere dayanarak bir denetim stratejisi kullanılacak ve amaca ulaşılacaktır.

İşte bulanık mantık bu tür mantık ilişkileri üzerine kurulur ve makinelere insanların sezilerinden yararlanarak özel verileri işleyebilme ve bunu kullanabilme yeteneği verir. Bulanık mantık (Fuzzy Logic) kavramı ilk kez 1965 yılında California Berkeley Üniversitesinden Prof. Lotfi A.Zadeh'in bulanık mantık veya bulanık küme kuramı adındaki ilk makalelerini yayınlamasıyla duyuldu. Zadeh bu çalışmasıyla insan düşüncesinin bütünüyle bulanık olduğunu, kesin olmadığını belirtmiştir. Bu yüzden 0 ve 1 mantığıyla çalışan boolean mantığı bu düşünce sistemini yeterince ifade edememektedir. Bulanık mantık klasik mantığın aksine iki seviyeli değil çok seviyeli işlemleri kullanmaktadır.

Bulanık sistemlerde denetim kurallarının tanıtımı genellikle daha kolay ve basittir. Çoğu zaman bulanık denetleyiciler daha az kuralla daha yüksek performansta çalışırlar. Bulanık mantık işlemleri problemin analiz edilmesi ve tanımlanması, kümelerin ve mantık ilişkilerinin oluşturulması, mevcut bilgilerin bulanık kümelere dönüştürülmesi ve modelin yorumlanması aşamalarından oluşmaktadır.

Bulanık mantığın kullanılabilmesi için öncelikle uygulanacak sistemin davranışları kurallarla ifade edilebilmeli ve karmaşık bir matematiksel işlem gerektirmemelidir. Aksi takdirde bulanık mantık ile elde edilen sonuçlar hatalara sebep olacaktır.

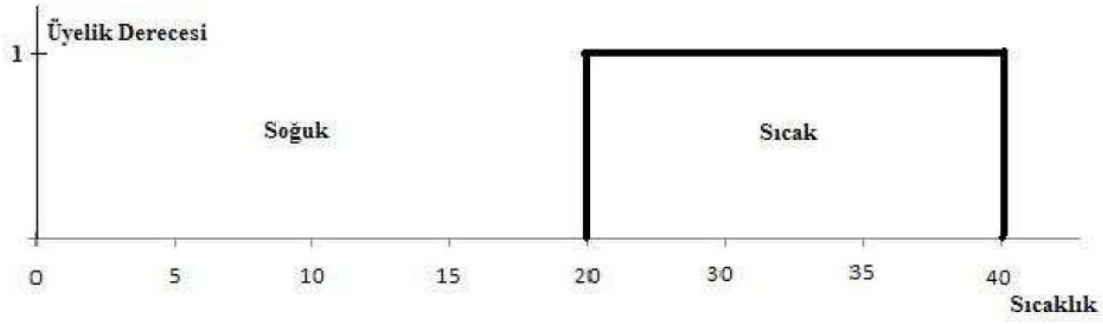
Sistemin her bir çıkış ve giriş değişkenleri için üyelik işlevi tanımlanır. Üyelik işlevlerini sayısı sistemin davranışına bağlı olmakla birlikte tasarımcının tercihinine göre değişebilir. Kuralların sayısına tasarımcı karar verir.

Bulanık mantığın en önemli özelliği klasik mantıkta olduğu gibi sayılardan çok sembolik bilgilerin kullanılmasıdır. Bu sayısal işlem kullanılmasını dışlamamakla birlikte sonuçların incelenmesi sembollerle yapılır (Zeybek 1997).

3.9.2 Bulanık küme kuramı ve bulanık mantık

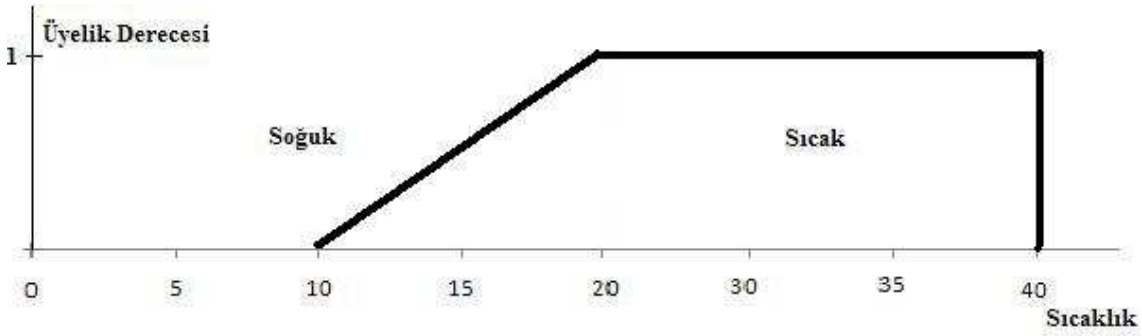
Klasik küme kuramında bir eleman o kümenin ya elemanıdır ya da değildir. Hiçbir zaman kısmi üyelik olmaz. Nesnenin üyelik değeri 1 ise kümenin tam elemanı, 0 ise değildir. Bulanık mantık ise insanın günlük hayatında nesnelere verdiği üyelik değerlerini yani insanın davranışlarını taklit eder. Örneğin elini suya sokan birisi hiçbir zaman tam sıcaklığını bilemez, onun yerine sıcak, az sıcak, soğuk, çok soğuk gibi dilsel niteleyiciler kullanır.

Klasik kümelere örnek şekil 3.15'te gösterilmiştir. Eğer sıcaklık 20 °C'nin altına düşerse sıcak değildir. Yani klasik mantık kuramına göre 19,5°C sıcak değildir. Doğal olarak bu mantığın hiçbir esnekliği yoktur. Oysa gerçek dünyada sınırlar bu kadar kesin değildir.



Sekil 3.14 Sıcaklık için keskin küme örneği

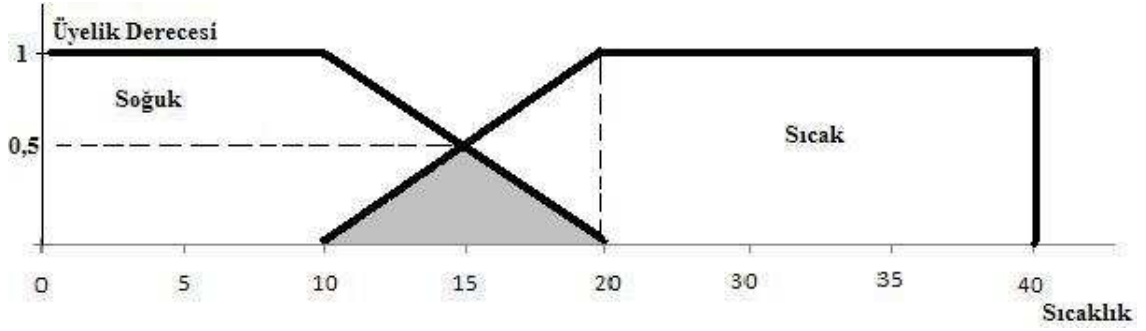
Klasik kümelerin aksine bulanık kümelerde elemanların komşuluk değerleri (0,1) aralığında sonsuz sayıda değişebilir. Keskin kümeler sıcak-soğuk, hızlı-yavaş gibi ikili değişkenler, bulanık mantıkta biraz soğuk, biraz sıcak, biraz hızlı gibi esnek ifadelerle gerçek dünyaya benzerlik gösterir.



Sekil 3.15 Sıcaklık için bulanık küme örneği

Bulanık kümeler için şekil 3.15'te örnek verilmiştir. Burada 10-40 °C arasındaki değerler sıcak kümeye üyedir. 20-40°C arasındaki değerlerin üyelik değeri 1, 10-20 °C arasındaki sıcaklığın üyeliği 0 ile 1 arasında değişmektedir. Bir başka deyişle 11 °C az sıcak, 15 °C biraz sıcak olarak değerlendirilebilir.

Sekil 3.17'de görüldüğü gibi 15 °C 0,5 üyelik derecesinde, hem sıcak hem de soğuk bulanık kümesine dahildir. Şekilde gri tonda gösterilen bölge bulanık kümelerin kesişim bölgesidir ve bulanık kümelerin örtüşümü olarak adlandırılır.



Sekil 3.16 Bulanık küme örtüşümü

Bulanık mantık tasarlanırken en önemli problem, proses parametrelerinin ve girdi değişkeni değerlerinin belirsizliğidir. Sistem işletiminde, belirsiz parametrelerin bulunması için birçok yöntem vardır. En popülerleri esnek ve duyarlılık analizleridir. Ancak onların karmaşık ve zaman alıcı olması nedeniyle bulanık değişkenlerinin ve parametrelerinin modele doğrudan girişi, mevcut olan yöntemler içinde belirsizliğin bulunmasında en uygun yoldur (Tuna 2011).

3.9.3 Bulanık mantık denetleyicili sistemler

Bir denetleyici sistemi başka bir fiziksel sistemin tepkisini veya davranışını denetleyen, düzelten, fiziksel elemanlardan oluşmaktadır. Denetim sistemleri genel olarak açık döngülü ve kapalı döngülü/geri beslemeli olarak iki tiptir. Açık döngülü denetim sisteminde denetim hareketi sistem çıkışından bağımsızdır, kapalı döngülü sistemlerde ise denetim hareketi sistem çıkışına bağlı olarak değişebilmektedir.

Fiziksel bir sistemin modellenmesinde genel problem, giriş, çıkış ve durum değişkenlerini ifade eden, doğrusal olmayan sistemler için, vektörel değerli işlemleri, doğrusal sistemler için ise sistem matrislerini tanımlamaktır. Şu anda var olan denetim algoritmaları bu sistem parametrelerine giriş ve çıkış değerlerine bağlı sayısal değerler atayarak uygulanmaktadır. Bulanık denetim sistemleri doğrusal olmayan sistem tanımlamalarını kolaylaştıran bilim dalıdır.

$$u(t)=h(t,x(t),r(t)) \quad (3.65)$$

Denetim sisteminin tasarımındaki problem, doğrusal olmayan sistemler için, doğrusal olmayan h işlevini tanımlamak, burada $u(t)$ denetlenen sisteme giriş, $r(t)$ denetleyicinin referans girişi, $x(t)$ durum vektörüdür. Doğrusal geri beslemeli sistemler için ise K_i ve K_p sabitlerinin belirlenmesidir. Klasik denetim sistemlerinde, denetimi yapılacak sistemin matematik modeli esas alınarak uygulanabilmektedir.

Bulanık mantık kural tabanlı uzman sistemlerinde, denetim yüzeyi ($h(t,x(t),r(t))$) oluşturulurken uzman bilgi tabanından çıkarılan bulanık kural deyimlerini kullanmaktadır. Bulanık mantık kural tabanlı uzman sistemler, n adet bağımsız değişkeni veya bir tane bağlı değişkeni doğrusal olmayan işlev ile herhangi bir istenen değerde tutmaktadır (Tuna 2011).

3.9.4 Bulanık mantık denetim kurallarının oluşturulması

Uzman bilgileri genellikle eğer sistem şu durumda ise o halde şöyle bir denetim uygulama şeklindedir.

Eğer durum = x ise O halde denetim = y şeklindedir.

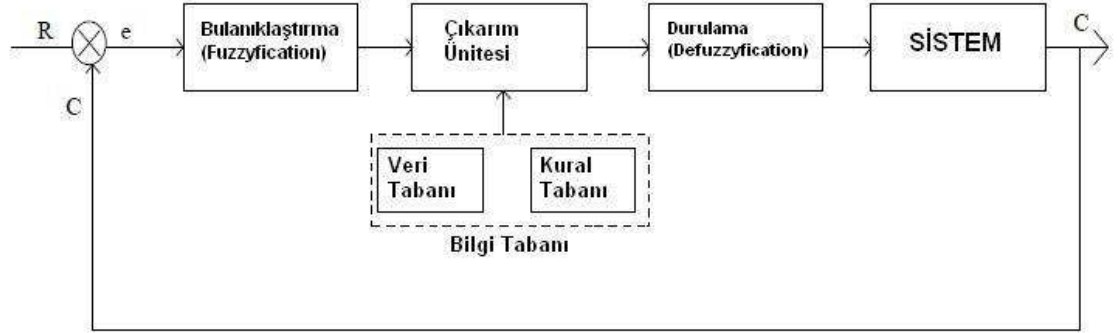
veya

(IF durum = x ise THEN denetim = y) şeklindedir.

Bulanık denetim kuralları neden ve sonuçtan oluşur. Denetim kurallarındaki neden ve sonuçlar birden fazla olabilir. Bulanık denetim kuralları sayısal değerlerden çok dilsel terimler olarak daha iyi formulüze edilebilir. Bu değişkenlerin seçiminde deneyimlerin ve mühendislik bilgilerinin önemli rolü vardır. Tipik olarak bulanık mantık denetimindeki dilsel değişkenler genellikle, durum değişkenleri, durum değişkenlerinin hatası, durum değişkenlerinin hatalarının türevi veya bir önceki adıma göre değişimi olarak sayılabilir (Tuna 2011).

3.9.5 Genel bulanık mantık denetleyiciler

Bulanık mantık denetleyiciler, bilgi tabanı, bulandırma, karar verme (çıkarım ünitesi) ve durulama birimleri olmak üzere dört temel bileşenden oluşmuştur. şekil 3.17’de bir bulanık mantık denetleyicinin temel yapısı görülmektedir.



Sekil 3.17 Bulanık mantık denetleyicinin temel yapısı (Zeybek 1997)

3. 9.6 Bulanıklaştırma birimi

Bulanıklaştırma, sistemden alınan denetim giriş bilgilerini dilsel niteleyiciler olarak sembolik değerlere dönüştürme işlemidir. Üyelik işlevinden faydalanılarak giriş bilgilerinin ait olduğu bulanık kümeyi/kümeleri ve üyelik(komşuluk) derecelerini tespit edip, girilen sayısal değere küçük, daha küçük, en küçük gibi dilsel değerler atar. Sistemin verimli çalışmasını sağlamak amacıyla değişik şekillerde (üçgen, yamuk, çan eğrisi...vs.) bulanık kümeler seçilebilir.

A kümesi $A = [a_1, a_3]$ aralığında ise genel olarak $\mu_A(x)$ üyelik fonksiyonu (3.66) formülüyle gösterilebilir.

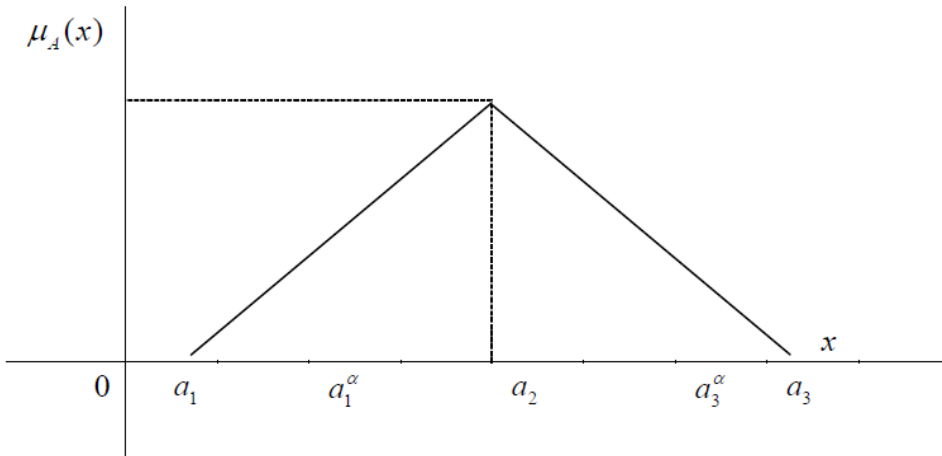
$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0, & x < a_1 \\ 1, & a_1 \leq x \leq a_3 \\ 0 & x > a_3 \end{cases} \quad (3.66)$$

Üyelik fonksiyonları genellikle, üçgensel üyelik fonksiyonları ve yamuk üyelik fonksiyonları olmak üzere iki başlık altında incelenmektedir.

$\mu_A(x)$ üçgensel üyelik fonksiyonu, (3.67) formülünde tanımlanmıştır.

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0, & x < a_1 \\ \frac{x - a_1}{a_2 - a_1}, & a_1 \leq x \leq a_2 \\ \frac{a_3 - x}{a_3 - a_2}, & a_2 \leq x \leq a_3 \\ 0, & x > a_3 \end{cases} \quad (3.67)$$

(3.67) formülüne göre küme, $A=(a_1, a_2, a_3)$ olmalıdır. Burada a_2 normal değerli üyelik olarak tanımlanabilir. Bulanık mantık bu noktada bir α katsayısına bağlı olarak a_2 'ye yakın değerlerin, bu değere yüklenen anlam ile temsil edileceğini varsaymaktadır. Diğer bir deyişle a_2 'deki belirsizlik, varsayılacak ya da dağılıma göre bulunabilecek bir α katsayısı ile tolere edilebilir. Söz konusu komşuluk şekil 3.19'da gösterilmiştir.



Şekil 3.19 Sayıların komşuluğu

α değeri bulanık mantık terminolojisinde kesim katsayısı olarak adlandırılır. a_1^α ve a_3^α sayıları ise a_2 normal değerinin komşuluğunu oluşturan aralığın alt ve üst sınır değerleridir. Diğer bir deyişle a_1^α ve a_3^α aralığındaki tüm sayılar a_2 normal değeri ile aynı anlama sahiptir. a_1^α ve a_3^α değerleri (3.68) ve (3.69) formülleri yardımıyla bulunabilir.

$$\frac{a_1^\alpha - a_1}{a_2 - a_1} = \alpha \quad (3.68)$$

$$\frac{a_3 - a_3^\alpha}{a_3 - a_2} = \alpha \quad (3.69)$$

$$a_1^\alpha = \alpha(a_2 - a_1) + a_1$$

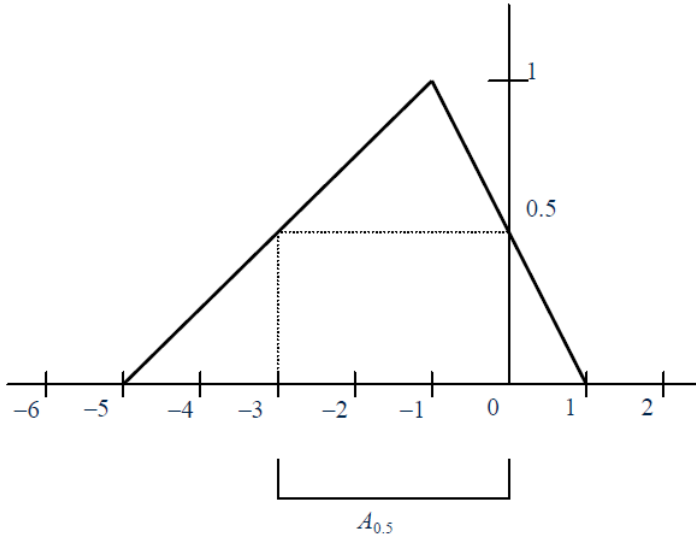
$$a_3^\alpha = a_3 - (a_3 - a_2)\alpha \quad (3.70)$$

Örneğin üçgensel bulanık mantık sayılarına ilişkin küme $A = (-5, -1, 0)$ ise bu durumda (3.67) formülünden üyelik fonksiyonu,

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0, & x < -5 \\ \frac{x+5}{4}, & -5 \leq x \leq -1 \\ \frac{1-x}{2}, & -1 \leq x \leq 0 \\ 0, & x > 0 \end{cases} \quad (3.71)$$

olarak bulunur. Eğer karar verici α kesim noktasını 0.5 olarak saptamışsa -1 normal değerinin komşuları (3.71) formülünden $a_1^{0,5} = -3$ ve $a_3^{0,5} = 0$ olarak bulunacaktır. Diğer bir deyişle -1 normal değeri ile aynı anlam düzeyinde bulunan sayılar kümesi $[-3,0]$ aralığındadır. Söz konusu ilişki şekil 3.20’de gösterilmiştir.

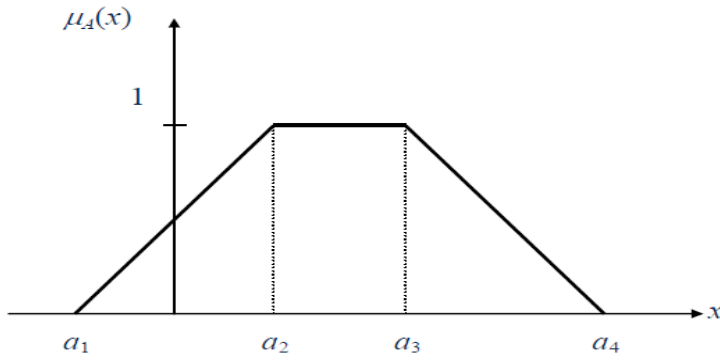
Eğer bulanık mantık sayılarına ilişkin kümede normal kabul edilen iki değer varsa diğer bir deyişle küme, $A=(a_1, a_2, a_3, a_4)$ şeklinde dört belirleyici değerden oluşuyorsa bu durumda üyelik fonksiyonu yamuk üyelik fonksiyonu tipinde oluşacaktır. Yamuk üyelik fonksiyonu (3.71) formülünde gösterilmiştir.



Şekil 3.20 $A=(-5,-1,1)$ kümesinin komşuluğu

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0, & x < a_1 \\ \frac{x - a_1}{a_2 - a_1}, & a_1 \leq x \leq a_2 \\ 1, & a_2 \leq x \leq a_3 \\ \frac{a_4 - x}{a_4 - a_3}, & a_3 \leq x \leq a_4 \\ 0, & x > a_4 \end{cases} \quad (3.72)$$

Söz konusu komşuluk şekil 3.21’deki gibi oluşacaktır.



Şekil 3.21 Yamuk sayı komşuluğu

3.9.7 Bilgi tabanı

Bilgi tabanı, karar verme biriminin kural tabanında kullandığı bilgileri aldığı veri tabanı (data base) ve denetim amaçlarına uygun dilsel denetim kurallarının bulunduğu kural tabanı (rule base) olmak üzere iki kısma ayrılır.

Denetim yapılan sistemle ilgili, bulandırma, bulanık çıkarım, durulama işlemleri sırasında gerek duyulan üyelik işlevi ve kural tablosu bilgileri veri tabanından kullanıma sunulmaktadır.

Kurallar kümesi denetim amaçlarını ve denetim stratejisini belirler. Dilsel denetim kurallarının tanımlanmasında ve bulanık denetimdeki bulanık bilgi işleme sresince yararlanılır. Giriş ve çıkışlar arasındaki bağlantılar, kural tabanındaki kurallar kullanılarak sağlanır (Tuna 2011).

3.9.8 Karar verme (çıkarım) birimi

Karar verme birimi, çıkarım motoru (fuzzy engine) olarak da adlandırılır. Bulanık mantık denetiminin çekirdek kısmıdır. Bu kısım insanın karar verme ve çıkarım yapma yeteneğinin benzeri bir yolla bulanık kavramları işler ve çıkarım yaparak gerekli

denetimi belirler. Burada bir çok bulanık gerçekleme yapılır. Yani insan beyninin bir benzetimi yapılmaya çalışılmaktadır.

Bulandırma işlemiyle sayısal değerklerden, sembolik değerkler çıkarılmıştı. Bulanık çıkarımda ise denetimi yapılan sistemi kullanan uzman oparatörün kullandığı dilssel niteleyiciler ve kurallar kullanılarak sembolik sonuç elde edilir. Bulanık mantık denetiminin beyni bulanık çıkarımdır. Burada veri tabanı ve karar verme mantığı kullanılmaktadır (Tuna 2011).

3.9.9 Durulama birimi

Bulanık çıkarımın sonucu bulanık bir kümedir. Bu sonucun tekrar sisteme uygulanması için giriş değeri gibi tekrar sayısal değere dönüştürölmesi gerekir. Bu işlem durulama olarak adlandırılır. Durulama birimi karar verme biriminden gelen bulanık bir bilgiden bulanık olmayan ve uygulamada kullanılacak gerçek değerklerin elde edilmesini sağlar (Tuna 2011).

4. MATERİYAL VE YÖNTEM

Deneyisel çalışmalar Cussons P3005 model Proses Kontrol Simülatör'ünde gerçekleştirilmiş olup, sistem ile bilgisayar arasında veri aktarımını sağlamak için wireless iletişim sistemi kurulmuştur.

4.1 Proses Kontrol Simülatörü

Akış hızı, sıvı seviye, sıcaklık ve basınç olmak üzere dört proses parametresinin değerini ölçen ve kontrol eden bir sistemdir. Proses kontrol simülatöründe iki ana bölüm vardır. Bunlar;

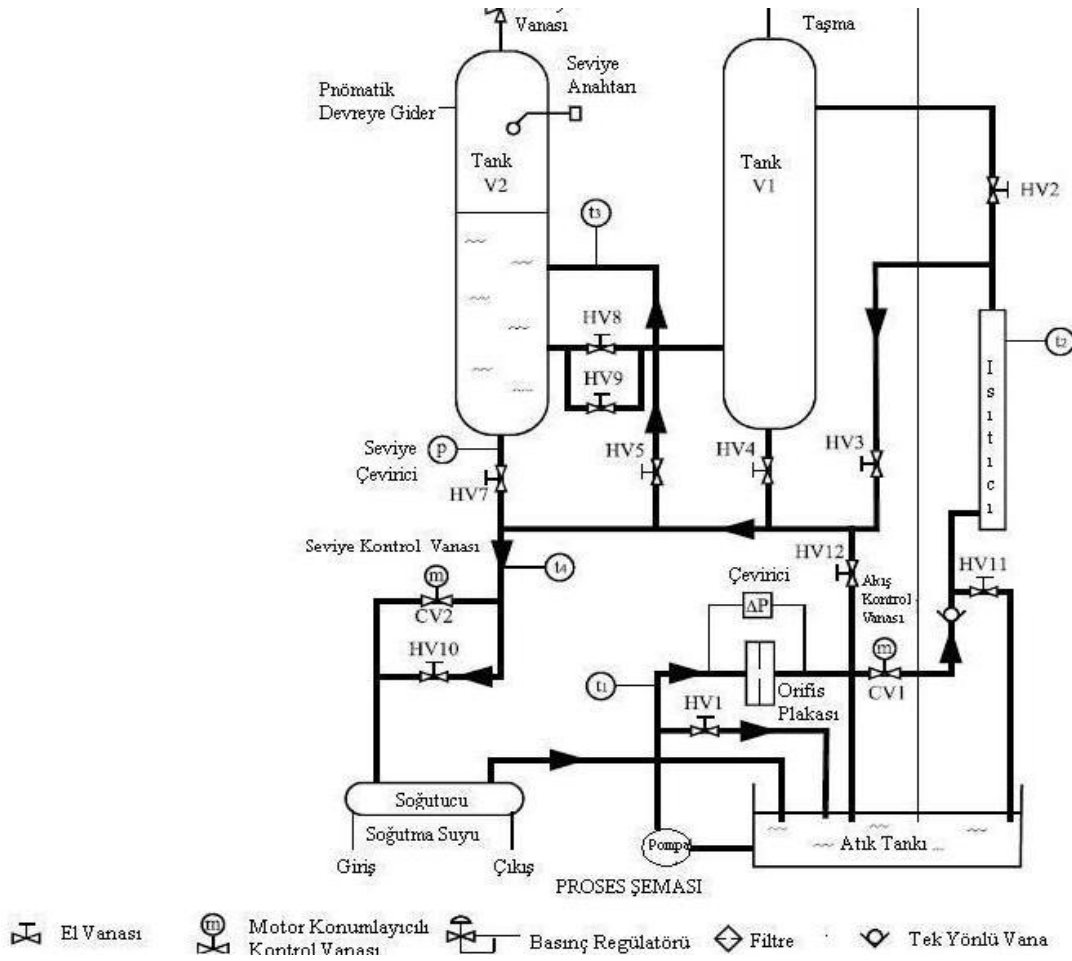
- Prosesin bulunduğu bölüm
- Elektronik devrelerin bulunduğu, ölçüm ve kontrolün yapılabildiği pano



Şekil 4.1 Proses kontrol simülatörü

Proses kontrol simülatöründe sisteme beslenen suyun muhafaza edildiği bir adet tank, sisteme sıvıyı besleyen 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 sıvı seviye kontrol vanası (CV1) ve akış hızı 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, sisteme kompresörden gelen basınçlı havayı istenilen basınç değerindeki havayı ileten iki adet regülatör bulunmaktadır. Ayrıca sistemde dört farklı deney düzeneğini oluşturabilmek için elle ayarlanan vanalar bulunmaktadır.



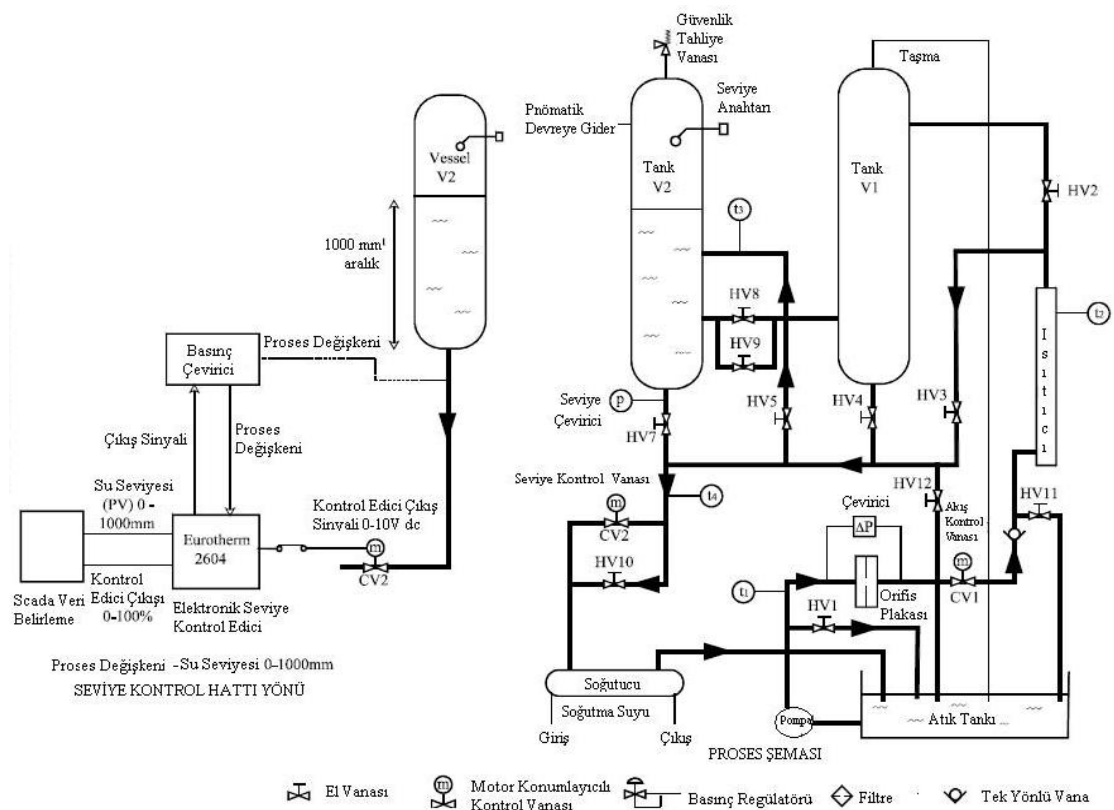
Şekil 4.2 Proses kontrol simulatörü proses şeması

Proses kontrol simulatörünün diğer bir birimi ise elektronik devrelerin bulunduğu panodur. Bu panoda sıcaklık, sıvı seviye kontrol ve akış hızının kontrolü ve ölçümü yapılabilmektedir. Kablosuz kontrol ve ölçüm için yeni ekipmanlar eklenmiştir.

4.2 Sıvı Seviye Deney Yöntemi

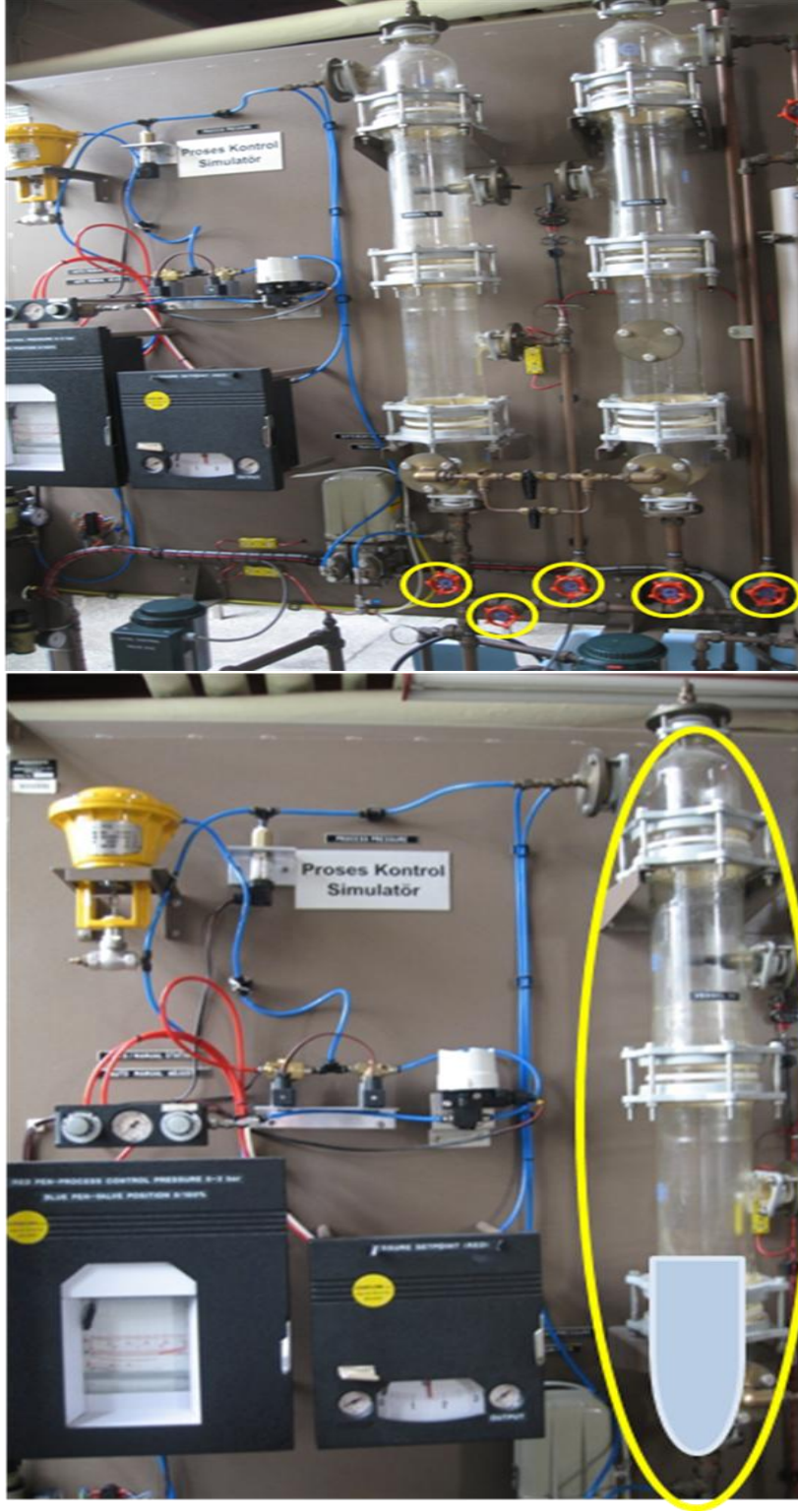
Şekil 4.3'te seviye kontrol deneyi için seviye kontrol döngüsü ve proses şeması görülmektedir.

Seviye dngüsünün kurulumu için elle ayarlanabilen vanalardan HV1, HV2, HV4, HV6, HV8, HV9, HV10, HV11, HV12 kapalı konuma, HV3, HV5, HV7 vanaları ise açık konuma getirilmiştir. Daha sonra CV2 vanasına farklı etkiler veriler V2 tankında seviye çalışma aralığı belirlenmiştir.



Şekil 4.3 Sıvı seviye deneyi için seviye kontrol döngüsü ve proses şeması

Şekil 4.4'te ise sıvı seviye sisteminde bulunan CV2 tankı ve elle ayarlanabilir akış hızı vanaları verilmiştir.



Şekil 4.4 Sıvı seviye sistemindeki V2 tankı ve elle ayarlanabilir akış hızı vanaları

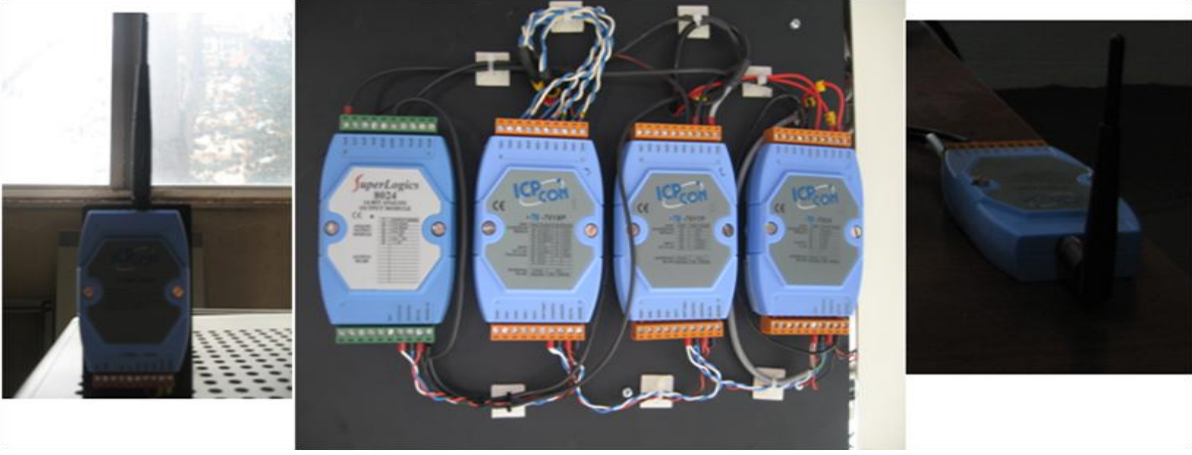
4.3 Kablosuz Kontrol Amacı İle Geliştirilen Proses Kontrol Simulatörü

Tez kapsamında kablosuz ölçüm ve kontrol amacıyla proses kontrol simulatöründe birtakım modifikasyonlar yapılmıştır. Bu amaçla bilgisayar ve sistem arasında iletişimi sağlayabilmek adına sisteme ve içeriye veri aktarımını sağlayan iki adet anten koyulmuştur. Ayrıca proseste ayar değişkenleri olarak belirlenen; sıvı seviye kontrol vanası, ısıtıcı, basınç kontrol vanası kalibre edilmiş ve bunların çıkışları modüllere bağlanmıştır. Bu modüller iki anten arasındaki aktarılan verileri bünyesinde bulundurmaktadır.

Şekil 4.5'te kablosuz kontrol amavıyla geliştirilen proses kontrol simülatörü, Şekil 4.6'da ise sistem ve bilgisayar arasında kablosuz veri aktarımını sağlayan anten ve modüller verilmiştir.



Şekil 4.5 Kablosuz kontrol amacı ile geliştirilen proses kontrol simulatörü



Şekil 4.6 Kablosuz veri aktarımını sağlayan anten ve modüller

4.4 Kablosuz Brine Sıfırlama Sistemi İçin Kurulan Deney Sistemi

Şekil 4.7’de kablosuz brine sıfırlama sistemi verilmiştir.



Şekil 4.7 Brine sıfırlama sistemi

Çizelge 4.11’de brine saflaştırma sisteminde bulunan ünite numaraları ve ünite adları sırasıyla verilmiştir.

Çizelge 4.1 Brine saflaştırma sisteminde bulunan üniteler

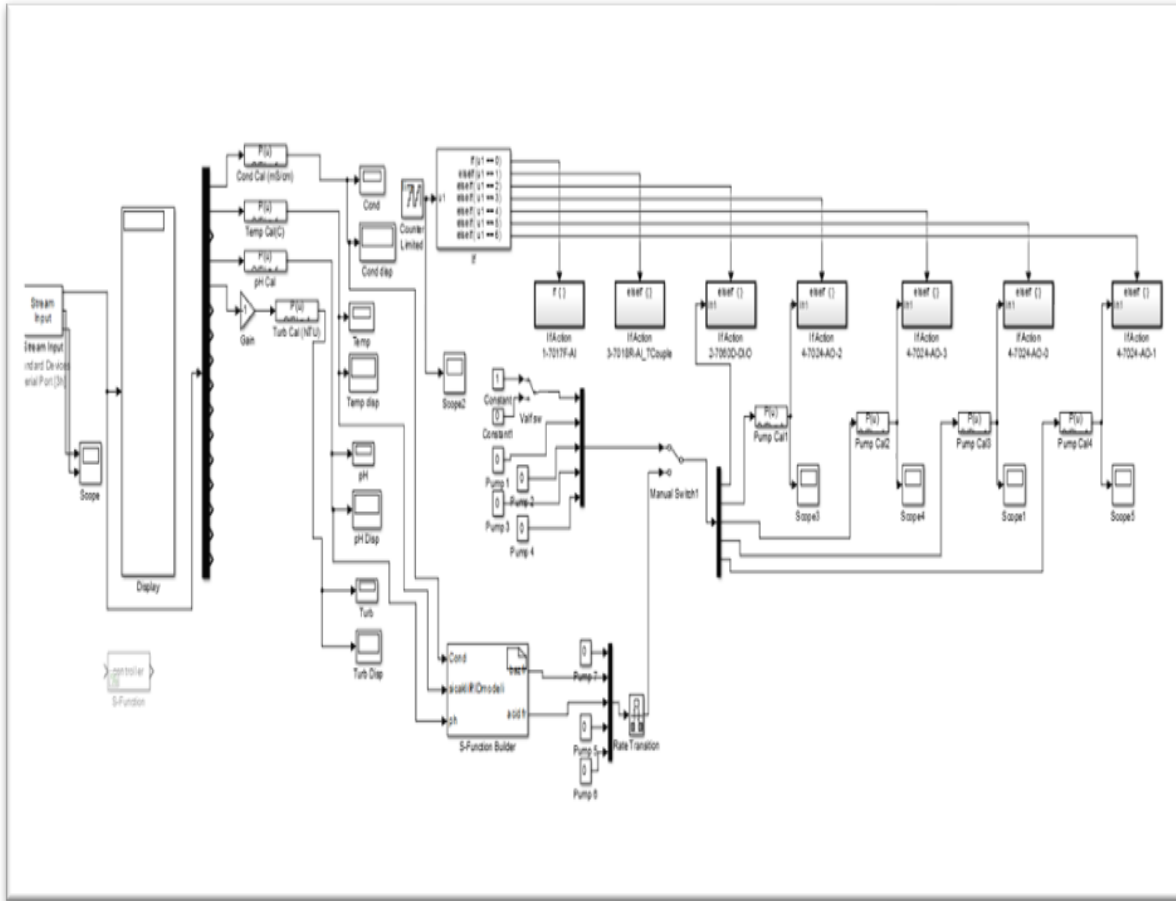
Ünite numarası	Ünite adı
1	Giriş pompası
2	Giriş pompası
3	Giriş pompası
4	Çıkış pompası
5	Sıcaklık ve pH göstergesi
6	İletkenlik göstergesi
7	Bulanıklık göstergesi
8	Karıştırıcı
9	Reaktör
10	Sirkulatör
11	Kablosuz anten
12	Reaktör tahliye musluğu
13	pH metre
14	Bulanıklık ölçer
15	Besleme tankı
16	Besleme tankı

4.5 Kablosuz Brine Saflaştırma Sistemi Deney Yöntemi

SANTEZ projesi kapsamında tasarlanmış ve kurulumu yapılmış olan kablosuz brine saflaştırma sisteminde çöktürme deneyleri ve PID kontrol deneyi gerçekleştirilmiş olup, kontrol deneyi Cohen-Coon yöntemiyle elde edilen kontrol parametreleri kullanılarak yapılmıştır. Elde edilen deneysel sonuçlar ile brinede bulunan majör safsızlıklardan ikisi olan magnezyum ve kalsiyumun ayrı ayrı ve eş-anlı olmak üzere giderimi sağlanmıştır.

Magnezyumun çöktürülmesi için NaOH kullanılmış ve dinamik çalışma sonucu optimum pH değeri belirlenmiştir. Brinede bulunan diğer büyük safsızlıklardan biri olan kalsiyumun çöktürülmesi için Na_2CO_3 kullanılmıştır. Dinamik deneyler sonucunda optimum çöktürme pH'ı belirlenmiştir. Yapılan dinamik deneylerde magnezyum için en iyi çökelme pH'ı belirlenerek, PID kontrolü için set değeri seçilmiştir. Cohen-coon yöntemiyle elde edilen parametre değerleri ile PID kontrol deneyi yapılmıştır.

Kablosuz saflaştırma deneylerine başlamadan önce sistem bilgisayarında bulunan MATLAB/Simulink programı açılarak dinamik ve kontrol çalışmaları için hangi blokların devreye alınacağı kararlaştırılmıştır. Böylece kablosuz brine saflaştırma akış diyagramı çizilmiştir.



Şekil 4.8 Brine saflaştırma sistemi simulink akış diyagramı

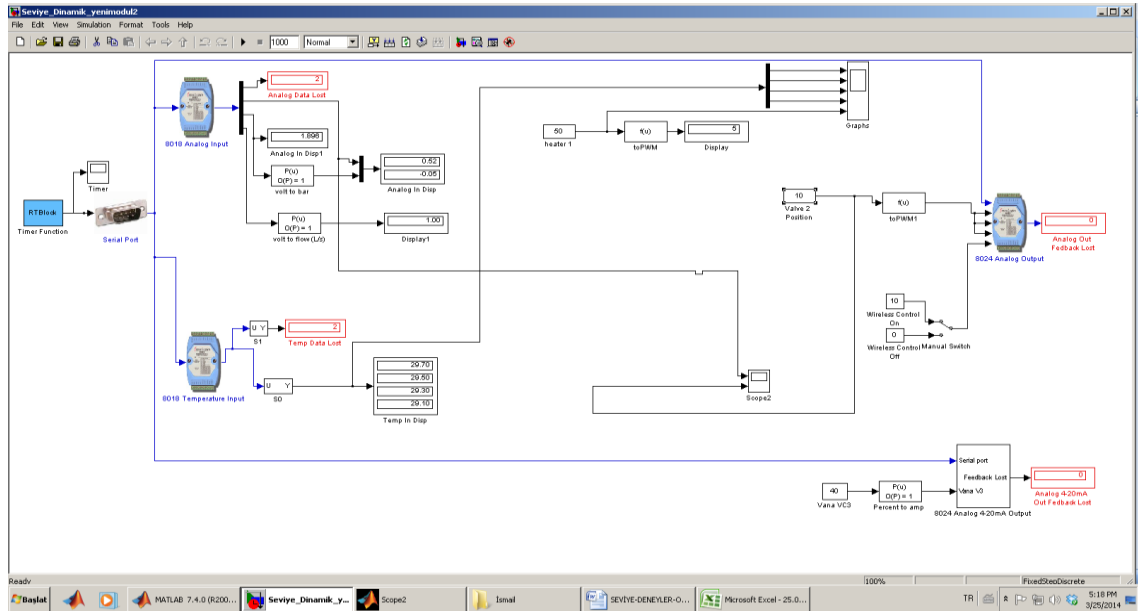
5. DENEYSEL SONUÇLAR

Proses kontrol simülöründe yatışkın hal, dinamik hal ve kontrol deneyleri olmak üzere üç farklı deney yapılmıştır.

Dinamik hal deneyleri basamak etki, PRBS ve kare dalga etki verilerek yapılmıştır. Bu etkiler sonucunda elde edilen çıkış değişkeni verileri ile sistemin model parametrelerini belirlenmiştir. Kontrol deneyleri ise PID, GPC ve Fuzzy olmak üzere üç kontrol algoritması kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

5.1 Yatışkın Hal Deneyleri

Sistemde salınım olmadığı, sıvı seviyesinin zamanla değişmeyip sabit kaldığı deneylerdir. Tüm deneylere başlanmadan önce belirlenen seviye vana açıklığı %10 iken sistemin sıvı seviyesinin sabitlenmesi beklenir.



Şekil 5.1 Yatışkın hal sıvı seviye deneyinin MATLAB/Simulink blok diyagramı

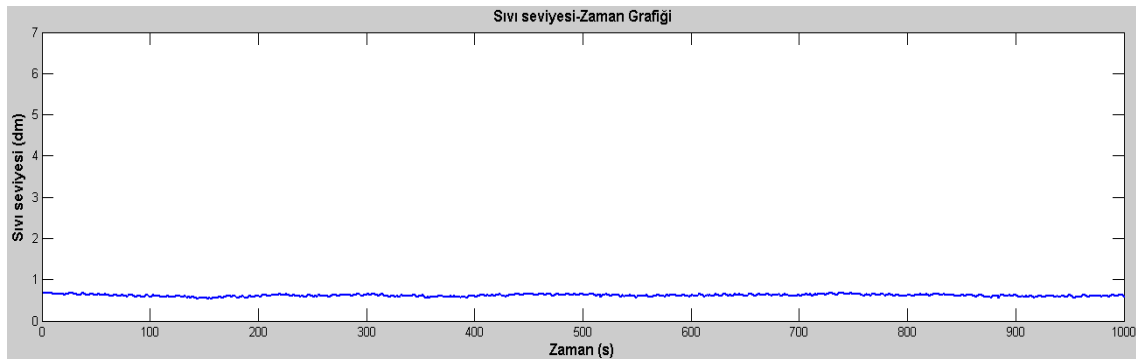
Şekil 5.1’de deneyler için kullanılan Simulink programının şematik şekli verilmiştir. Burada sistemin kablosuz veya kablolu bir şekilde kontrolünün yapılabilmesi için bir adet kablosuz açma/kapama düğmesi, proses parametrelerinin sayısal ve grafiksel olarak gösterildiği bloklar, hata sinyallerinin depolandığı ve bir önceki sinyalle devam et komutunun yazılı olduğu bloklar bulunmaktadır.

Sistemde farklı vana açıklıklarında çalışılarak sıvı seviyeleri için yatışkın hal değerleri elde edilmiştir. Yapılan her bir yatışkın hal deneyinde sıvı seviye kontrol vanası açıklıkları ve elde edilen sıvı seviye değerleri çizelge 5.1’de verilmiştir.

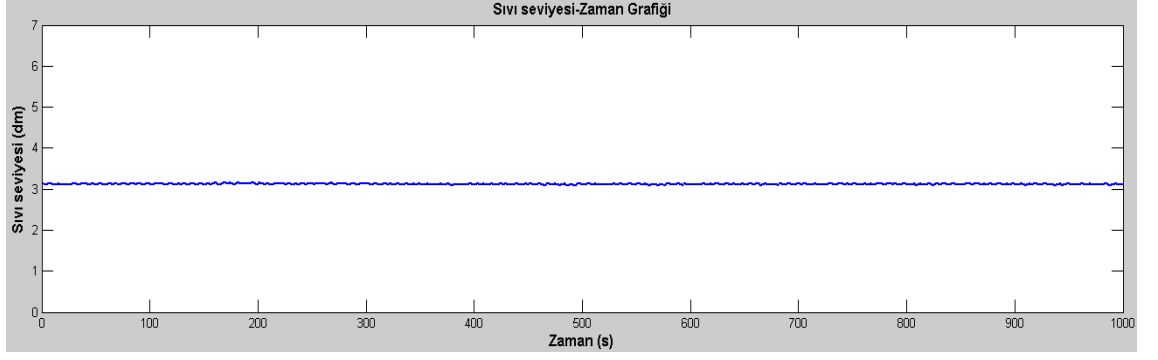
Çizelge 5.1 Yatışkın hal deney koşulları

Sıvı seviye kontrol vanası açıklığı (%)	Sıvı seviye yüksekliği (dm)
10	0.6
55	3.0
60	4.5
63	5.0
65	6.5

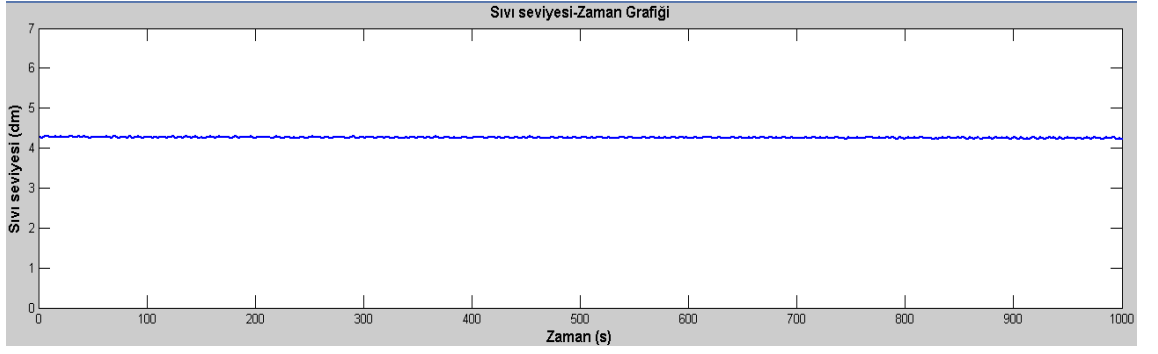
Farklı vana açıklıklarında elde edilen yatışkın hal deney sonucu oluşturulan grafikler Şekil 5.2 -5.6 arasında verilmiştir.



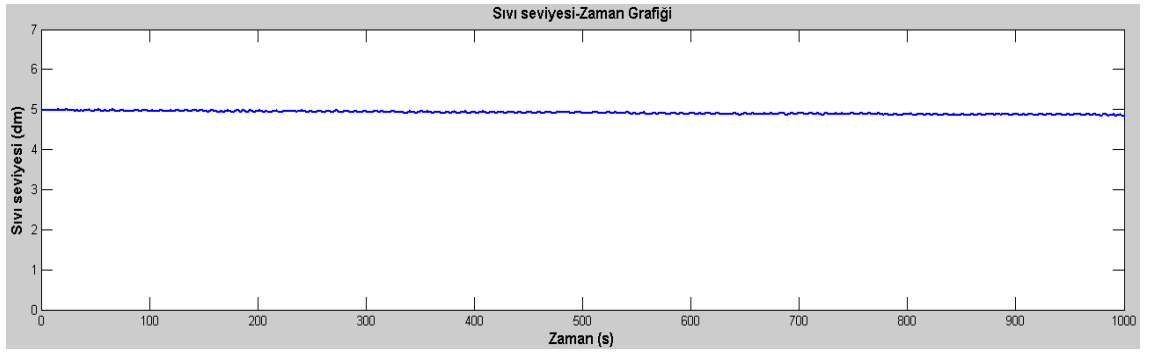
Şekil 5.2 Sıvı seviyesinin %10 vana açıklığında yatışkın hal deney sonucu



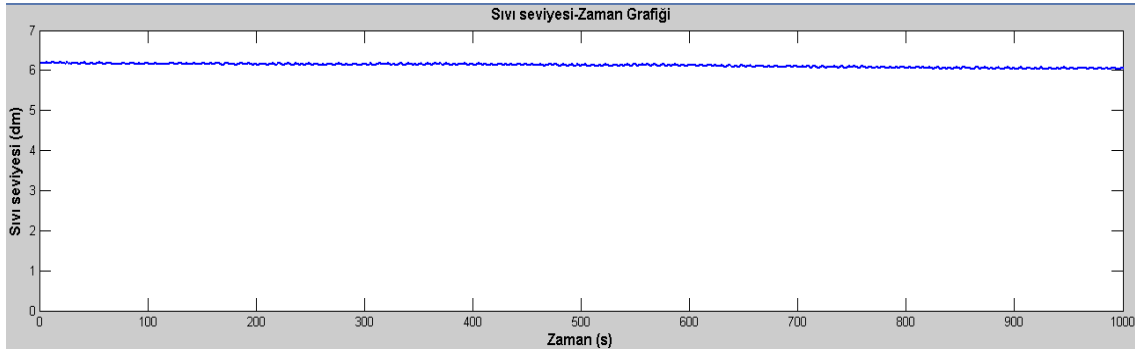
Şekil 5.3 Sıvı seviyesinin %55 vana açıklığında yatışkın hal deney sonucu



Şekil 5.4 Sıvı seviyesinin %60 vana açıklığında yatışkın hal deney sonucu

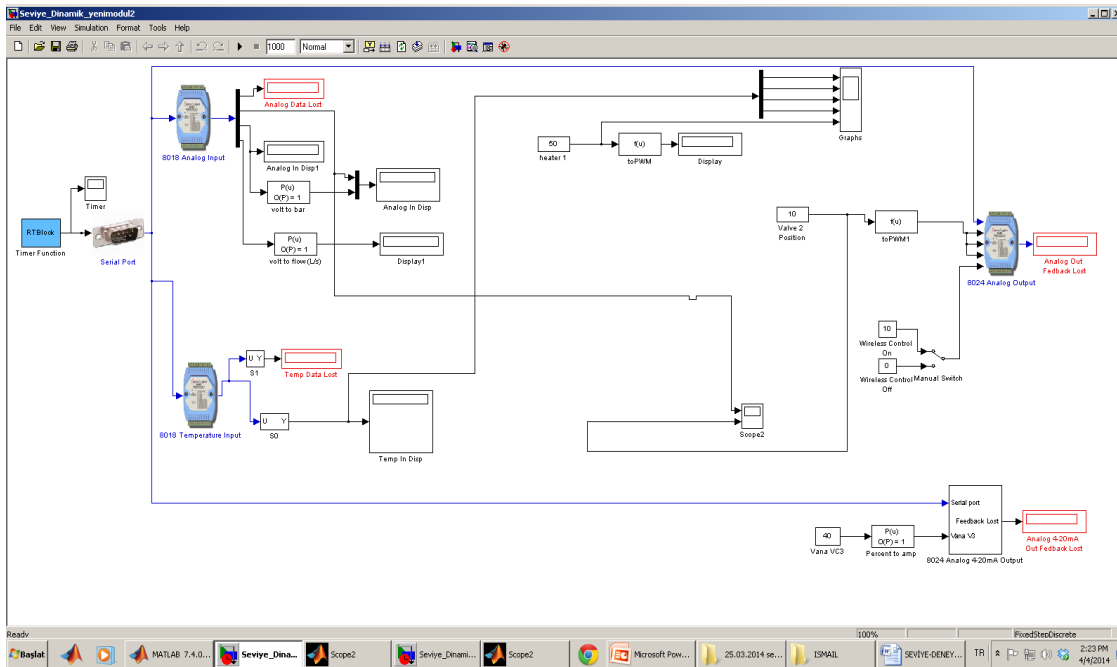


Şekil 5.5 Sıvı seviyesinin %63 vana açıklığında yatışkın hal deney sonucu



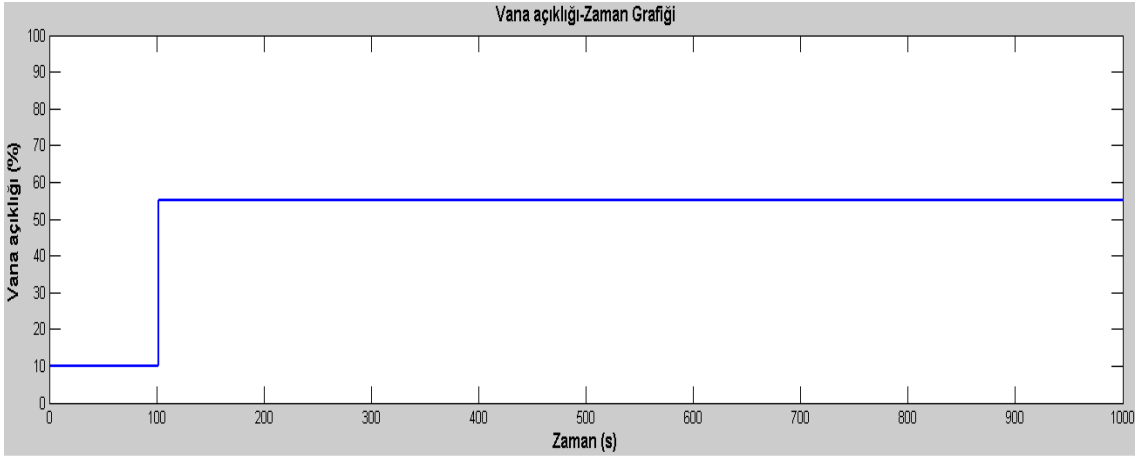
5.2 Dinamik Hal Deneyleri

Dinamik hal deneyleri basamak etki, PRBS ve kare dalga etki verilerek yapılmıştır. Basamak etki deneylerinde, sıvı seviye kontrol vanası açıklığına belli etkiler verilmiş daha sonra sistemin yatışkın hale gelmesi beklenmiştir. PRBS etki verilerek yapılan deneyde ise sistem model parametrelerini hesaplayabilmek için sisteme sinyaller verilmiştir. Şekil 5.7’de basamak etki uygulanan dinamik hal deneylerinin MATLAB/Simulink gösterimi verilmiştir.

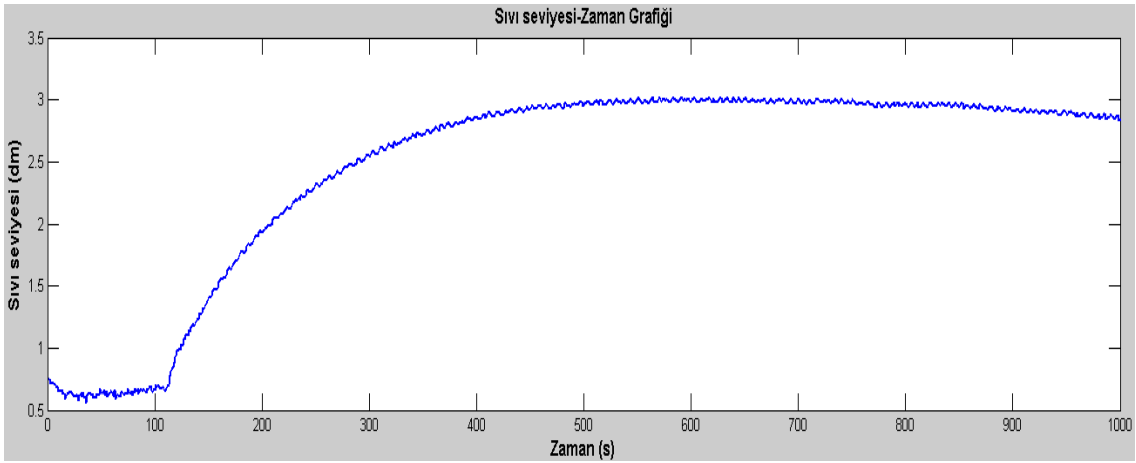


5.2.1 Basamak etkinin verildiği dinamik hal deney sonuçları

Sistem öncelikle % 10 vana açıklığında çalıştırılarak sistemin yatışkın hale gelmesi beklenmiştir. Seviye kontrol vanasına etkiler verilerek sıvı seviyedeki değişimler gözlenmiştir.

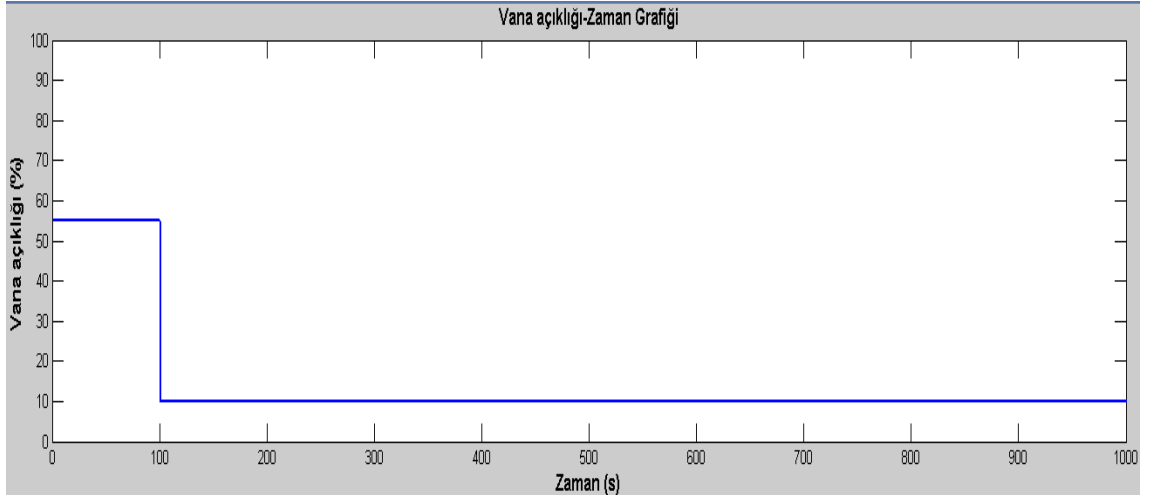


Şekil 5.9 Pozitif etkinin (%10-55) verildiği dinamik hal deneyinde sıvı seviye vana açıklığının zamanla değişim grafiği

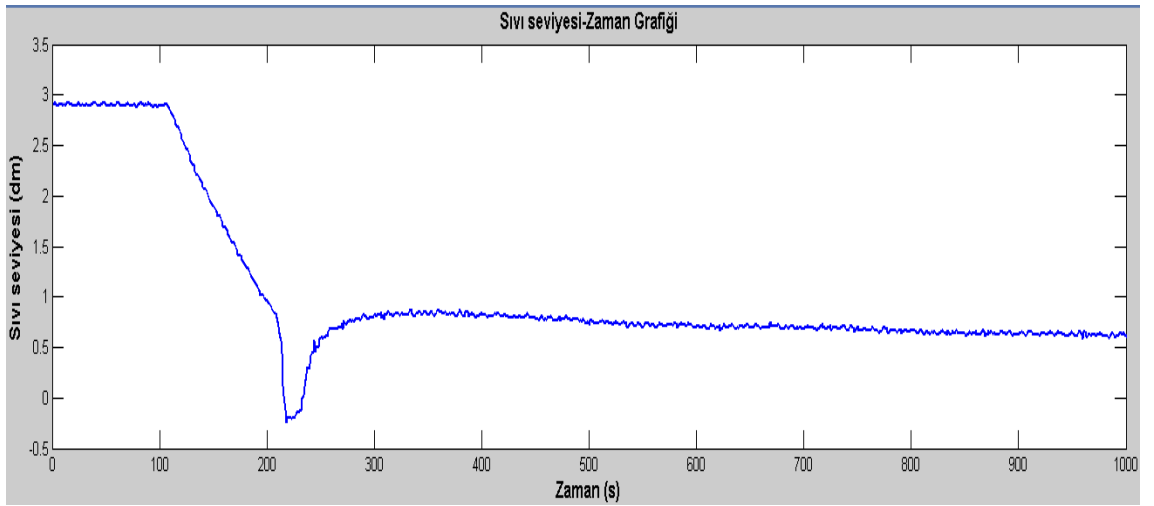


Şekil 5.10 Pozitif etkinin (%10-55) verildiği dinamik hal deneyinde sıvı seviyesinin zamanla değişim grafiği

Şekil 5.9’da %45’lik pozitif basamak etki verildiğinde sistemin dinamik davranışı şekil 5.10’da gösterilmiştir. Şekilden de görüleceği üzere 3dm yükseklikte ikinci yatışkın hal değerine ulaşılmıştır.

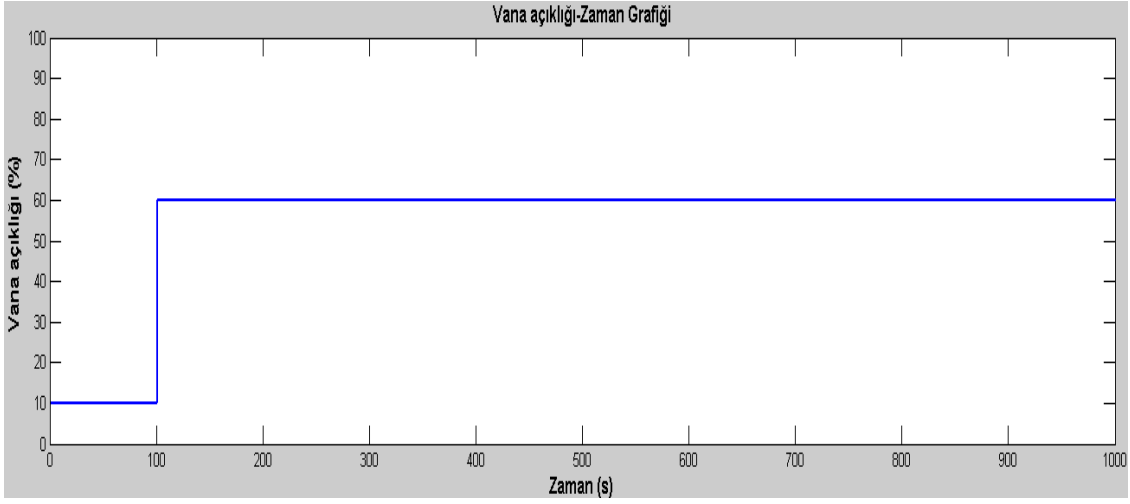


Şekil 5.11 Negatif etkinin (%55-10) verildiği dinamik hal deneyinde sıvı seviye vana açıklığının zamanla değişim grafiği

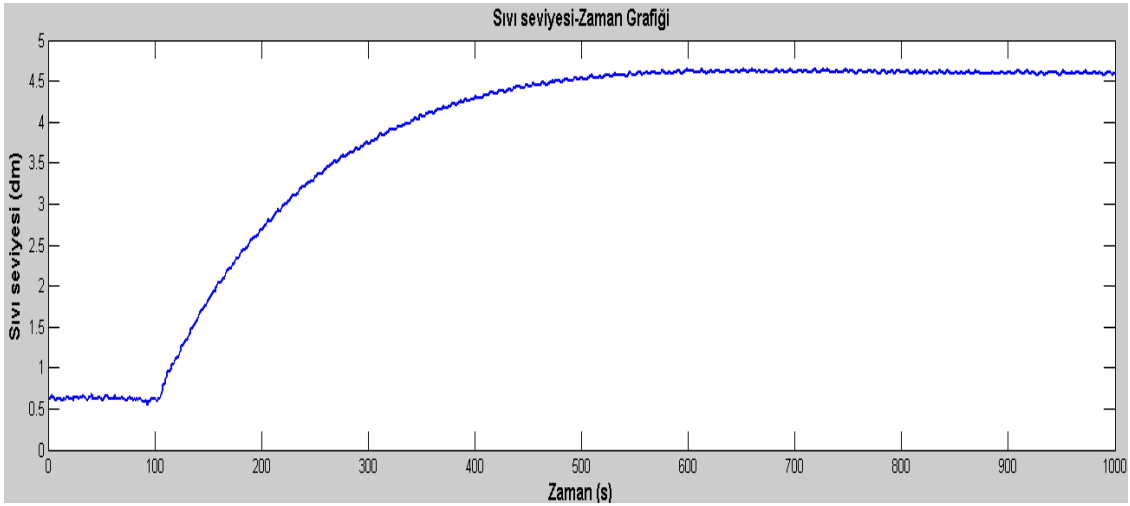


Şekil 5.12 Negatif etkinin (%55-10) verildiği dinamik hal deneyinde sıvı seviyesinin zamanla değişim grafiği

Şekil 5.11’de %45’lik negatif basamak etki verildiğinde, şekil 5.12’de sistemin dinamik davranışı görülmektedir. Bu cevaba göre 200 s civarında ters cevap verdikten sonra ikinci yatışkın koşul 0.5 dm’ye ulaşmıştır.

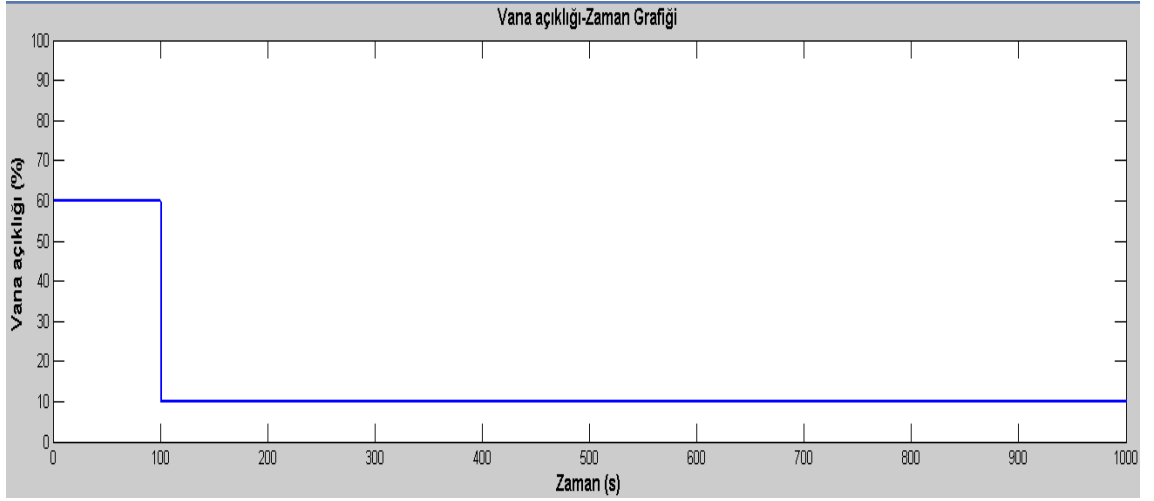


Şekil 5.13 Pozitif etkinin (%10-60) verildiği dinamik hal deneyinde sıvı seviye vana açıklığının zamanla değişim grafiği

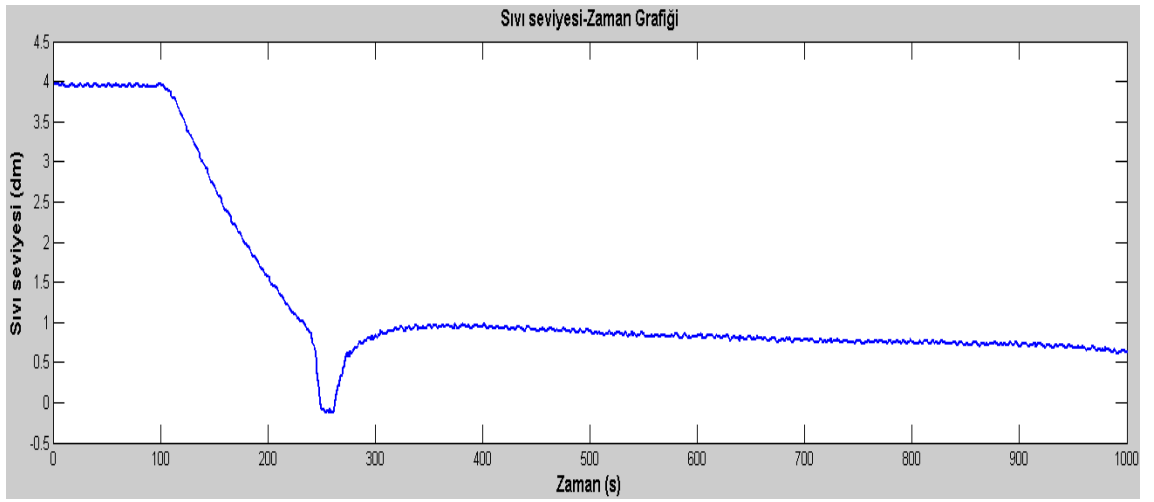


Şekil 5.14 Pozitif etkinin (%10-60) verildiği dinamik hal deneyinde sıvı seviyesinin zamanla değişim grafiği

Şekil 5.13'te %50'lık pozitif basamak etkiye karşılık şekil 5.14'te dinamik cevap eğrisi elde edilmiştir. Bu eğriye göre ikinci yatışkın koşul olan 4.5dm'ye ulaşılmıştır.

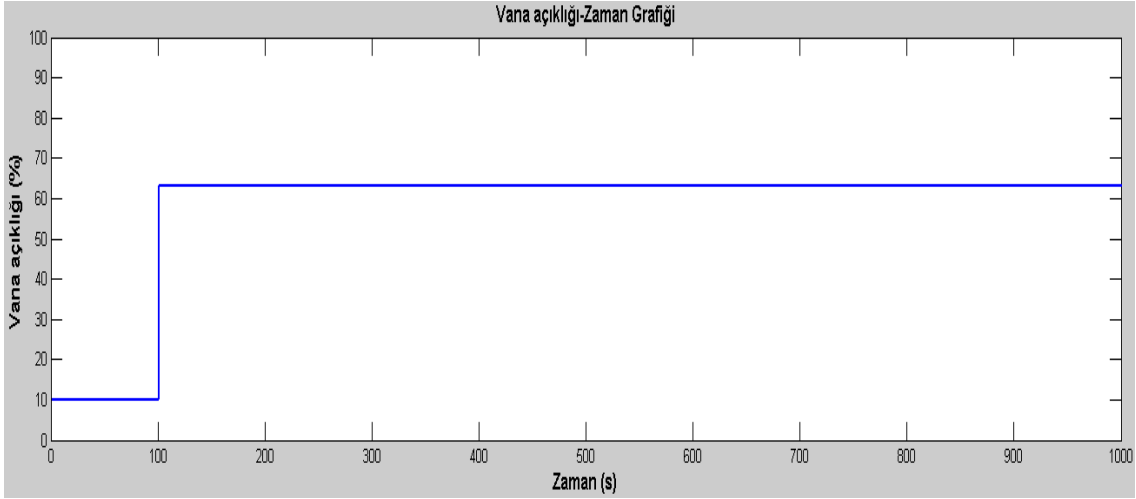


Şekil 5.15 Negatif etkinin (%60-10) verildiği dinamik hal deneyinde sıvı seviye vana açıklığının zamanla değişim grafiği

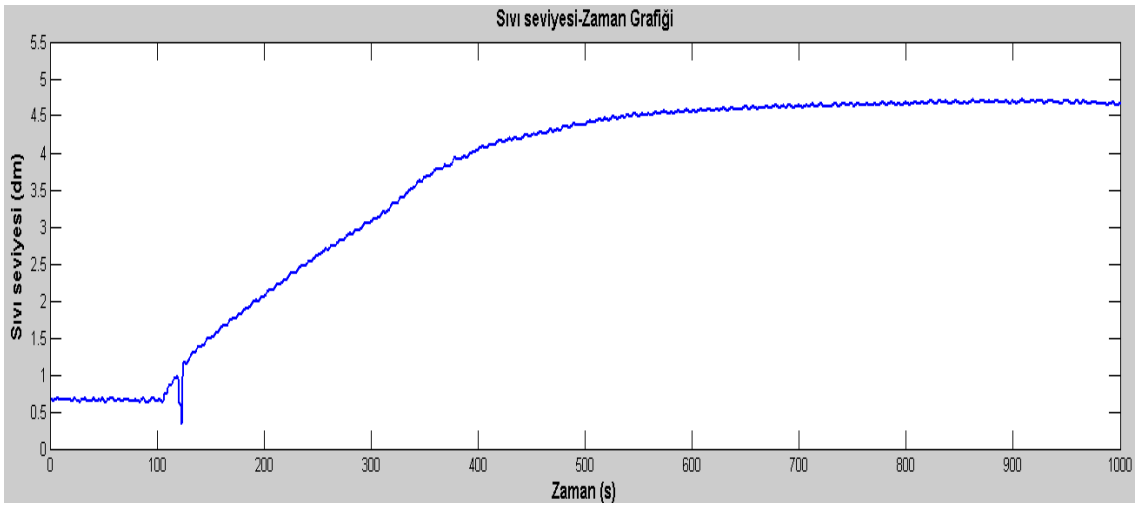


Şekil 5.16 Negatif etkinin (%60-10) verildiği dinamik hal deneyinde sıvı seviyesinin zamanla değişim grafiği

Şekil 5.15'te sisteme %60'luk vana açıklığında basamak etki verildiğinde , şekil 5.16'da sıvı seviye ters cevapla birlikte yaklaşık 0.75dm'ye ulaşmıştır.

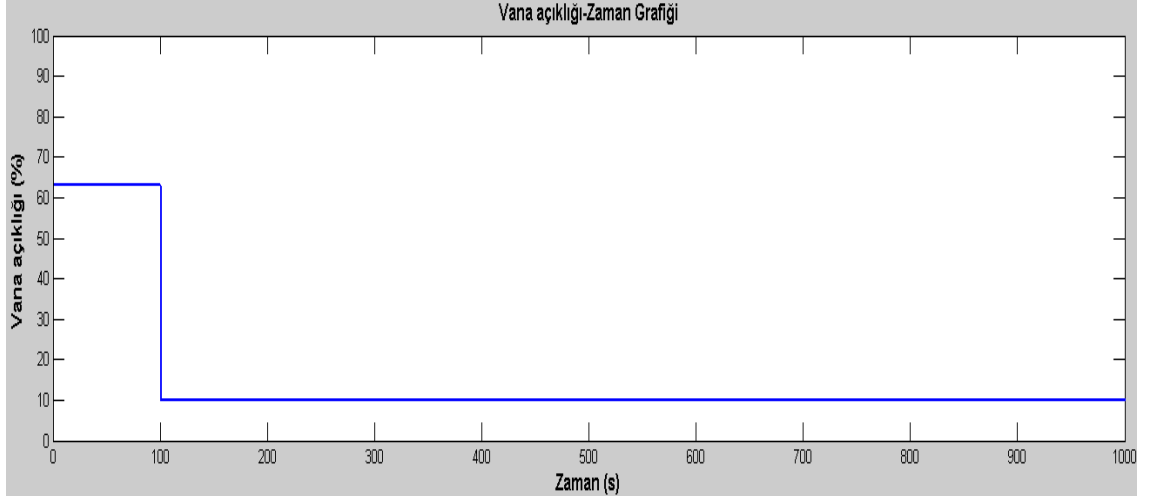


Şekil 5.17 Pozitif etkinin (%10-63) verildiği dinamik hal deneyinde sıvı seviye vana açıklığının zamanla değişim grafiği

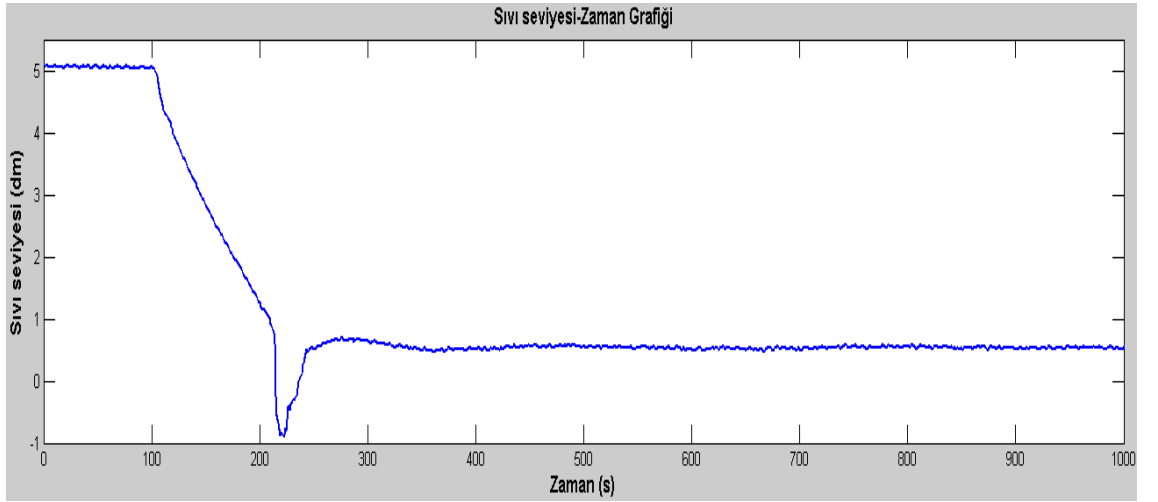


Şekil 5.18 Pozitif etkinin (%10-63) verildiği dinamik hal deneyinde sıvı seviyesinin zamanla değişim grafiği

Şekil 5.17’de vana açıklığına %53’lük pozitif basamak etki verildiğinde, şekil 5.18’de görüldüğü gibi dinamik ikinci yatışkın hal 4.5dm’ye ulaşmıştır.

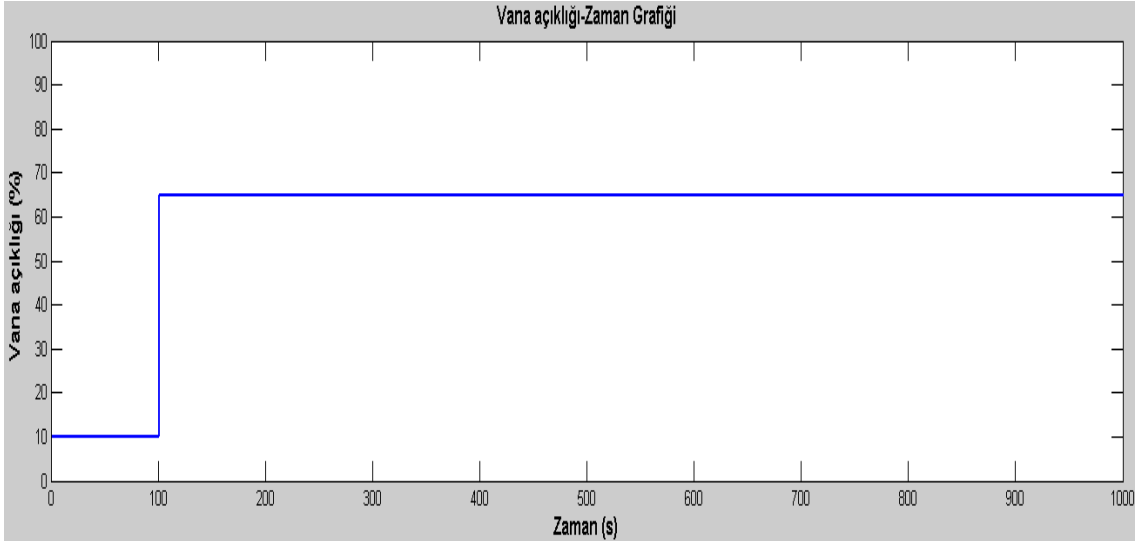


Şekil 5.19 Negatif etkinin (%63-10) verildiği dinamik hal deneyinde sıvı seviye vana açıklığının zamanla değişim grafiği

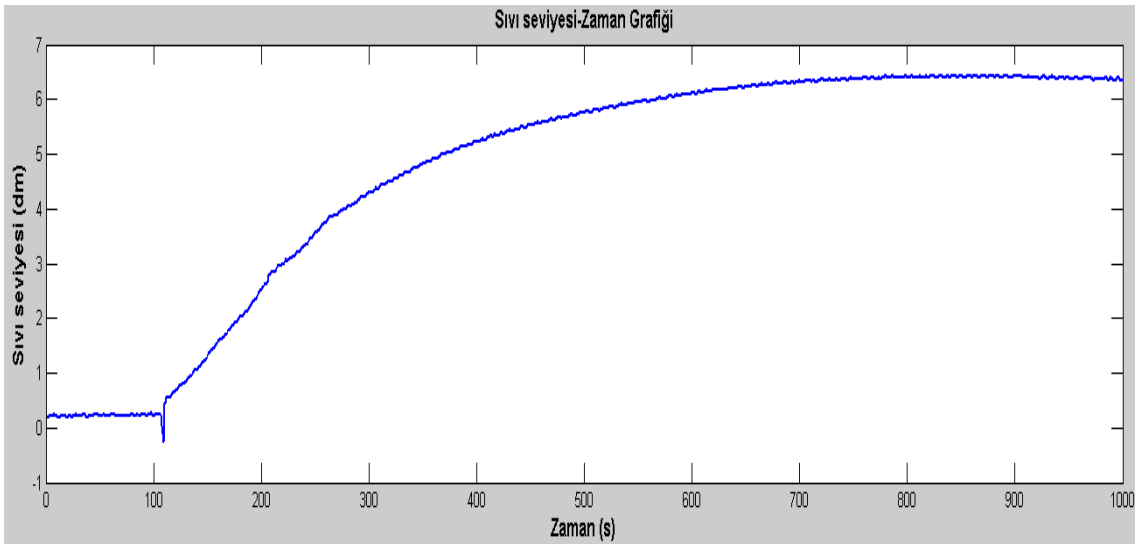


Şekil 5.20 Negatif etkinin (%63-10) verildiği dinamik hal deneyinde sıvı seviyesinin zamanla değişim grafiği

Şekil 5.19’da vana açıklığına %53’lük negatif basamak etki verildiğinde sistemin dinamik cevabı şekil 5.20’de gösterilmiştir. Yaklaşık 0.5dm’lik ikinci yatışkın hal değerine ulaşmıştır.

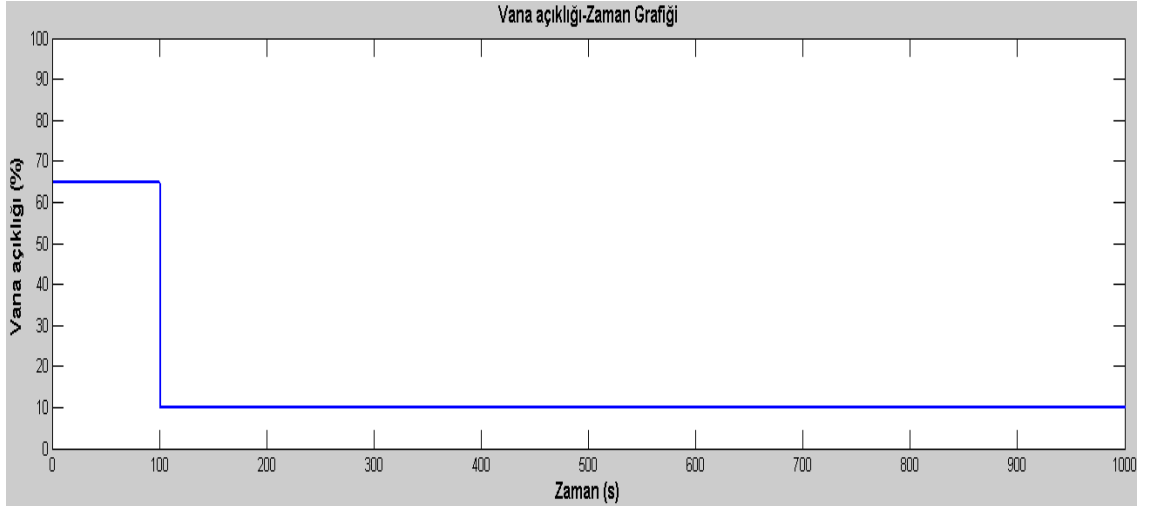


Şekil 5.21 Pozitif etkinin (%10-65) verildiği dinamik hal deneyinde sıvı seviye vana açıklığının zamanla değişim grafiği

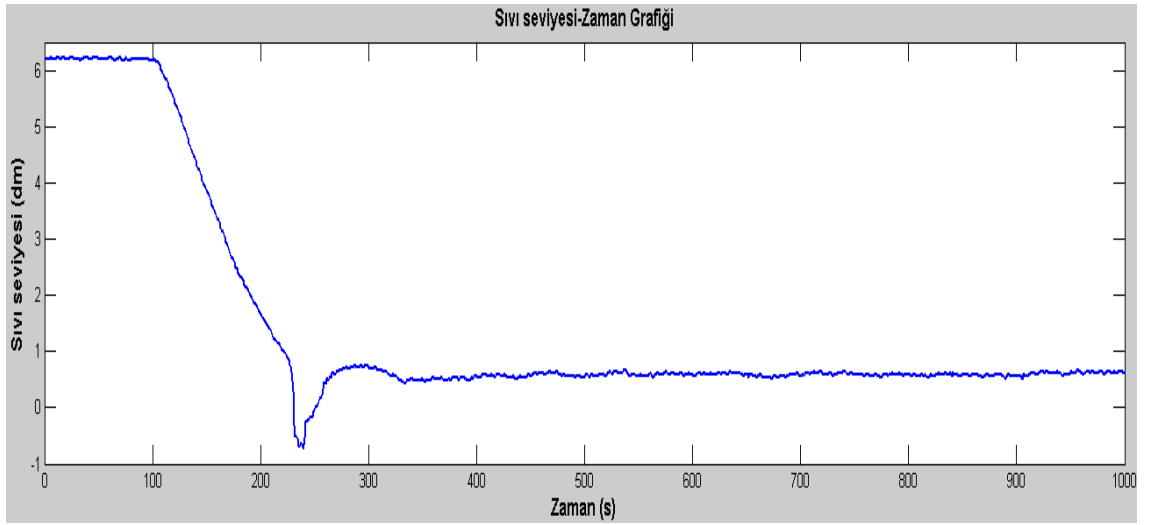


Şekil 5.22 Pozitif etkinin (%10-65) verildiği dinamik hal deneyinde sıvı seviyesinin zamanla değişim grafiği

Şekil 5.21’de %55’lik pozitif basamak etkiye karşı Şekil 5.21’de dinamik davranışı gösterilmiştir.



Şekil 5.23 Negatif etkinin (%65-10) verildiği dinamik hal deneyinde sıvı seviye vana açıklığının zamanla değişim grafiği



Şekil 5.24 Negatif etkinin (%65-10) verildiği dinamik hal deneyinde sıvı seviyesinin zamanla değişim grafiği

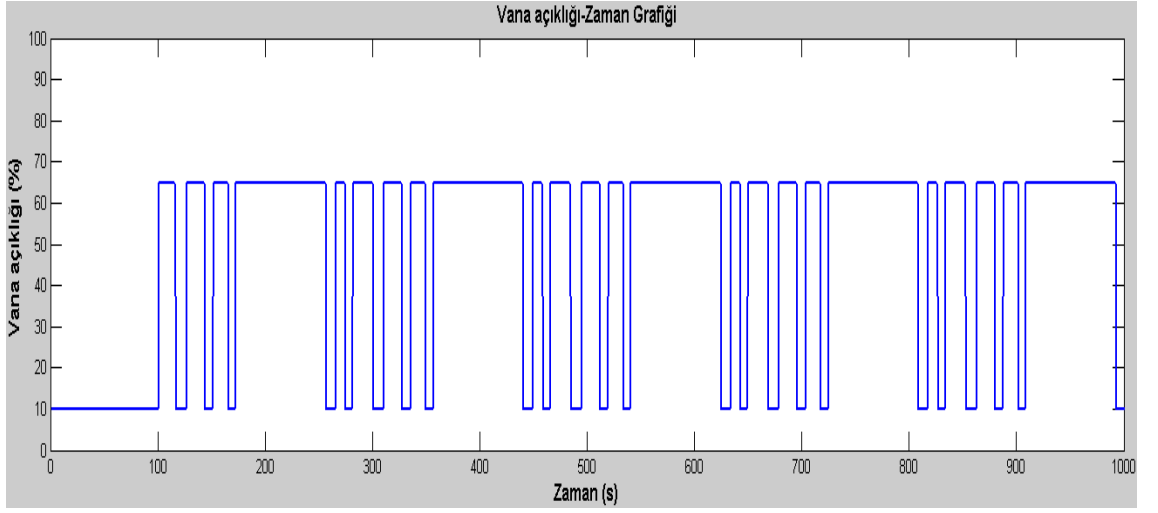
Şekil 5.23'te vana açıklığına %55 lik negatif etki verildiğinde sıvı seviyesinin zamanla değişimi şekil 5.24'te gösterilmiştir. Şekilden de görüldüğü üzere 0.5 dm'ye yakın ikinci yatışkın hal değerine ulaşmıştır.

5.2.2 PRBS etkinin verildiği dinamik hal deney sonuçları

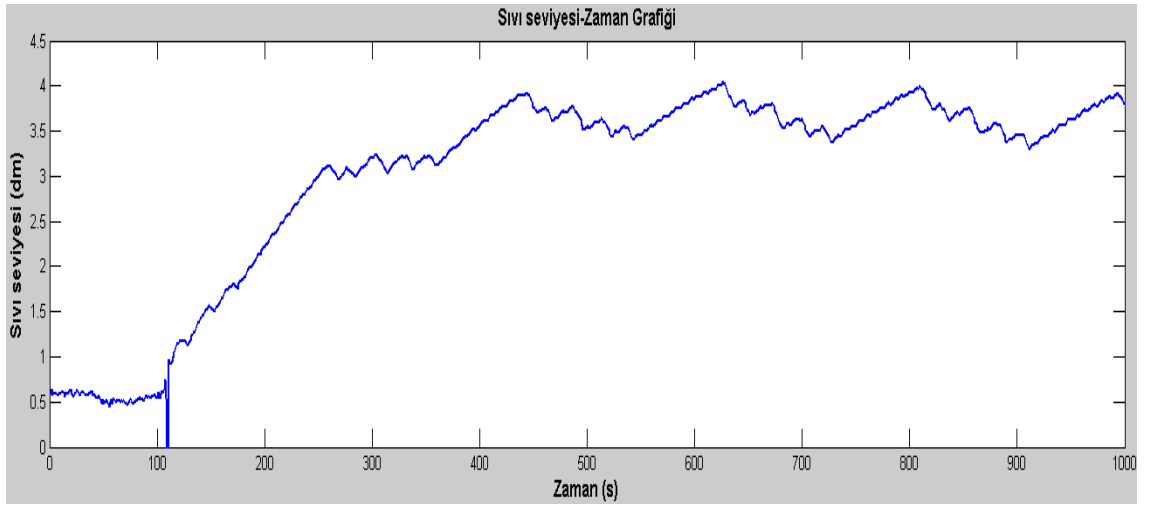
PRBS etki altında yapılan dinamik hal deneylerinde sıvı seviye vana açıklığı %10 değerinde tutularak 100s çalışıldıktan sonra sıvı seviyesi yatışkın hale getirilmiştir. Daha sonra Simulink programında bulunan PRBS bloku yardımıyla sıvı seviye vana açıklığına %10 ve %65 olmak üzere gelişigüzel ikili etkiler verilmiştir. Verilen bu etkilere göre sıvı seviyesindeki değişimler (3.5-4 dm arasında) gözlenmiştir (Şekil 5.26).

Çizelge 5.2 PRBS etkisi altında dinamik hal deney koşulları

Parametre	Değeri
Vana açıklığı (ilk değer)	%10
Vana açıklığı (son değer)	%65
Deney süresi	1000s
Veri alma sıklığı	1s



Şekil 5.25 PRBS etkinin verildiği dinamik hal deneyinde vana sıvı seviye vana açıklığının zamanla değişim grafiği



Şekil 5.26 PRBS etkinin verildiği dinamik hal deneyinde sıvı seviyesinin zamanla değişim grafiği

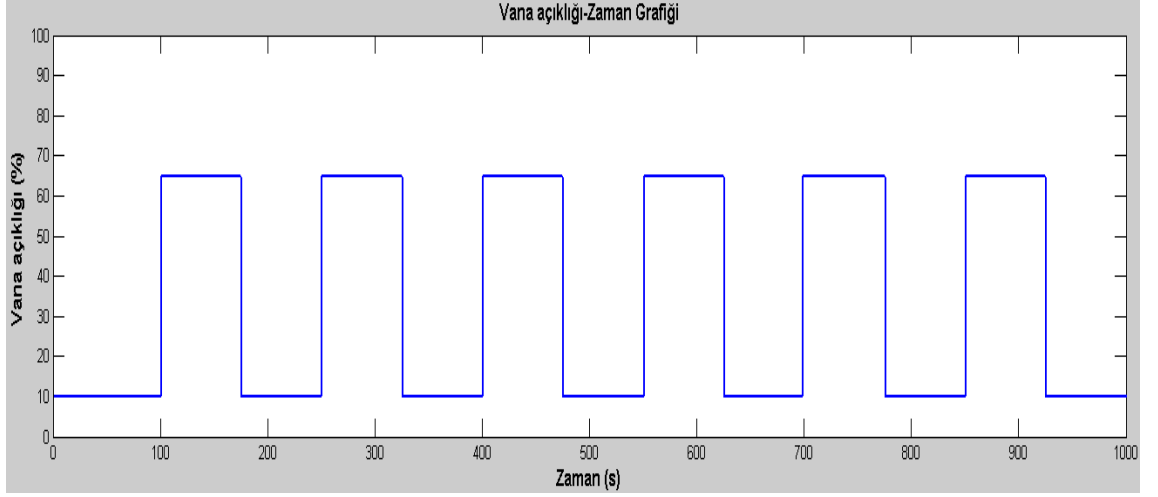
Şekil 5.25'te vana açıklığına PRBS etkinin verildiği dinamik hal deneyi gösterilmiştir. Sistemin cevabı şekil 5.26'da gösterildiği gibidir. Ancak etkiler 100s'den sonra başlatılmıştır.

5.2.3 Kare dalga etki uygulanan dinamik hal sonuçları

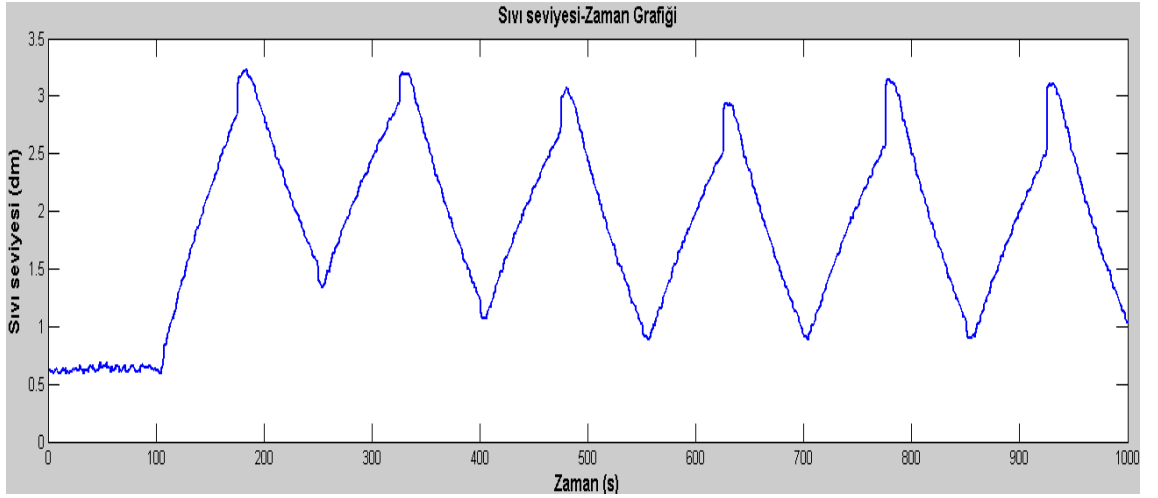
Sistem 100s yatışkın halde işletildikten sonra sıvı seviye vana açıklığına 75 s'lik periyotlarda pozitif ve negatif etkiler verilerek sıvı seviyesinin değişimi gözlenmiştir.

Çizelge 5.3 Kare dalga etkisi altında dinamik hal deney koşulları

Parametre	Değeri
Vana açıklığı (ilk değer)	%10
Vana açıklığı (son değer)	%65
Deney süresi	1000s
Veri alma sıklığı	1s



Şekil 5.27 Kare dalga etkinin verildiği dinamik hal deneyinde sıvı seviye vana açıklığının zamanla değişim grafiği

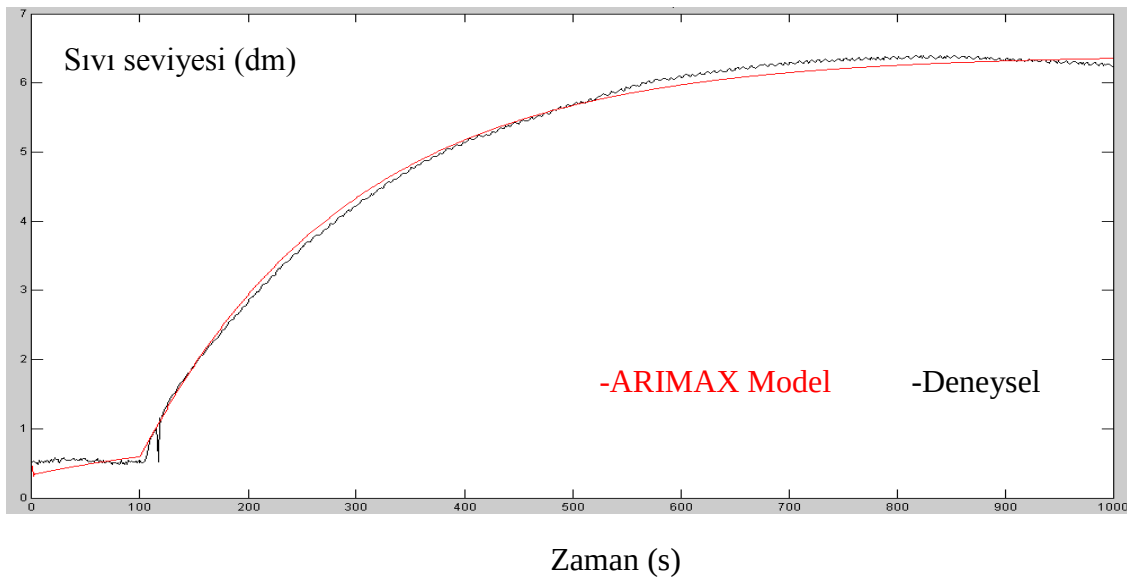


Şekil 5.28 Kare dalga etkinin verildiği dinamik hal deneyinde sıvı seviyesinin zamanla değişim grafiği

Şekil 5.27’de vana açıklığına kare dalga etkisi verilerek şekil 5.28’de sıvı seviyesinin zamanla değişimi gösterilmiştir. 100 s sonunda seviye kontrol vanasına pozitif ve negatif etkiler verilerek sıvı seviyesinin dinamik davranışı gözlenmiştir.

5.3 Sistem Tanımlama Sonuçları

Sistem tanımlama için sıvı seviye kontrol vanasına PRBS, kare dalga ve basamak etkiler verilerek sıvı seviyesinin zamanla değişimi gözlenmiştir. Böylelikle birinci mertebeden ölü zamanlı ARIMAX model eşitlikleri belirlenmiştir. Sistem tanımlama model katsayılarının belirlenmesinde ‘MATLAB System identification toolbox’ kullanılmıştır. PID kontrol ve Fuzzy kontrol için yapılacak deneylerde sistemin birinci mertebeden ölü zamanlı model ile temsil edildiği varsayılmıştır.

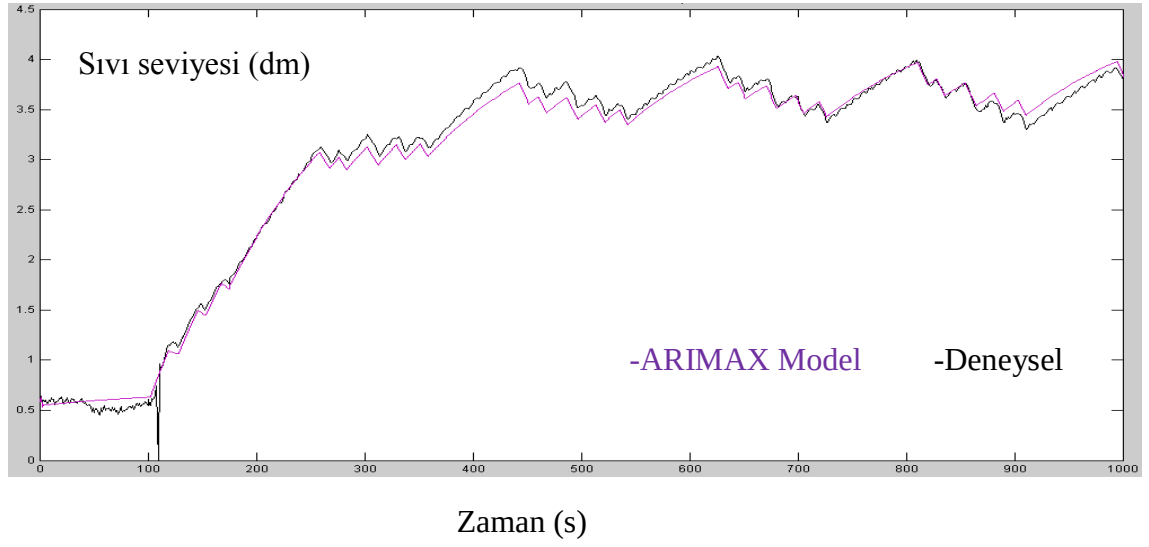


Şekil 5.29 Basamak etkinin verildiği ARMAX model ile deneysel verilerin karşılaştırılması

Basamak etki sonucu belirlenen model Eşitlik 5.1’de verilmiştir.

$$y(t) - 0.715y(t-1) + 0.277 y(t-2) = 0.00021 u(t) - 0.0088 u(t-1) - 0.00047 u(t-2) + e(t) - 0.6289e(t-1)-0.1386e(t-2) \quad (5.1)$$

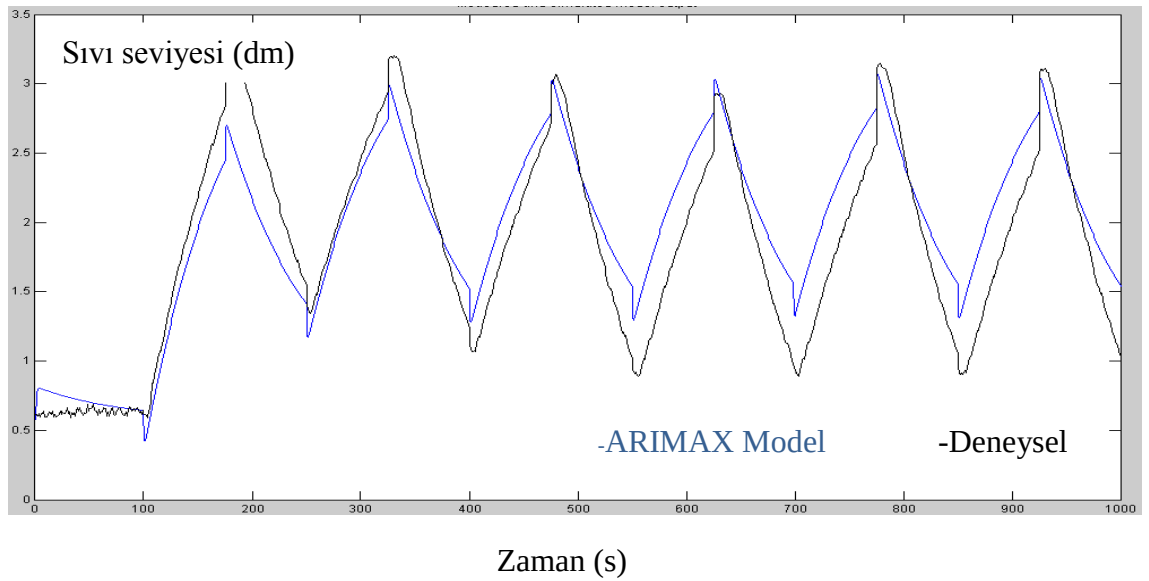
Basamak etki sonucunda sistem tanımlama yöntemiyle elde edilen model denklem 5.1’de verilmiştir. Teorik olarak elde edilen bu model sonuçları ile deneysel dinamik sonuçlar karşılaştırıldığında 6 dm set noktası için elde edilen verilerin birbiriyle uyumlu olduğu görülmüştür.



Şekil 5.30 PRBS etkinin verildiği ARIMAX model ile deneysel verilerin karşılaştırılması

PRBS etki sonucu belirlenen model Eşitlik 5.2’de verilmiştir.

$$y(t) - 0.783y(t-1) + 0.210y(t-2) = 0.00016 u(t) - 0.0062 u(t-1) - 0.00034 u(t-2) + e(t) - 0.7487e(t-1) - 0.01944e(t-2) \quad (5.2)$$



Şekil 5.31 Kare dalga etkinin verildiği ARIMAX model ile deneysel verilerin karşılaştırılması

Kare dalga etki sonucu belirlenen model Eşitlik 5.3’de verilmiştir.

$$y(t) - 1.169y(t-1) + 0.886y(t-2) = 0.00036 u(t) - 0.0078 u(t-1) - 0.00073 u(t-2) + e(t) - 0.867e(t-1) - 0.007e(t-2) \quad (5.3)$$

Denklem 5.2 ve denklem 5.3’ten elde edilen teorik sonuçların deneysel sonuçlarla örtüştüğü görülmüştür.

5.4 Kontrol Deneyleri Sonuçları

Kontrol deneyleri PID, GPC Fuzzy kontrol yöntemleri kullanılarak yapılmıştır. Her bir kontrol yöntemi için gerekli parametre değerleri belirlendikten sonra kullanılan algoritma aracılığı ile sıvı seviye kontrolü sağlanmıştır. Kablosuz sıvı seviye kontrol deneylerinde öncelikli olarak sıvı seviye kontrol vanası açıklığı %10 değerinde 100s çalıştırılarak sistemin yatışkın hali gözlenmiş, daha sonra kontrol algoritmaları devreye alınarak sistemin kontrolü gerçekleştirilmiştir.

5.4.1 PID kontrol deney sonuçları

Kablosuz sıvı seviye PID kontrol deneylerinde kullanılan kontrol katsayıları değerleri (K_C , τ_I , τ_D) Cohen Coon ve deneme yanılma yöntemleri ile bulunarak deneyler gerçekleştirilmiştir. PID sıvı seviye kontrol deneylerinin yapıldığı Matlab/Simulink blok diyagramı Şekil 5.32’de verilmiştir. Ayrıca kontrol çalışmalarında kullanılan PID kontrol algoritması EK1’de verilmiştir.

Çizelge 5.4 Reaksiyon eğrisi ile elde edilen parametre değerleri

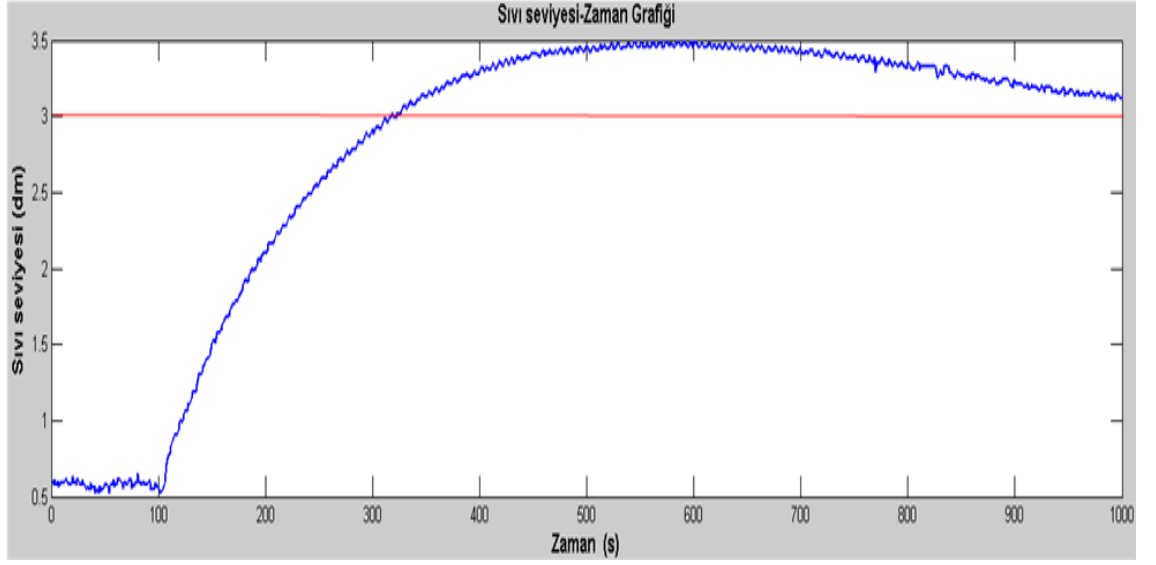
Parametre	Değeri
τ_{AD}	5s
τ_a	745s
U_s	0.1

Reaksiyon eğrisi geçirme yöntemiyle elde edilen parametrelerin değerleri kullanılarak Cohen-Coon yönteminde kullanılacak PID kontrol katsayıları hesaplanarak Çizelge 5.5'te verilmiştir. Cohen-Coon yöntemi ile elde edilen PID katsayılarının kullanıldığı kontrol deneyleri farklı set noktaları için yapılmıştır.

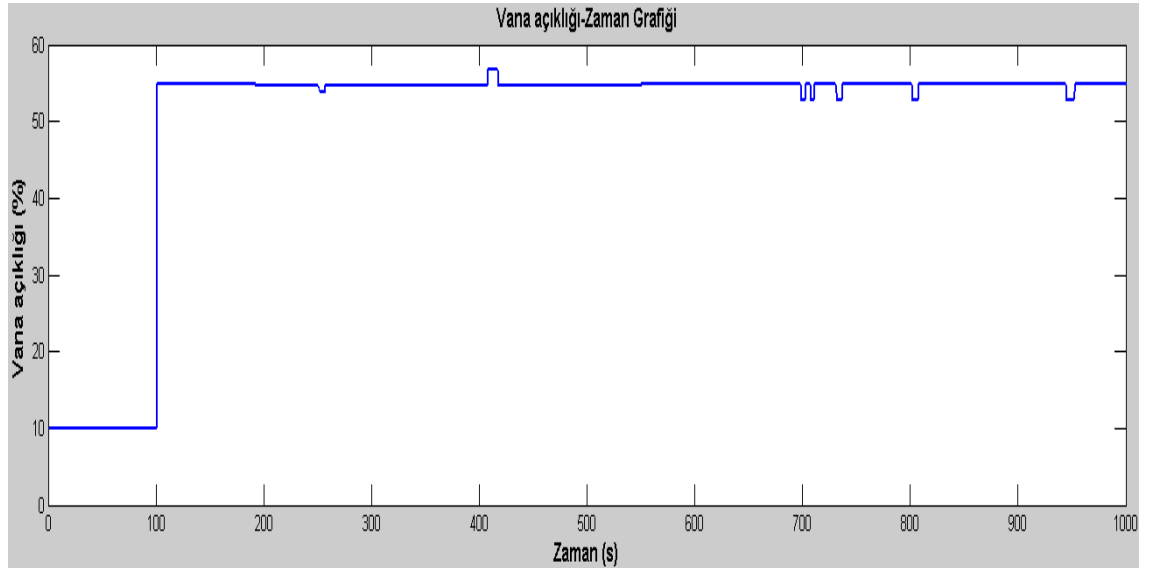
Çizelge 5.5 Cohen-Coon yöntemi ile belirlenen katsayılar

Katsayılar	Değerler
K_c	22.8
τ_i	12.3
τ_D	1.8

Çizelge 5.5'te verilen PID parametreleri kullanılarak çeşitli set noktalarında kontrol deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bununla ilgili sonuçlar aşağıda sırasıyla verilmiştir.

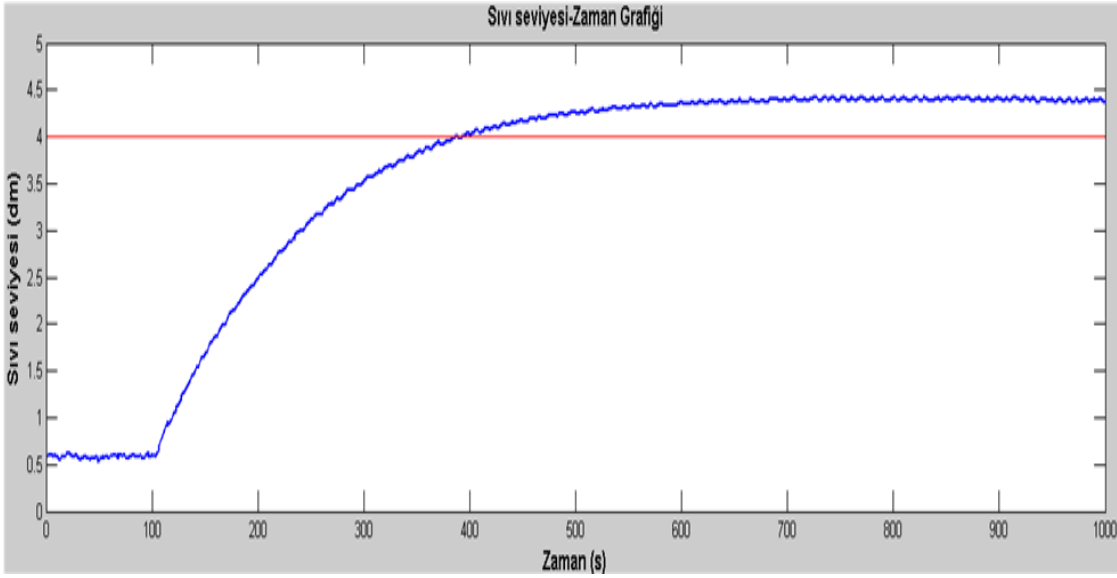


Şekil 5.34 PID kontrol deneyinde set noktası=3dm iken sıvı seviyesi değişim grafiği

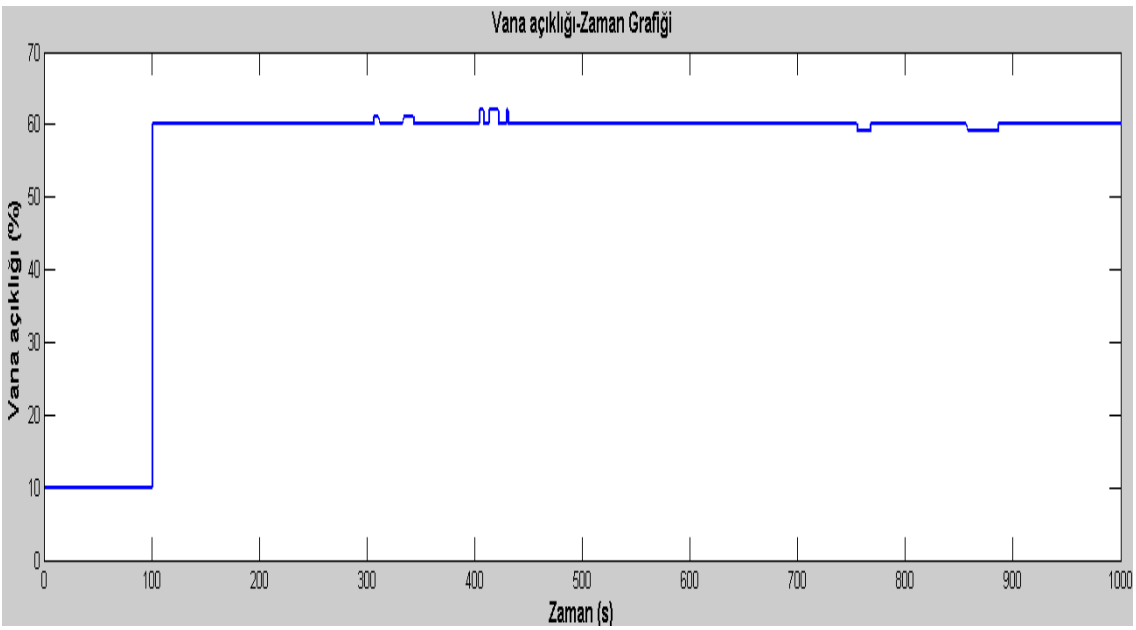


Şekil 5.35 PID kontrol deneyinde set noktası=3dm iken vana açıklığı değişim grafiği

Şekil 5.34'te set noktası 3 dm için sıvı seviye değişimi verilmiştir. Sıvı seviyesi istenen set noktasına ulaşamamıştır.

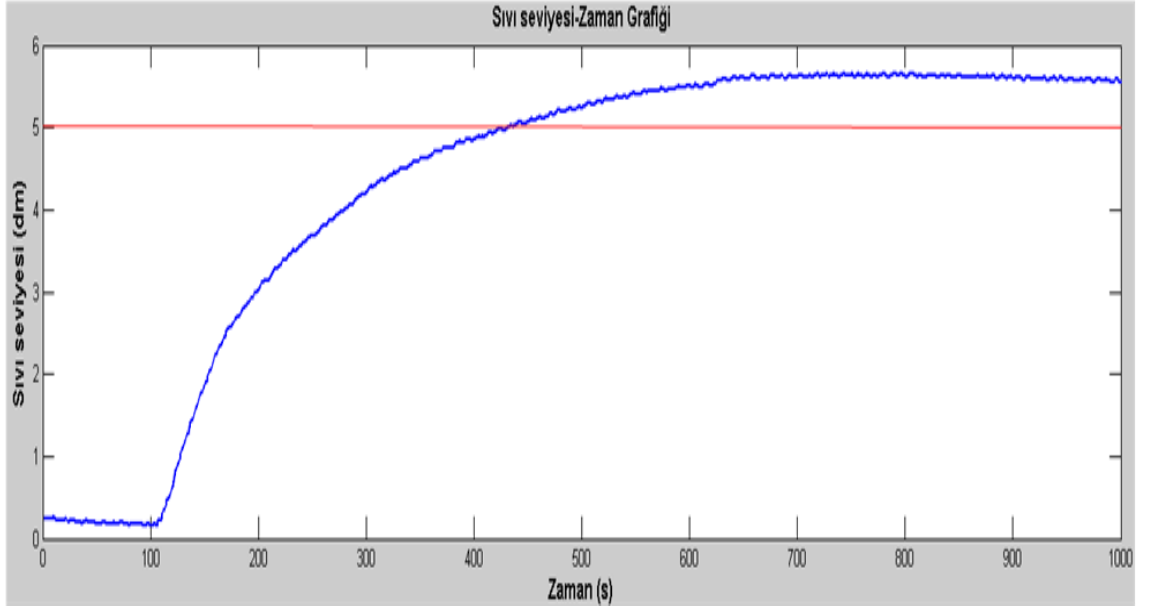


Şekil 5.36 PID kontrol deneyinde set noktası=4dm iken sıvı seviyesi değişim grafiği

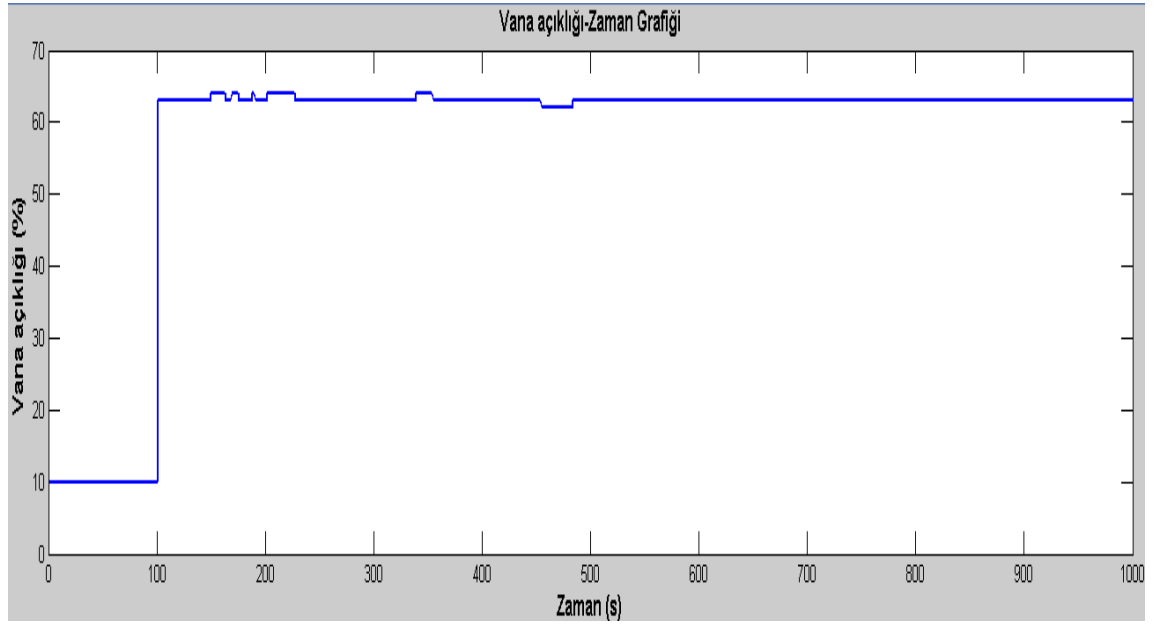


Şekil 5.37 PID kontrol deneyinde set noktası=4dm iken vana açıklığı değişim grafiği

Şekil 5.36’da set noktası 4 dm için sıvı seviye değişim grafiği verilmiştir. Şekil 5.37’de ise ayar değişkeni olan sıvı seviye vana açıklığı değişim grafiği verilmiştir. Benzer şekilde bir offset görülmüştür.

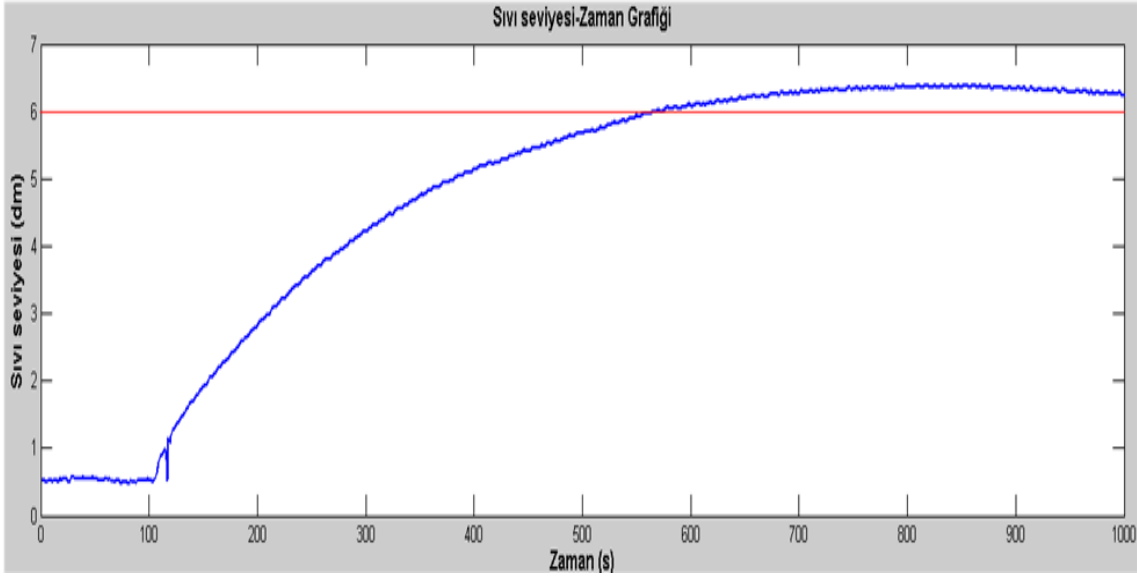


Şekil 5.38 PID kontrol deneyinde set noktası=5dm iken sıvı seviyesi değişim grafiği

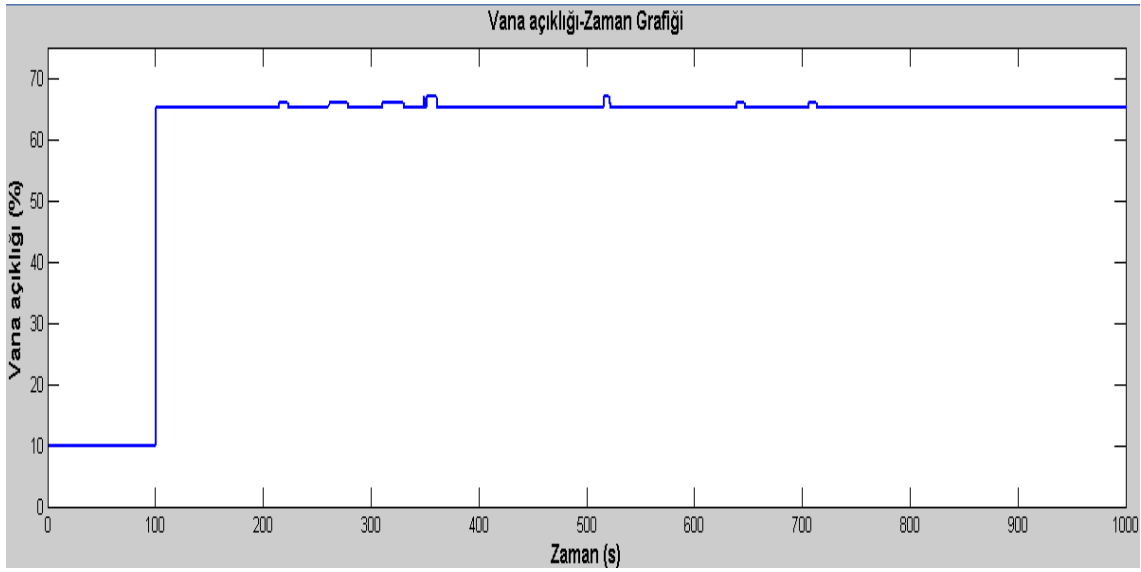


Şekil 5.39 PID kontrol deneyinde set noktası=5dm iken vana açıklığı değişim grafiği

Şekil 5.38-5.39’da sırasıyla sıvı seviyesinin ve vana açıklığının zamanla değişim grafikleri verilmiştir. Diğer set noktaları ile benzer sonuç elde edilmiştir.



Şekil 5.40 PID kontrol deneyinde set noktası=6dm iken sıvı seviyesi değişim grafiği



Şekil 5.41 PID kontrol deneyinde set noktası=6dm iken vana açıklığı değişim grafiği

Şekil 5.34 ile şekil 5.41 arasında PID kontrol sonuçları incelendiğinde istenen set noktalarına sıvı seviyesinin ulaşamadığı görülmüştür. Bu sonuçlardan Cohen-Coon yöntemiyle elde edilen PID parametreleri tüm set noktaları için etkili olmadığı

anlaşılmıştır. Bu nedenle diğer parametre ayarlama yöntemi olan deneme-yanılma yöntemi ilgili sistem için denenmiştir.

Çizelge 5.6'dan görüldüğü gibi set noktası değerlerine karşılık sıvı seviyesinin zamanla değişiminden ISE ve IAE değerleri elde edilmiştir. Bu değerlere göre set noktasının 3dm olduğu hal için en iyi kontrol etkinliği elde edilmiştir.

Çizelge 5.6 Cohen-Coon ayar parametreleri ile yapılan PID kontrol performans değerleri

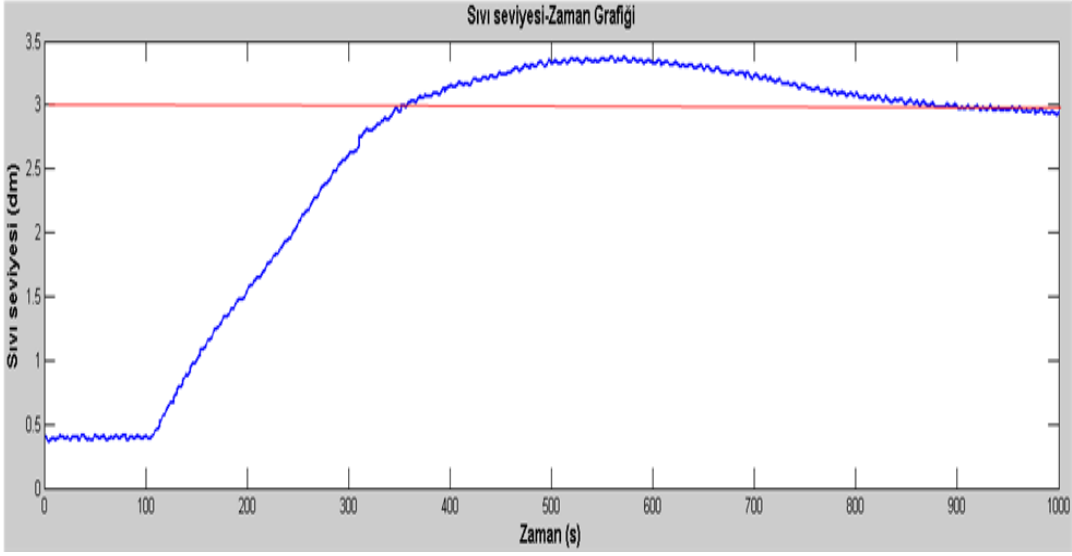
Set Değerleri	ISE	IAE
3dm	962.695	671.136
4dm	1932.274	894.606
5dm	3827.774	1273.808
6dm	5614.768	1521.516

5.4.1.2 Deneme-yanılma yöntemi ile PID kontrol deney sonuçları

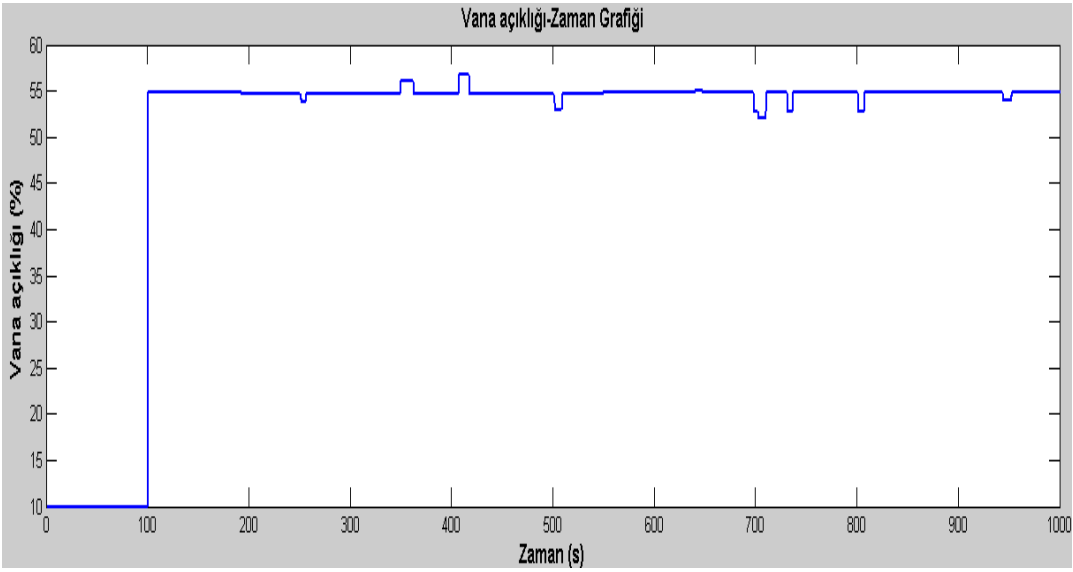
PID kontrol algoritmasındaki K_c , τ_i , τ_D parametreleri deneme-yanılma yöntemi ile değiştirilerek en iyi kontrol sonuçlarının elde edildiği katsayılar çizelge 5.7'de verilmiştir. Çizelge 5.7'de verilen PID parametreleri deneme yanılma yöntemi ile belirlenerek farklı set noktalarında kontrol deneyleri yapılmıştır.

Çizelge 5.7 Deneme-yanılma yöntemi ile belirlenen katsayılar

Katsayılar	Değerler
K_c	0.8
τ_i	7.2
τ_D	0.5

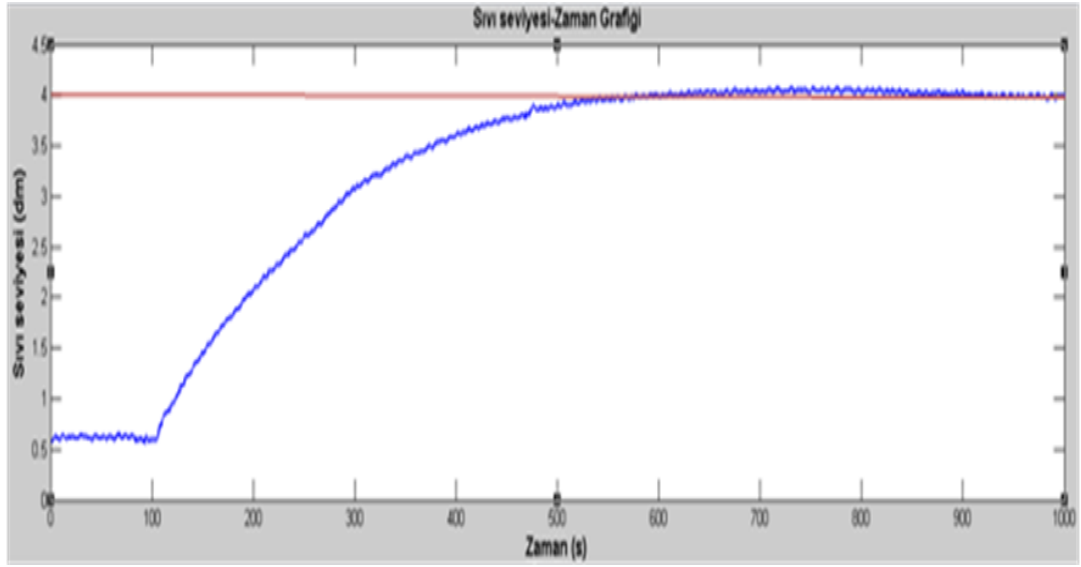


Şekil 5.42 PID kontrol deneyinde set noktası=3dm iken sıvı seviyesi değişim grafiği

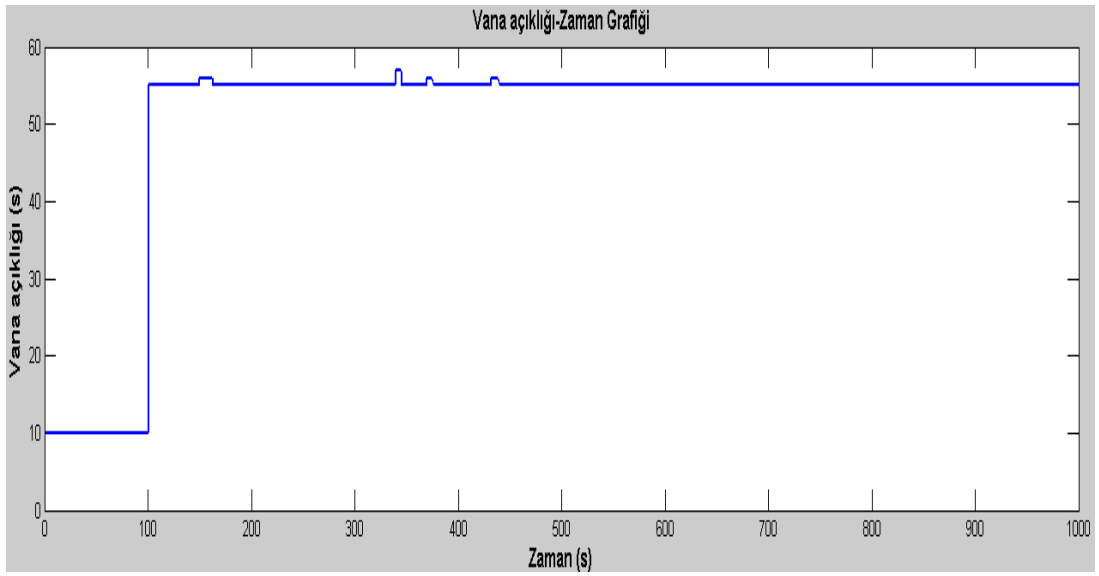


Şekil 5.43 PID kontrol deneyinde set noktası=3dm iken vana açıklığı değişim grafiği

Şekil 5.42 ve 5.43'te görüldüğü gibi 3dm'lik set noktası için sıvı seviyesinin bir salınım yapmasından sonra set noktasına ulaştığı görülmüştür.

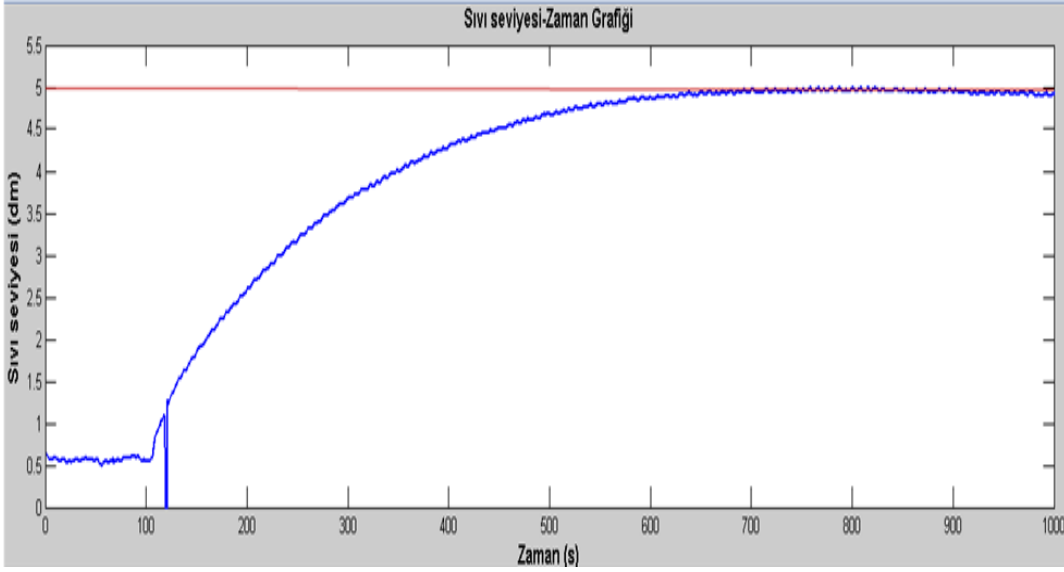


Şekil 5.44 PID kontrol deneyinde set noktası=4dm iken sıvı seviyesi değişim grafiği

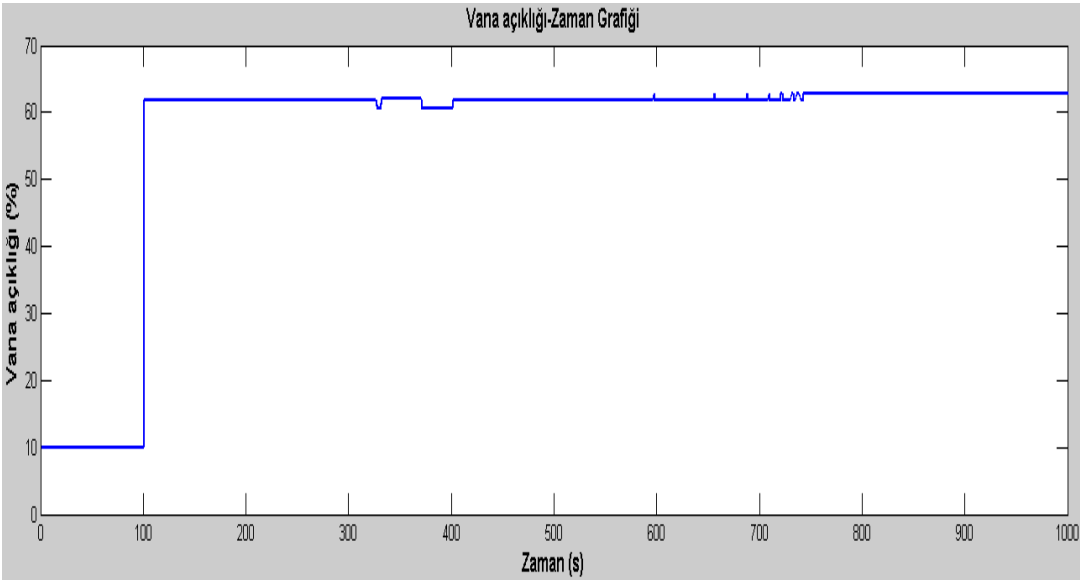


Şekil 5.45 PID kontrol deneyinde set noktası=4dm iken vana açıklığı değişim grafiği

Şekil 5.44-5.45'te görüldüğü gibi sıvı seviyesi 4dm'lik set noktasına hafif bir gecikmeyle ulaşmaktadır.

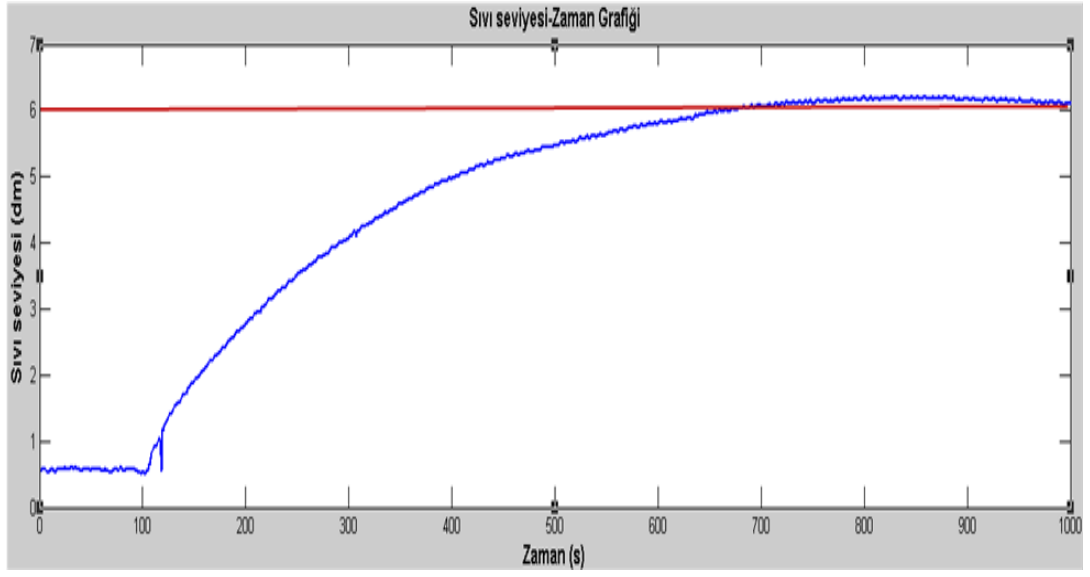


Şekil 5.46 PID kontrol deneyinde set noktası=5dm iken sıvı seviyesi değişim grafiği

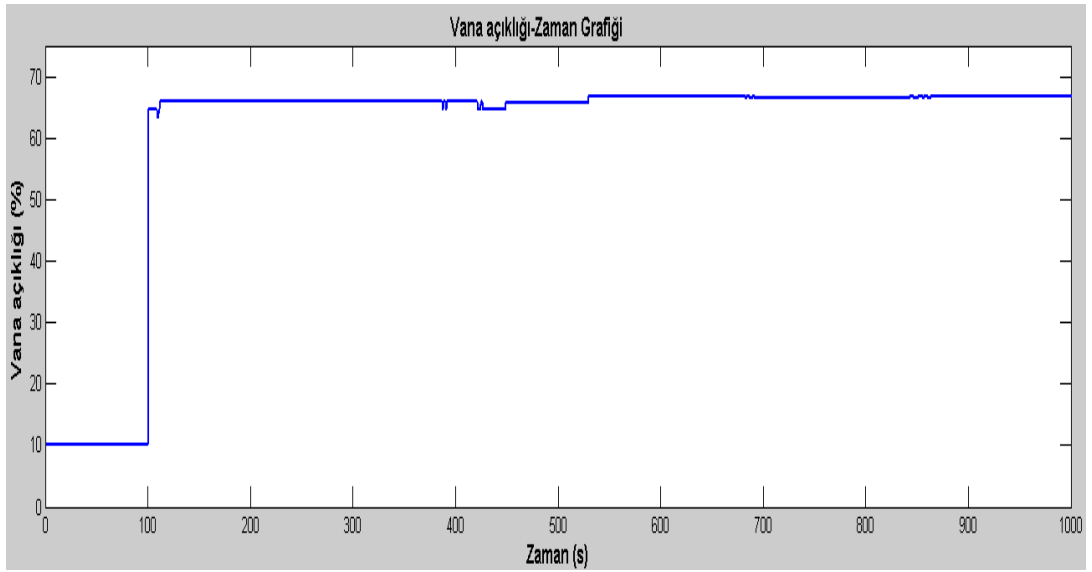


Şekil 5.47 PID kontrol deneyinde set noktası=5dm iken vana açıklığı değişim grafiği

Şekil 5.46-5.47'deki deney sonuçlarına göre sıvı seviyesi ve vana açıklığının zamana göre değişimi gösterilmiştir. Sıvı seviyesinin 5dm olduğu şartlar için proses değişkeni set noktasına istenen düzeyde ulaşmaktadır.



Şekil 5.48 PID kontrol deneyinde set noktası=6dm iken sıvı seviyesi değişim grafiği



Şekil 5.49 PID kontrol deneyinde set noktası=6dm iken vana açıklığı değişim grafiği

Şekil 5.48-5.49’da deneysel verileri içeren iki şekle göre, kontrol etkinliği set noktasının 6dm olduğu hal için öncekilere benzer bir yapı göstermiştir.

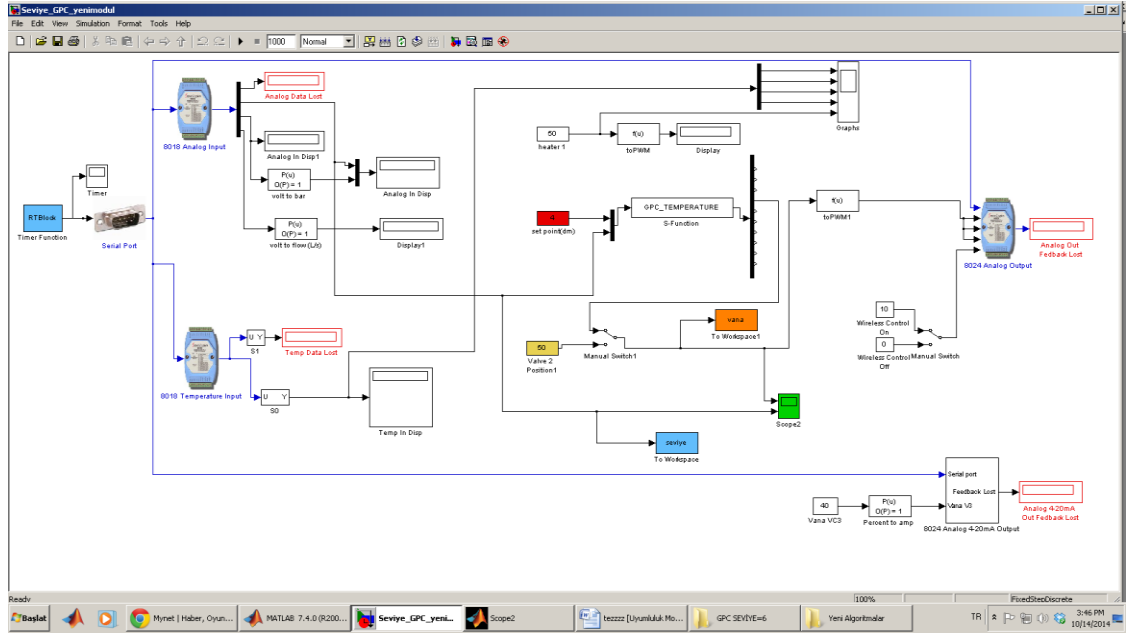
Çizelge 5.8’de görüldüğü gibi set noktası değerlerine karşılık sıvı seviyesinin zamanla değişiminden ISE ve IAE değerleri elde edilmiştir. Bu deneylere göre en iyi kontrol 4dm için sağlanmıştır.

Çizelge 5.8 Deneme-Yanılma ile yapılan PID kontrol performans değerleri

Set Değerleri	ISE	IAE
3dm	5669.419	1517.042
4dm	1222.888	674.986
5dm	1624.476	753.372
6dm	3543.412	1146.539

5.4.2 GPC kontrol deney sonuçları

GPC kontrol çalışmalarında algoritmadaki N_u , N_2 ve λ parametreleri ile $N_u=1$ $N_2=2$ değerlerindeki $\lambda=0.5, 0.05, 0.005$ değerleri için farklı sıvı seviye set noktaları seçilerek deneyler gerçekleştirilmiştir. GPC kontrol değerlerinde sıvı seviye kontrol vanası %10 açıklıkta sistem yatışkın halde çalıştırıldıktan sonra MATLAB/Simulink blok diyagramında bulunan anahtar bloku yardımıyla GPC kontrol algoritmasının yazıldığı blok devreye alınmış ve kontrol deneyleri yapılmıştır. MATLAB ortamında m-file olarak hazırlanan GPC kontrol algoritması EK 2’de verilmiştir. Bu algorithmada kullanılan ARIMAX model, basamak etki sonucu elde edilen veriler sonucunda oluşturulan (5.1) denkleminde verilen model eşitliğidir. Kablosuz sıvı seviye GPC kontrol deneyinde kullanılan MATLAB/Simulink blok diyagramı şekil 5.50’de verilmiştir.



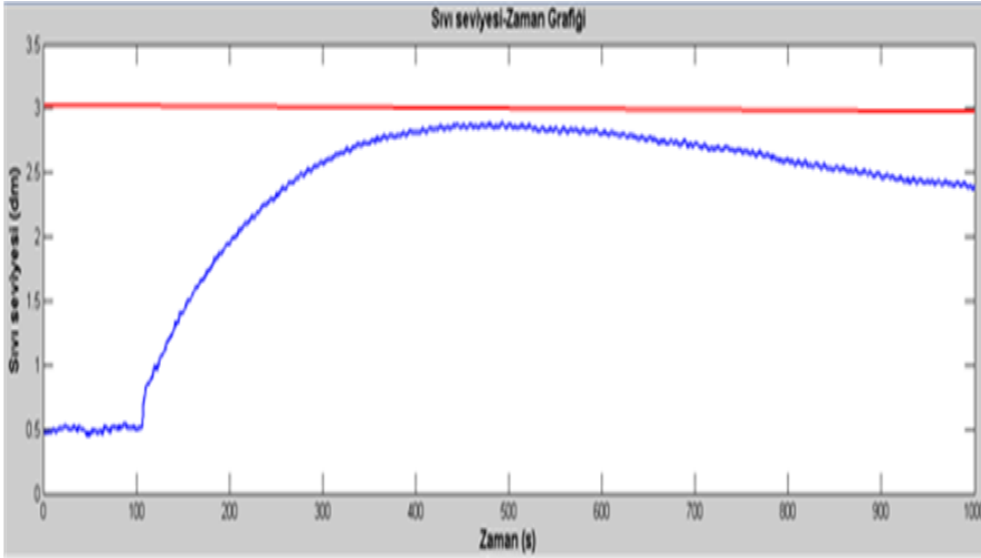
Şekil 5.50 GPC algoritması kullanılarak gerçekleştirilen sıvı seviye kontrol deneyinin Matlab/Simulink blok diyagramı

GPC algoritmasının kullanıldığı deneylerde $N_u=1$ $N_2=2$ değerlerinin dışındaki değerlerde seviye kontrol vanasının %100 açıklıkta çalıştığı gözlenmiştir. Bu sebepten dolayı sıvı seviyesinde meydana gelen ani yükselmelerle sistemde taşmayı engellemek için sıvı seviye sensörü devreye girmiş ve bu değerler üzerinde deneyler gerçekleştirilememiştir.

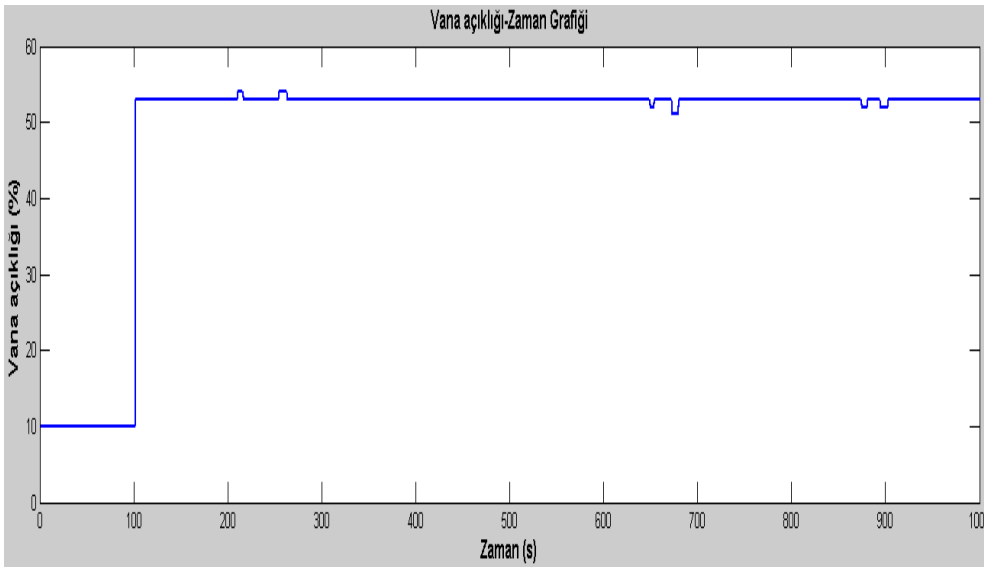
Kablosuz sıvı seviye kontrol deneylerinde GPC algoritması kullanılarak N_u , N_2 ve λ parametrelerinin farklı değerleri için farklı set noktalarında (set noktaları=3dm, 4dm, 5dm, 6dm) sıvı seviye kontrol deneyleri yapılmıştır.

$N_u=1$ $N_2=2$ ve $\lambda=0.5, 0.05, 0.005$ değerleri için farklı sıvı seviye set noktaları seçilerek yapılan deneylerde en iyi kontrol sonuçları $\lambda=0.05$ değerinde elde edilmiştir.

5.4.2.1 Set noktası 3dm iken elde edilen GPC kontrol sonuçları

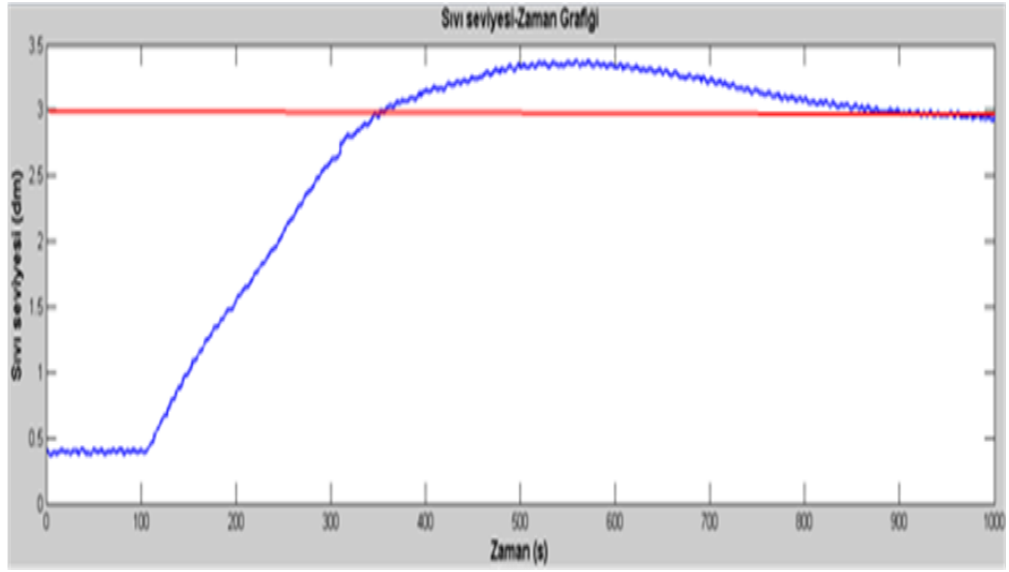


Şekil 5.51 $Nu=1$, $N_2=2$ ve $\lambda=0.5$ için sıvı seviyesinin zamanla değişim grafiği

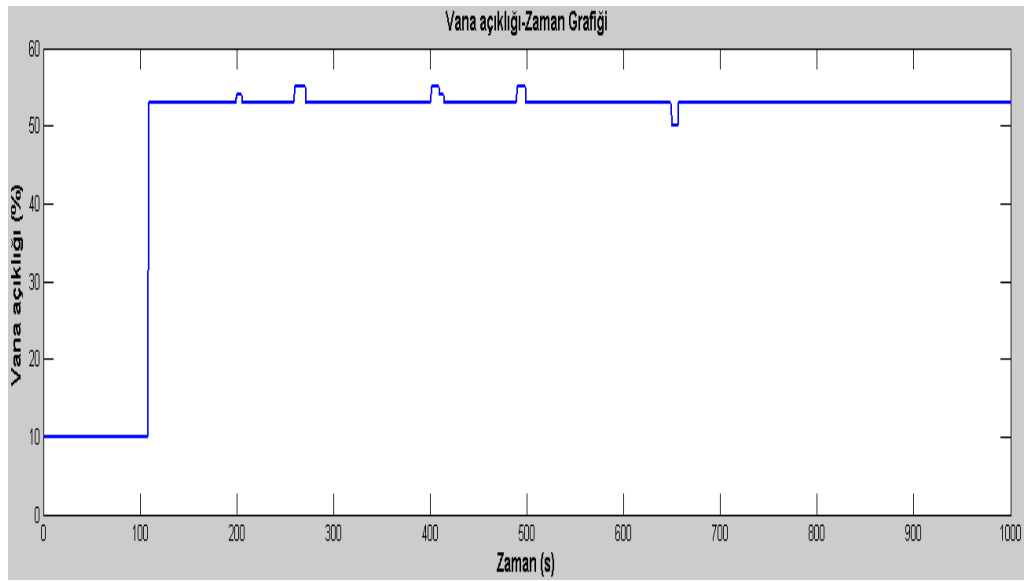


Şekil 5.52 $Nu=1$, $N_2=2$ ve $\lambda=0.5$ için vana açıklığının zamanla değişim grafiği

Şekil 5.51-5.52'de sırasıyla sıvı seviyesinin zamanla değişimi ve kontrol vanasının davranışı gösterilmiştir. Bu çalışma için $Nu=1$, $N_2=2$ ve $\lambda=0.5$ alınmıştır. Şekil 5.52'den görüldüğü gibi yaklaşık 0.6dm'lik offset oluşmuştur.

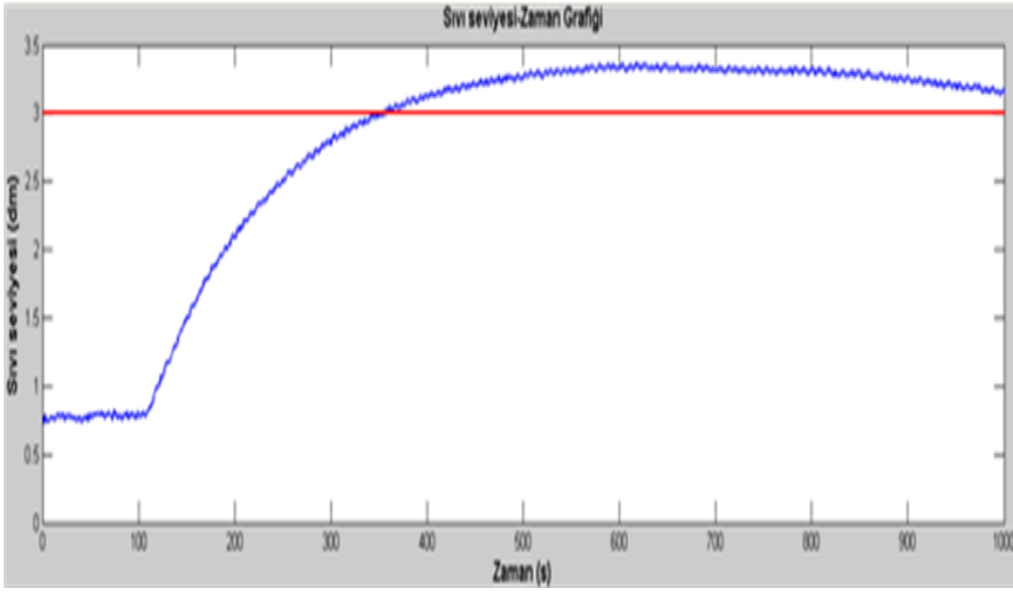


Şekil 5.53 $Nu=1$, $N_2=2$ ve $\lambda=0.05$ için sıvı seviyesinin zamanla değişim grafiği

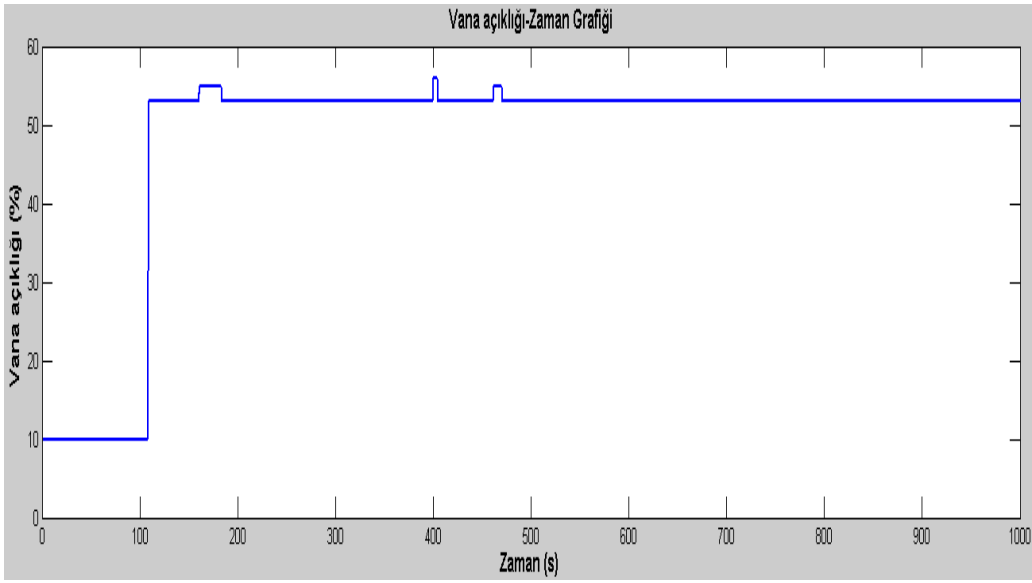


Şekil 5.54 $Nu=1$, $N_2=2$ ve $\lambda=0.05$ için vana açıklığının zamanla değişim grafiği

Şekil 5.53-5.54'te görüldüğü üzere $\lambda=0.05$ için belli bir aşmadan sonra set değerine (3dm) yaklaşık 800s sonra ulaşılmıştır.



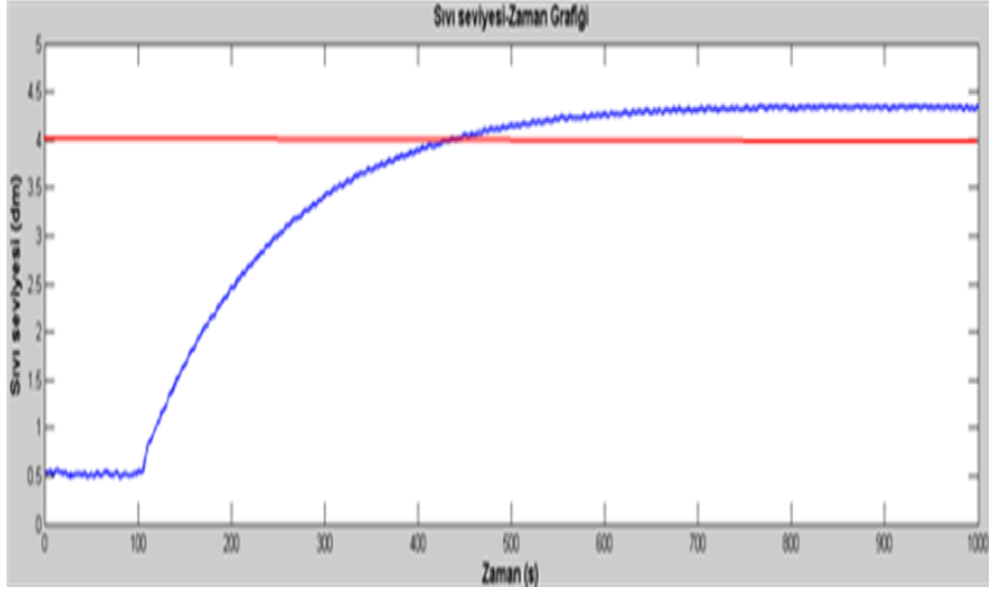
Şekil 5.55 $Nu=1$, $N_2=2$ ve $\lambda=0.005$ için sıvı seviyesinin zamanla değişim grafiği



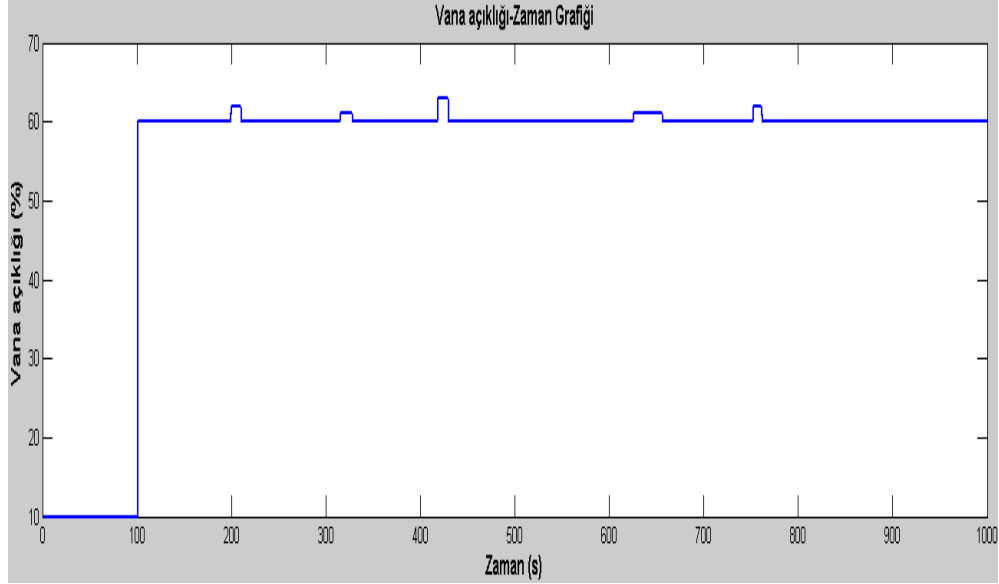
Şekil 5.56 $Nu=1$, $N_2=2$ ve $\lambda=0.005$ için vana açıklığının zamanla değişim grafiği

Şekil 5.55-5.56'da görüldüğü gibi $\lambda=0.005$ için 0.25dm'lik offset oluşmuştur. Offset kabul edilebilir bir sınırdadır.

5.4.2.2 Set noktası 4dm iken elde edilen GPC kontrol sonuçları

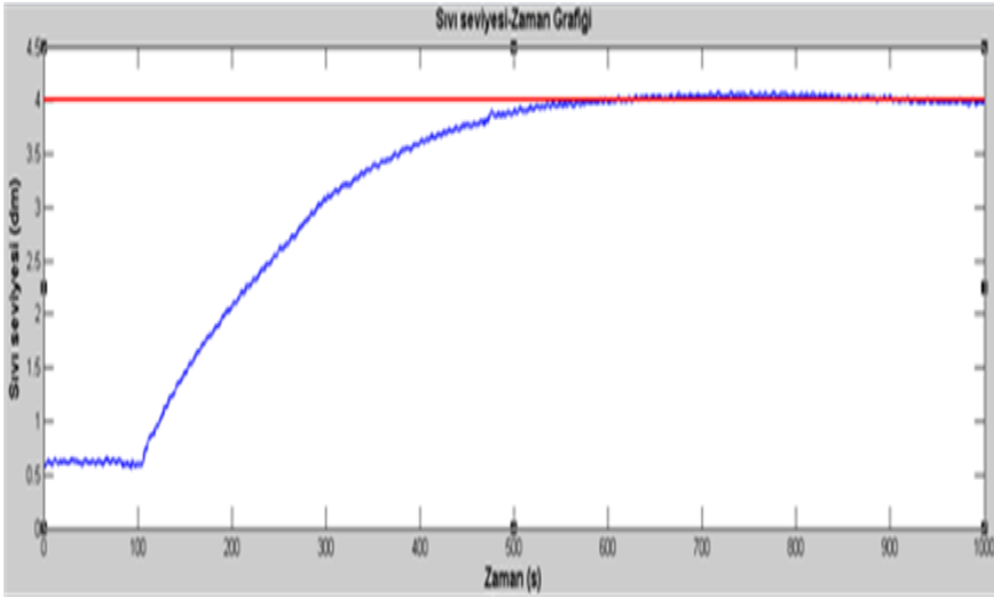


Şekil 5.57 $Nu=1$, $N_2=2$ ve $\lambda=0.5$ için sıvı seviyesinin zamanla değişim grafiği

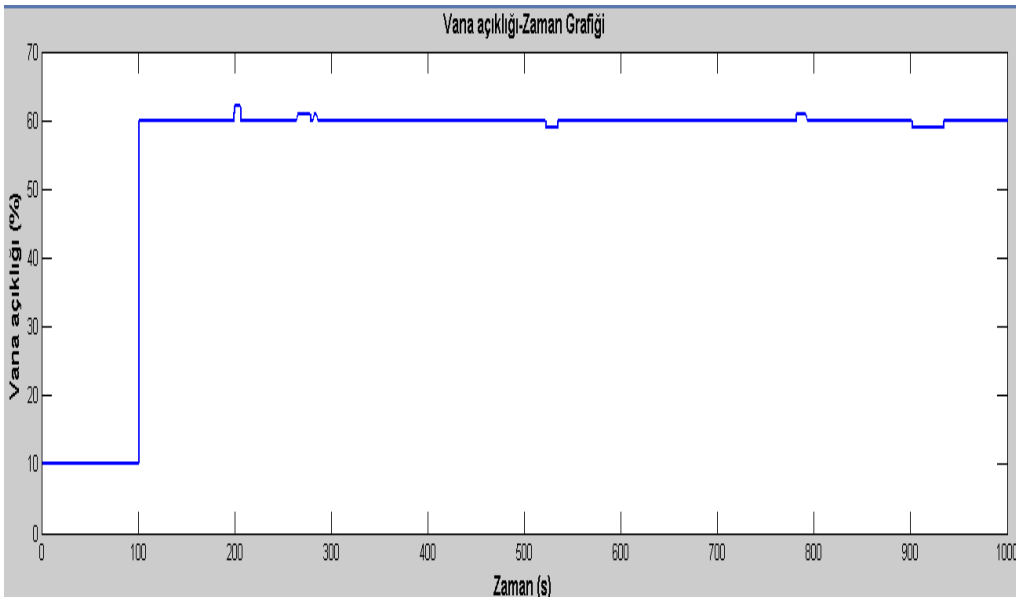


Şekil 5.58 $Nu=1$, $N_2=2$ ve $\lambda=0.5$ için vana açıklığının zamanla değişim grafiği

Set noktası 4dm iken $\lambda=0.5$ için sıvı seviyesinin zamanla değişimi Şekil 5.57'de verildiği gibidir. Grafikten de görüldüğü üzere yaklaşık 0.4dm'lik offset vardır.

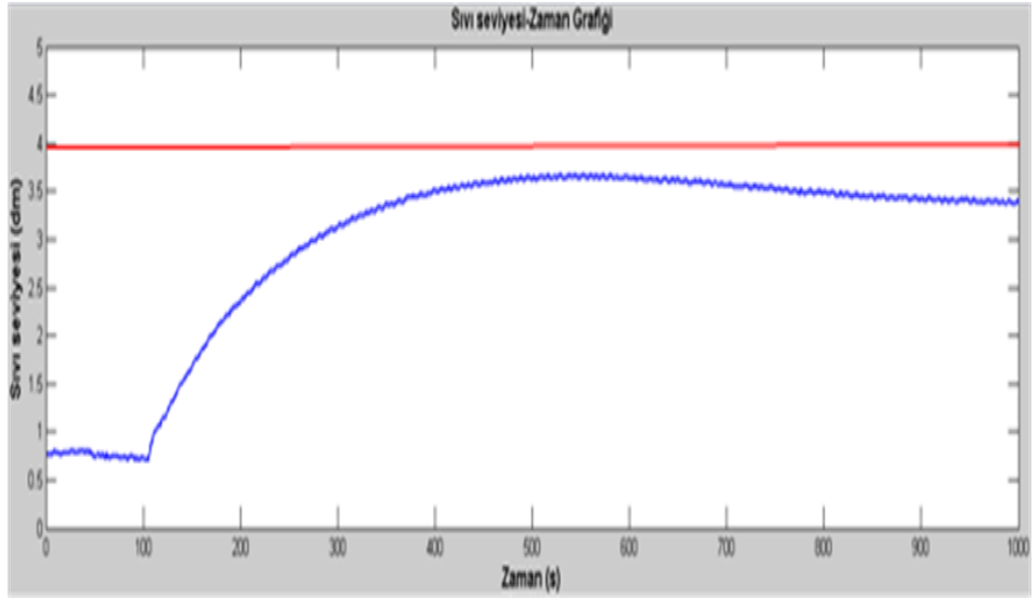


Şekil 5.59 $Nu=1$, $N_2=2$ ve $\lambda=0.05$ için sıvı seviyesinin zamanla değişim grafiği

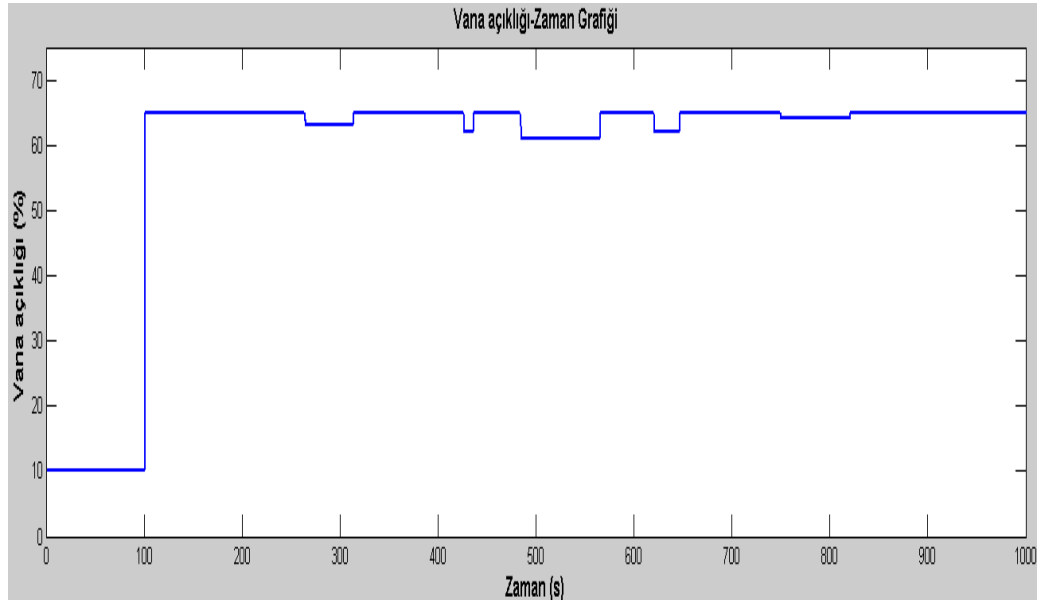


Şekil 5.60 $Nu=1$, $N_2=2$ ve $\lambda=0.05$ için vana açıklığının zamanla değişim grafiği

Şekil 5.59-5.60'da görüldüğü üzere $\lambda=0.05$ için yaklaşık 500s sonunda kontrol edilmiş ve kontrol edici sıvı seviyesini istenen set değerinde tutabilmiştir.



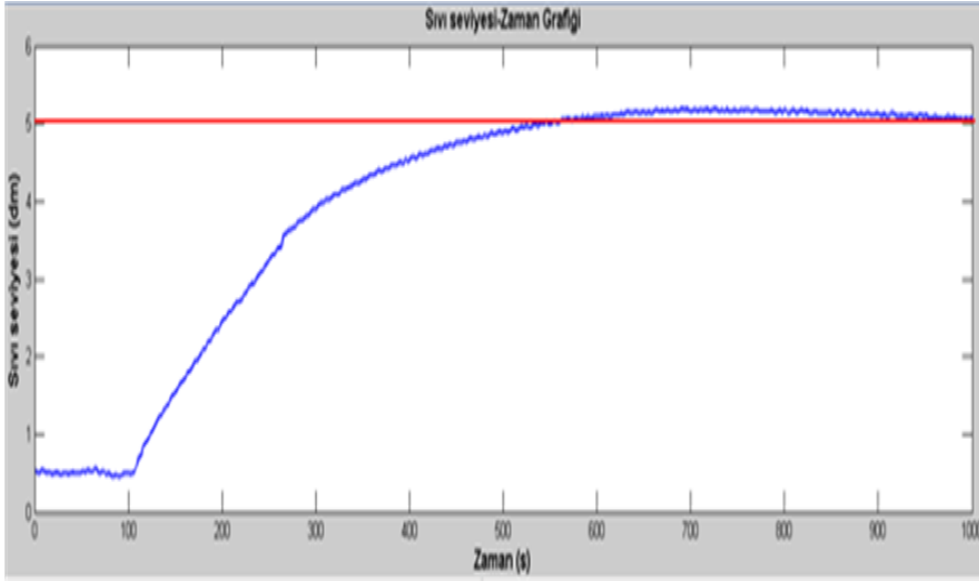
Şekil 5.61 $Nu=1$, $N_2=2$ ve $\lambda=0.005$ için sıvı seviyesinin zamanla değişim grafiği



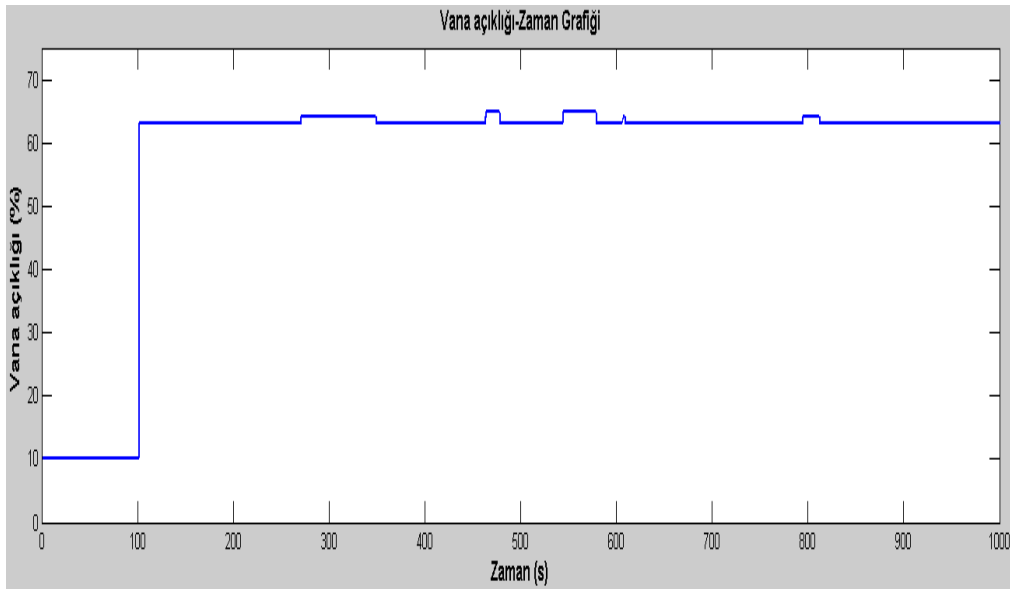
Şekil 5.62 $Nu=1$, $N_2=2$ ve $\lambda=0.005$ için vana açıklığının zamanla değişim grafiği

Şekil 5.61-5.62'den görüldüğü gibi $\lambda=0.005$ için başarılı bir kontrol sağlanamamış olup yaklaşık 0.6'lık bir offset mevcuttur.

5.4.2.3 Set noktası 5dm iken elde edilen GPC kontrol sonuçları

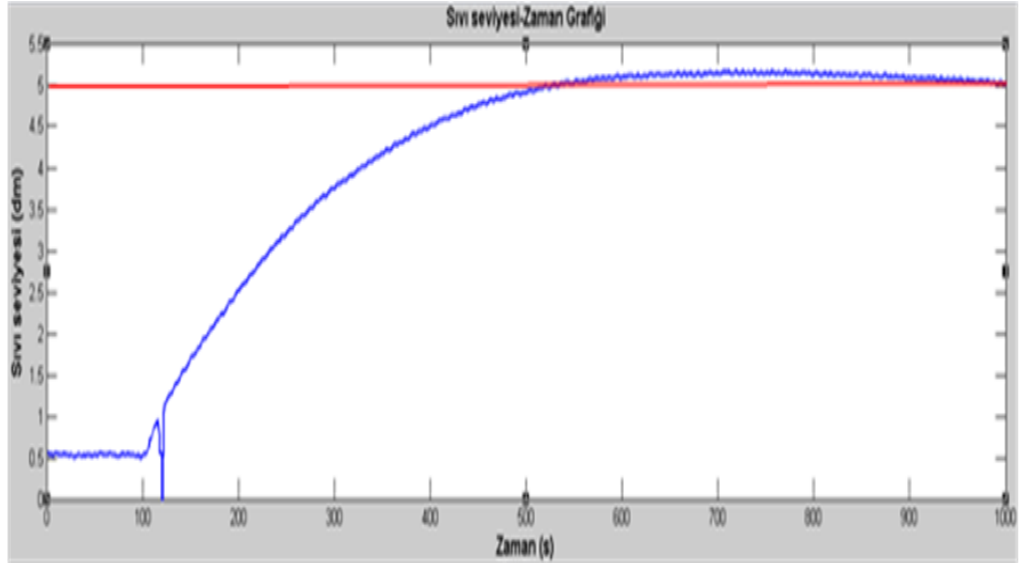


Şekil 5.63 $Nu=1$, $N_2=2$ ve $\lambda=0.5$ için sıvı seviyesinin zamanla değişim grafiği

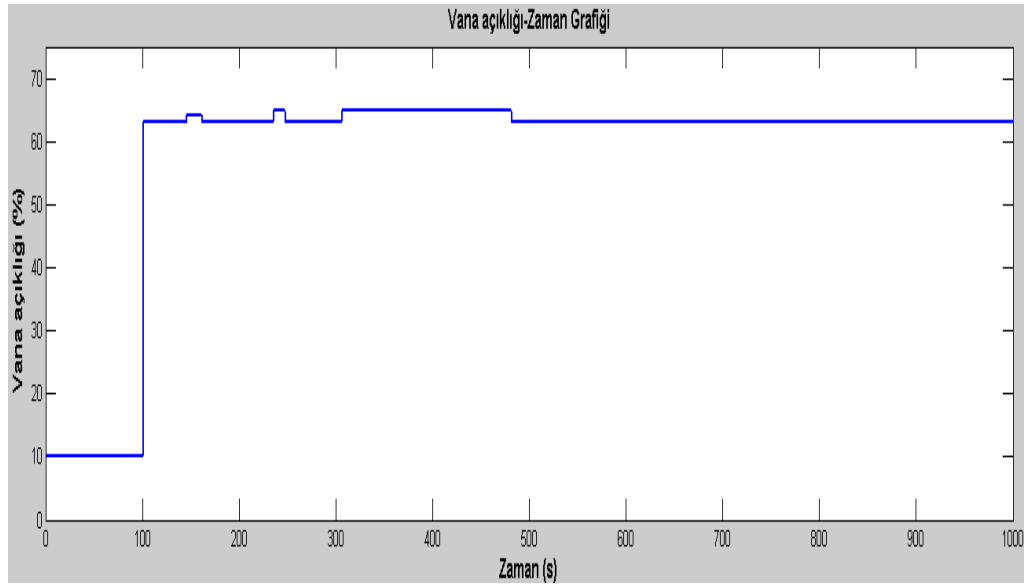


Şekil 5.64 $Nu=1$, $N_2=2$ ve $\lambda=0.5$ için vana açıklığının zamanla değişim grafiği

Şekil 5.63'te görüldüğü üzere $\lambda=0.5$ için yaklaşık 500s sonunda kontrol edici istenen set noktasında kontrolü sağlamaya çalışmıştır.

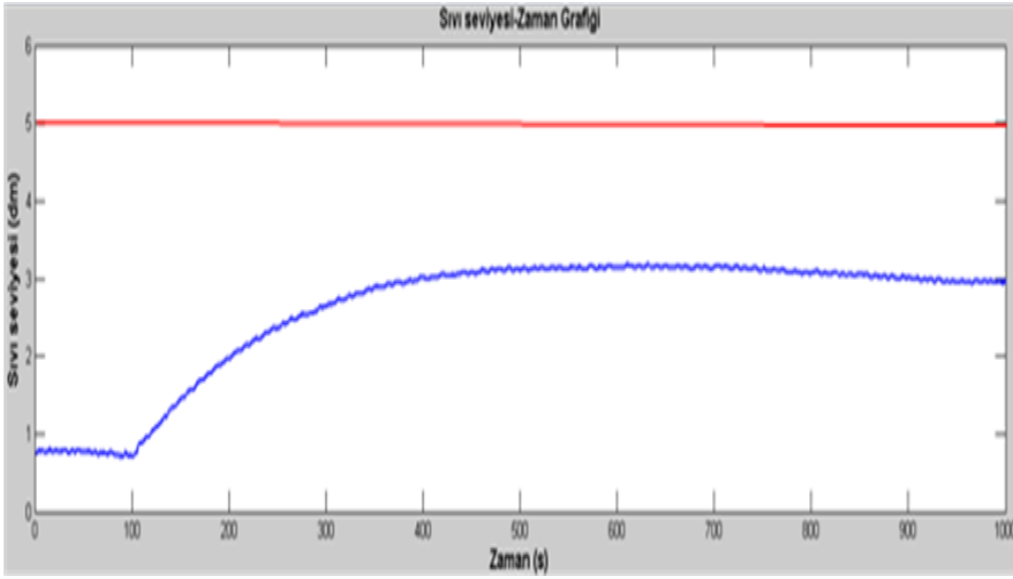


Şekil 5.65 $Nu=1$, $N_2=2$ ve $\lambda=0.05$ için sıvı seviyesinin zamanla değişim grafiği

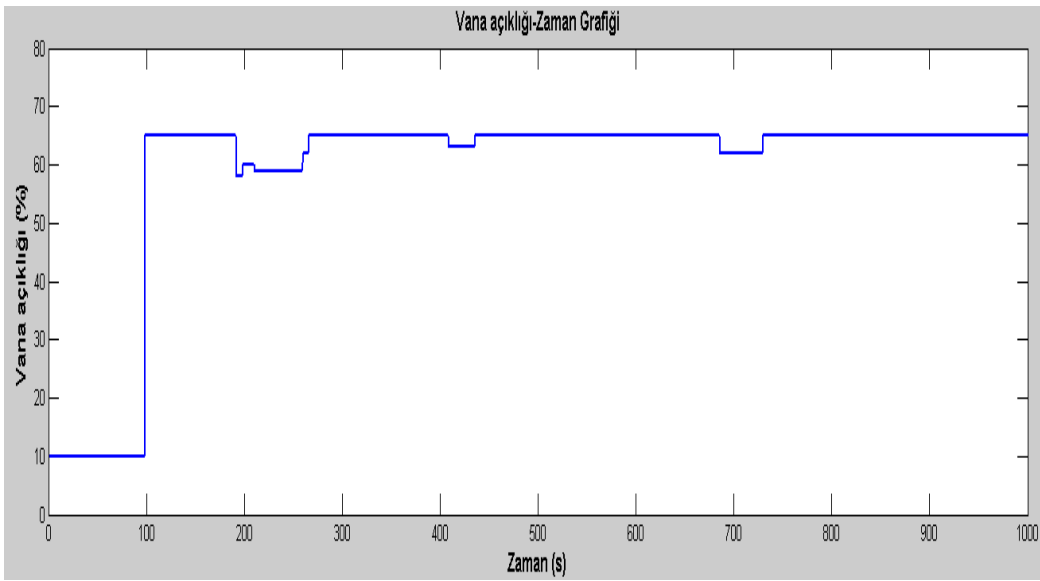


Şekil 5.66 $Nu=1$, $N_2=2$ ve $\lambda=0.05$ için vana açıklığının zamanla değişim grafiği

$\lambda=0.05$ için en iyi kontrol elde edilmiş olup 500s'de set değerine ulaşılmıştır.



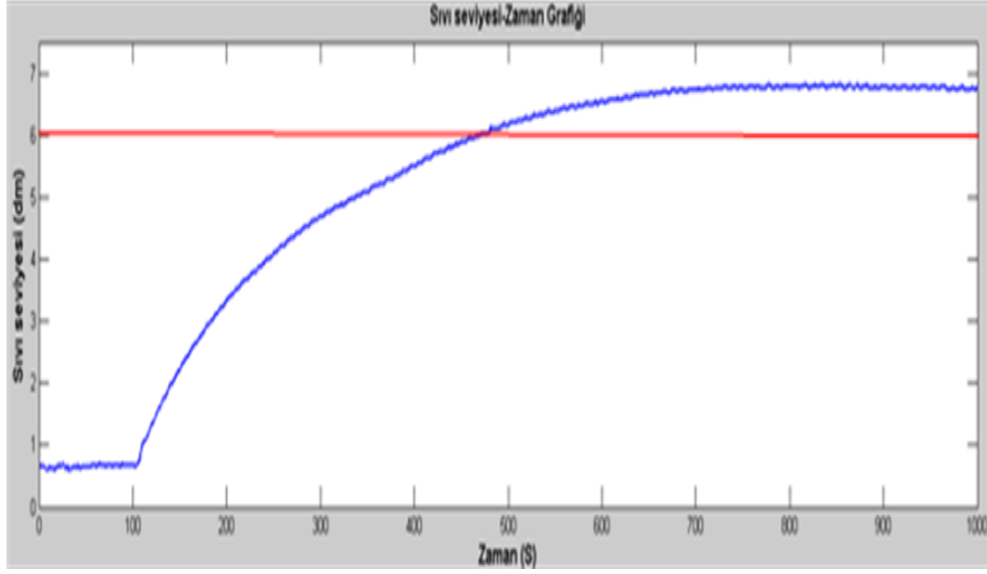
Şekil 5.67 $Nu=1$, $N_2=2$ ve $\lambda=0.005$ için sıvı seviyesinin zamanla değişim grafiği



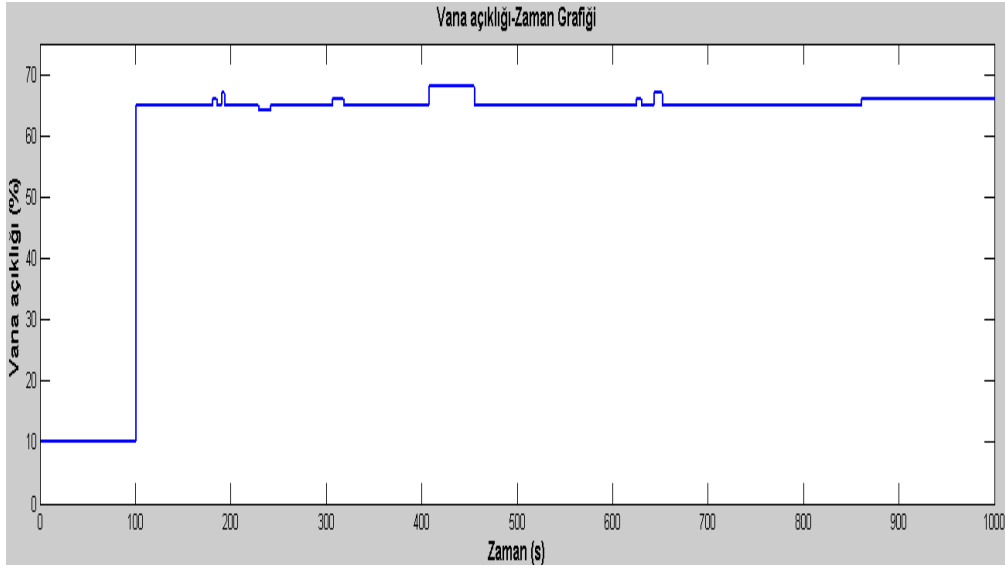
Şekil 5.68 $Nu=1$, $N_2=2$ ve $\lambda=0.005$ için vana açıklığının zamanla değişim grafiği

Şekil 5.67'den görüldüğü üzere $\lambda=0.005$ değerinde set noktasına ulaşamamış, 2dm'lik offset vardır.

5.4.2.4 Set noktası 6dm iken elde edilen GPC kontrol sonuçları

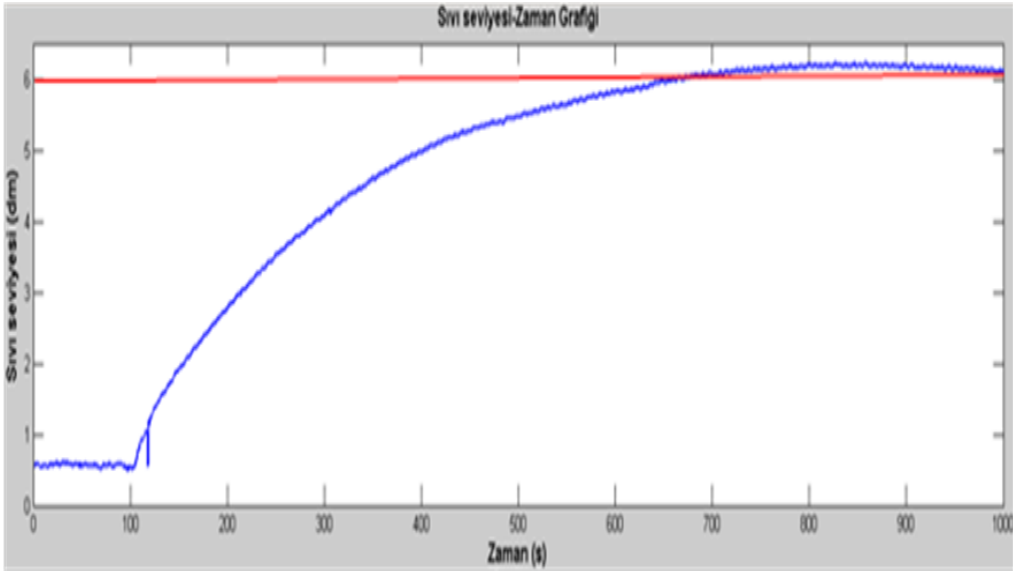


Şekil 5.69 $Nu=1$, $N_2=2$ ve $\lambda=0.5$ için sıvı seviyesinin zamanla değişim grafiği

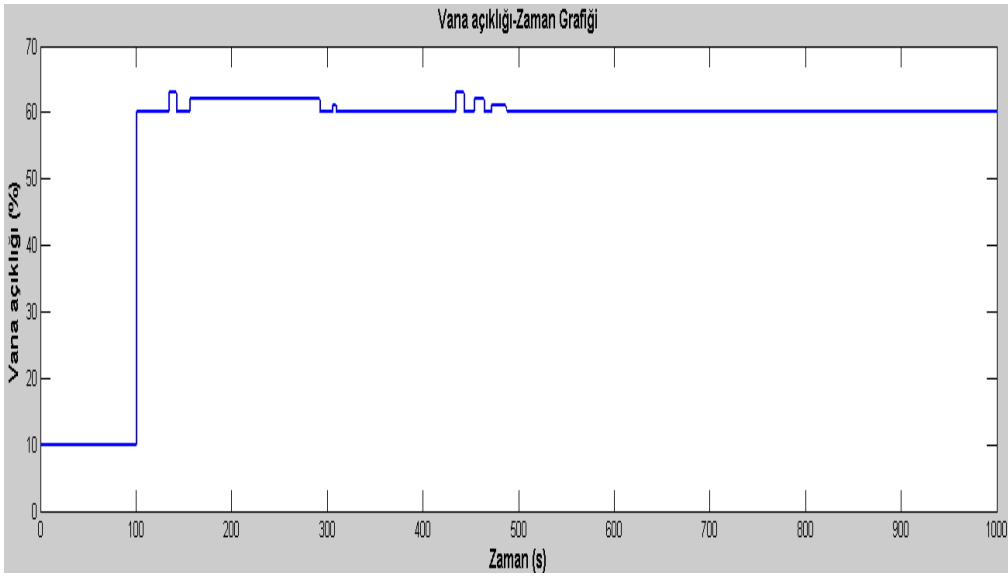


Şekil 5.70 $Nu=1$, $N_2=2$ ve $\lambda=0.5$ için vana açıklığının zamanla değişim grafiği

Şekil 5.69'da verildiği gibi iyi bir kontrol sağlanamamış yaklaşık 0.8'lik bir offset var olup, kontrol edici set değerini $\lambda=0.5$ parametre değeri için elde edememiştir.

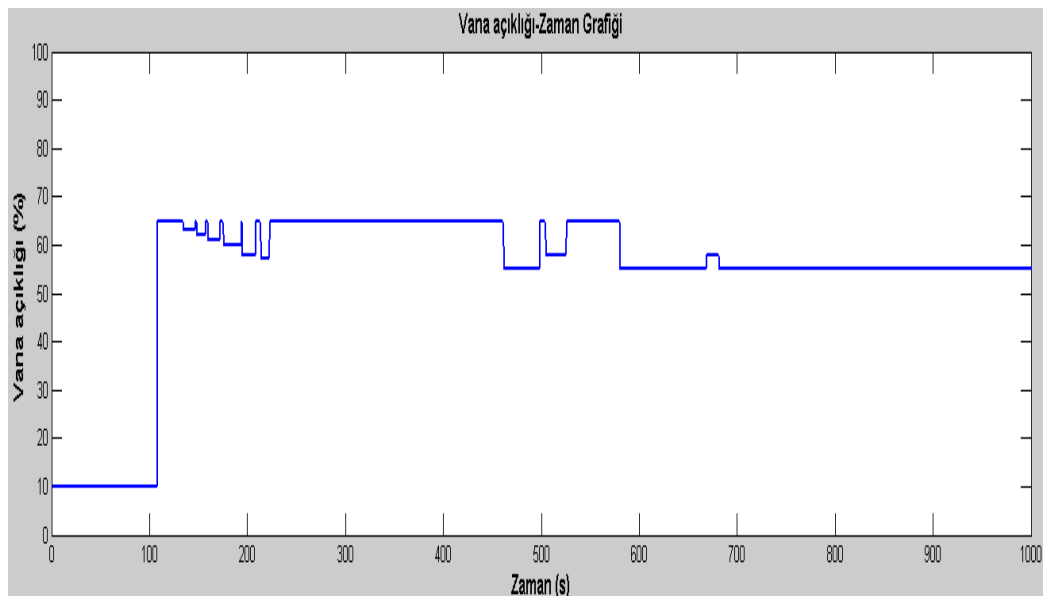
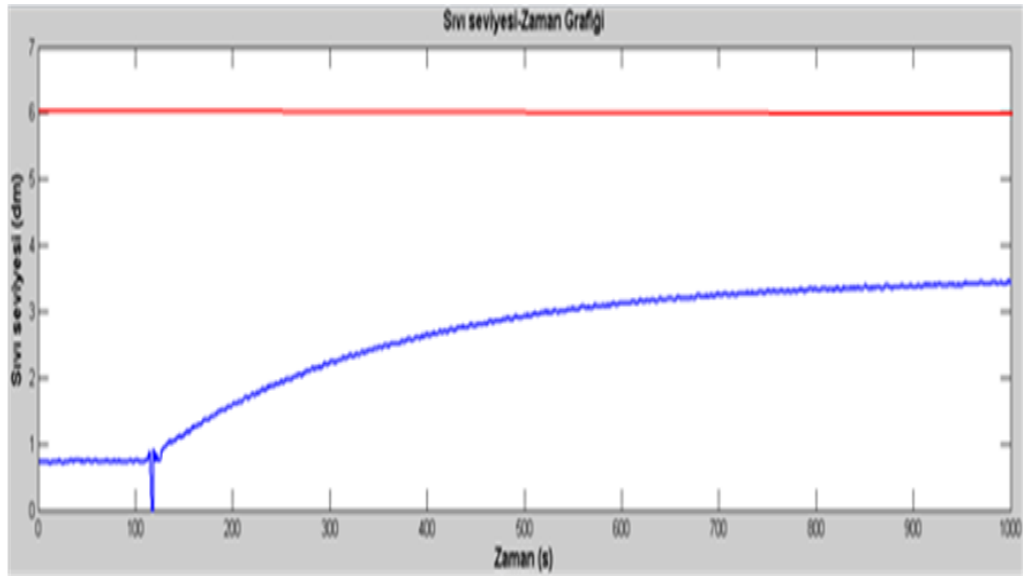


Şekil 5.71 $Nu=1$, $N_2=2$ ve $\lambda=0.05$ için sıvı seviyesinin zamanla değişim grafiği



Şekil 5.72 $Nu=1$, $N_2=2$ ve $\lambda=0.05$ için vana açıklığının zamanla değişim grafiği

$\lambda=0.05$ için sıvı seviyesinin zamanla değişim grafiği Şekil 5.71-5.72'de gösterilmiştir. Yaklaşık 600s sonunda iyi bir konrolun sağlandığı gözlenmiştir.



$\lambda=0.005$ parametre değerinde kötü bir kontrol görülmüş olup yaklaşık 2.5dm'lik offset mevcuttur. Bu sonuç kabul edilenilir bir değer değildir.

Çizelge 5.9-5.10-5.11-5.12’de görüldüğü gibi set noktası değerlerine karşılık sıvı seviyesinin zamanla değişiminden ISE ve IAE değerleri elde edilmiştir. Bu deneylere göre en iyi kontrol $\lambda=0.05$ için sağlanmıştır.

Çizelge 5.9 GPC kontrolü için seviye=3 iken performans değerleri

λ	ISE	IAE
0.5	1046.222	704.292
0.05	825.962	529.624
0.005	909.703	599.105

Çizelge 5.10 GPC kontrolü için seviye=4 iken performans değerleri

λ	ISE	IAE
0.5	1983.824	877.561
0.05	1963.749	842.369
0.005	2094.802	1028.845

Çizelge 5.11 GPC kontrolü için seviye=5 iken performans değerleri

λ	ISE	IAE
0.5	3683.182	1133.984
0.05	3615.333	1124.977
0.005	6486.967	2417.218

Çizelge 5.12 GPC kontrolü için seviye=6 iken performans değerleri

λ	ISE	IAE
0.5	5994.471	1555.465
0.05	5117.357	1539.133
0.005	12903.93	3472.46

5.4.3 Fuzzy kontrol deney sonuçları

Fuzzy kontrol deneylerinde kullanılan algoritmadaki ULAR, YSETT, USETT, YSON, YSCAL ve USCAL parametrelerinin farklı değerleri için deneyler yapılmıştır. Fuzzy kontrol algoritmasında kullanılan parametreler çizelge 5.13'te verilmiştir. Bu parametrelerin kontrol üzerindeki etkisi farklı set değerleri için sınanmıştır. MATLAB ortamında m-file olarak hazırlanan Fuzzy kontrol algoritması EK3'te verilmiştir. Kablosuz sıvı seviye kontrol deneylerinde kullanılan MATLAB/Simulink blok diyagramı şekil 5.75'de verilmiştir.

Çizelge 5.13 Fuzzy kontrol parametreleri

Parametre	Algoritmadaki anlamı
ULAR	Sıvı seviye vana açıklığının sayısal değeri
YSETT	Set değeri
USETT	Sıvı seviye vana açıklığının yatışkın koşul değeri
YSON	Set değerinden pozitif ya da negatif sapma
YSCAL	Set değişiminin en büyük ve en küçük sayısal fark değeri
USCAL	Sıvı seviye vana açıklığının en büyük ve en küçük sayısal fark değeri

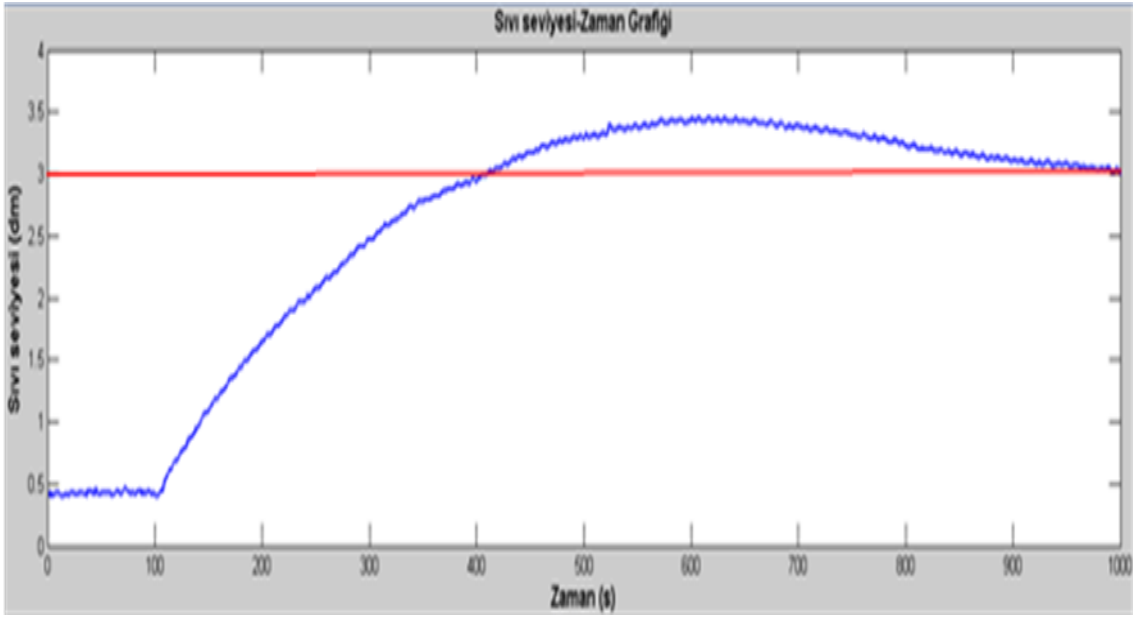
Şekil 5.76'dan Şekil 5.83'e kadar elde edilen set noktaları sırasıyla 3dm, 4dm, 5dm ve 6dm için istenen performansa ulaşılmıştır. Diğer kontrol edicilerle karşılaştırıldığında doğrusal olmayan koşullara daha iyi yanıt verdiğiinden fuzzy kontrol daha başarılı olmuştur.

5.4.3.1 Set noktası 3dm iken elde edilen fuzzy kontrol sonuçları

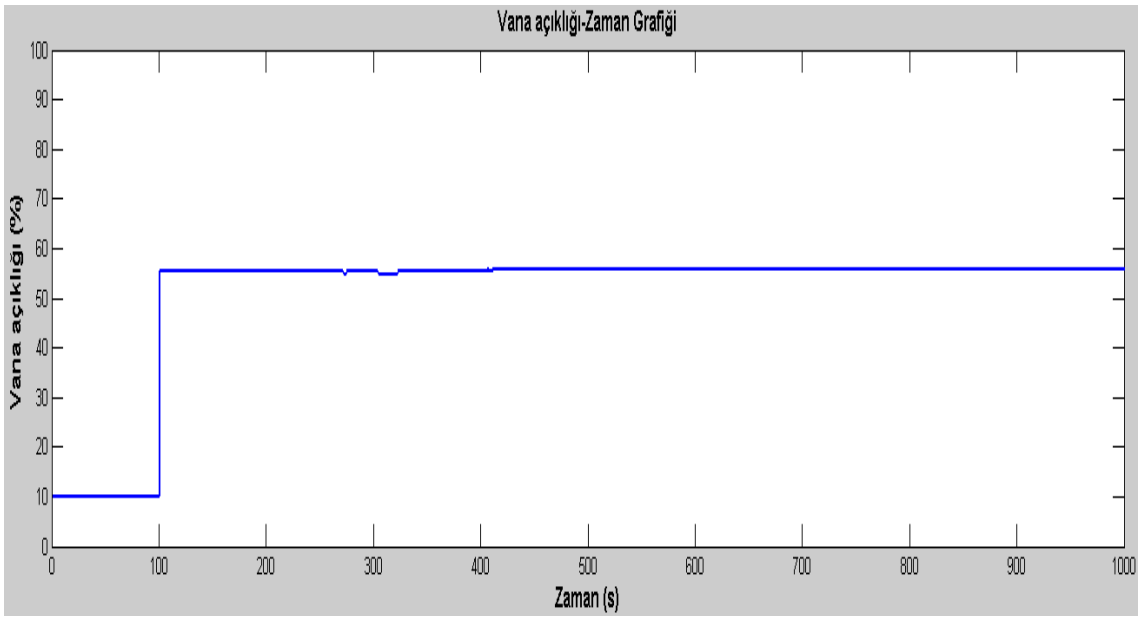
Fuzzy kontrol algoritmasında kullanılan parametrelerin set=3dm için belirlenen değerleri çizelge 5.14'te verilmiştir.

Çizelge 5.14 Set=3dm için fuzzy kontrol parametreleri

Parametre	Değeri
ULAR	[54.1 54.15 54.2 54.25 54.3 54.35 54.4 54.45 54.5 54.55 54.6 54.65 54.7 54.75 54.8 54.85 54.9 54.95 55. 55.05 55.1 55.15 55.2 55.25 55.3 55.35 55.4 55.45 55.5 55.55 55.6 55.65 55.7 55.75 55.8 55.85 55.9]
YSETT	3.0 dm
USETT	% 55.0
YSON	3.5 dm
YSCAL	1.0 dm
USCAL	% 0.9



Şekil 5.76 Fuzzy kontrol deneyinde sıvı seviyesinin zamanla değişim grafiği(set=3dm)



Şekil 5.77 Fuzzy kontrol deneyinde vana açıklığının zamanla değişim grafiği(set=3dm)

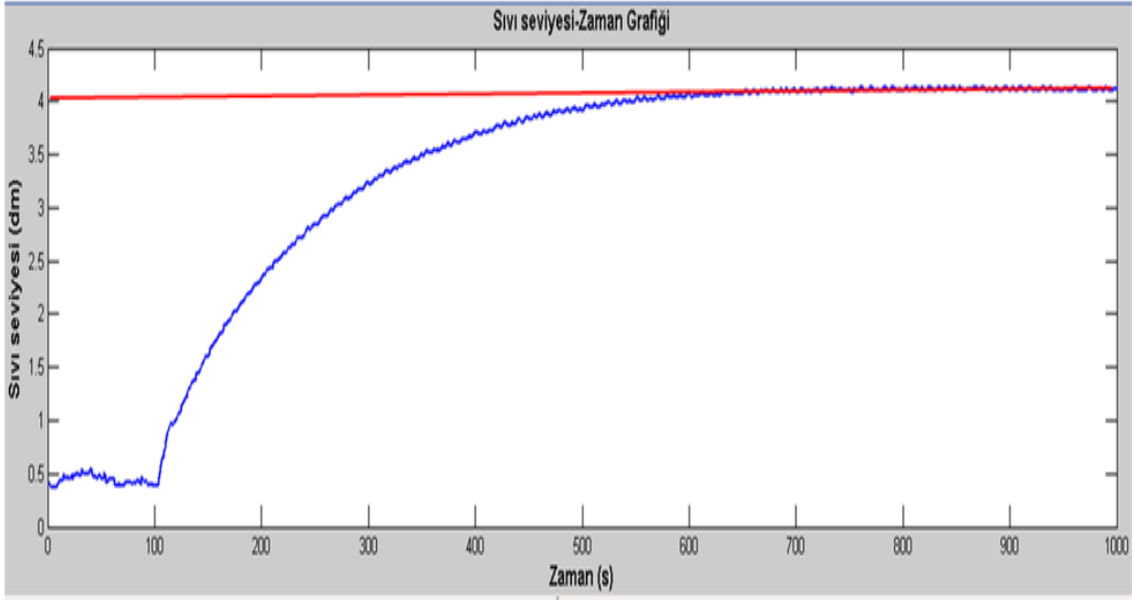
Set noktası 3dm için yapılan kontrol deneyi sonucunda Şekil 5.76-5.77’de görüldüğü üzere kontrol edici sıvı seviyesini belirli bir artış sonucunda istenilen set değerinde tutmayı başarmıştır.

5.4.3.2 Set noktası 4dm iken elde edilen fuzzy kontrol sonuçları

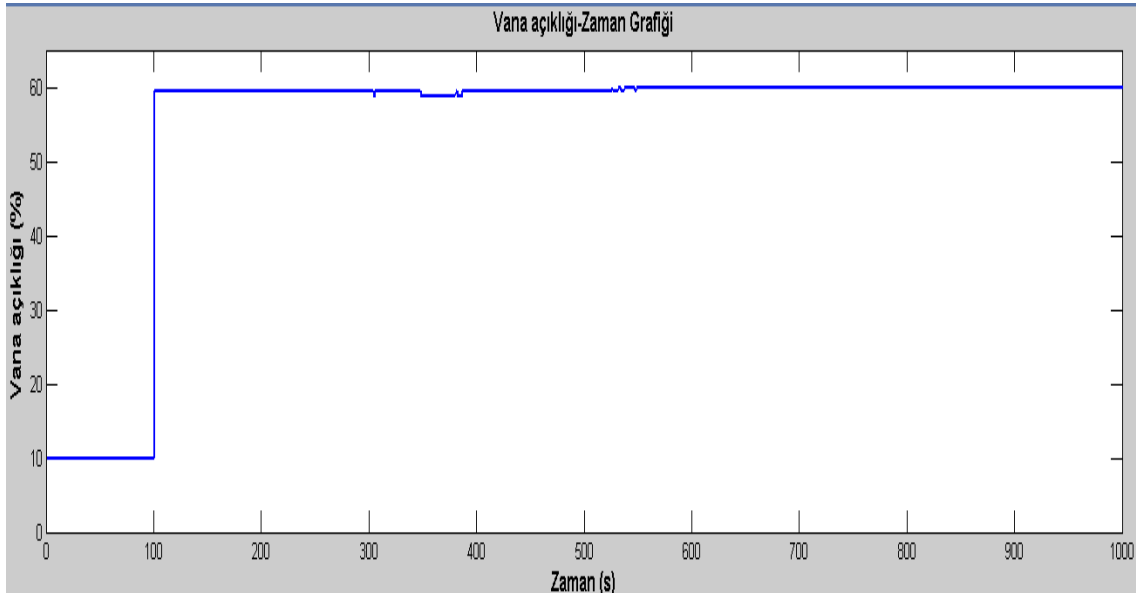
Fuzzy kontrol algoritmasında kullanılan parametrelerin set=3dm için belirlenen değerleri çizelge 5.15’te verilmiştir.

Çizelge 5.15 Set=4dm için fuzzy kontrol parametreleri

Parametre	Değeri
ULAR	[58.1 58.15 58.2 58.25 58.3 58.35 58.4 58.45 58.5 58.55 58.6 58.65 58.7 58.75 58.8 58.85 58.9 58.95 59. 59.05 59.1 59.15 59.2 59.25 59.3 59.35 59.4 59.45 59.5 59.55 59.6 59.65 59.7 59.75 59.8 59.85 59.9]
YSETT	4.0 dm
USETT	% 59.0
YSON	4.5 dm
YSCAL	1.0 dm
USCAL	% 0.9



Şekil 5.78 Fuzzy kontrol deneyinde sıvı seviyesinin zamanla değişim grafiği(set=4dm)



Şekil 5.79 Fuzzy kontrol deneyinde vana açıklığının zamanla değişim grafiği(set=4dm)

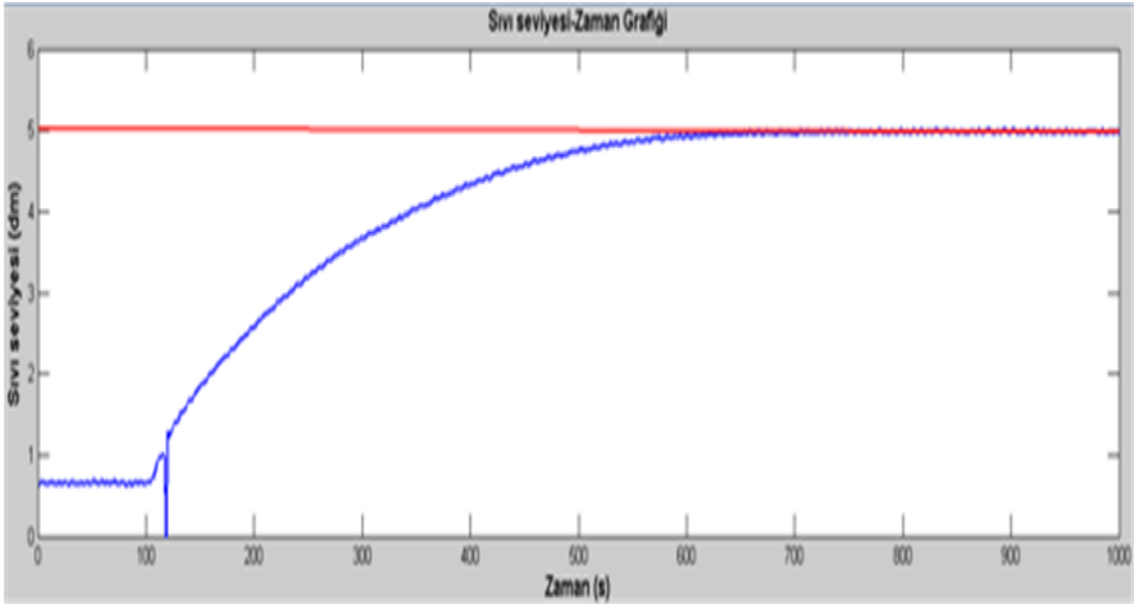
Şekil 5.78-5.79’da sıvı seviyesi 600s sonunda istenilen set değerinde tutulmuş ve başarılı bir kontrol gerçekleşmiştir.

5.4.3.3 Set noktası 5dm iken elde edilen fuzzy kontrol sonuçları

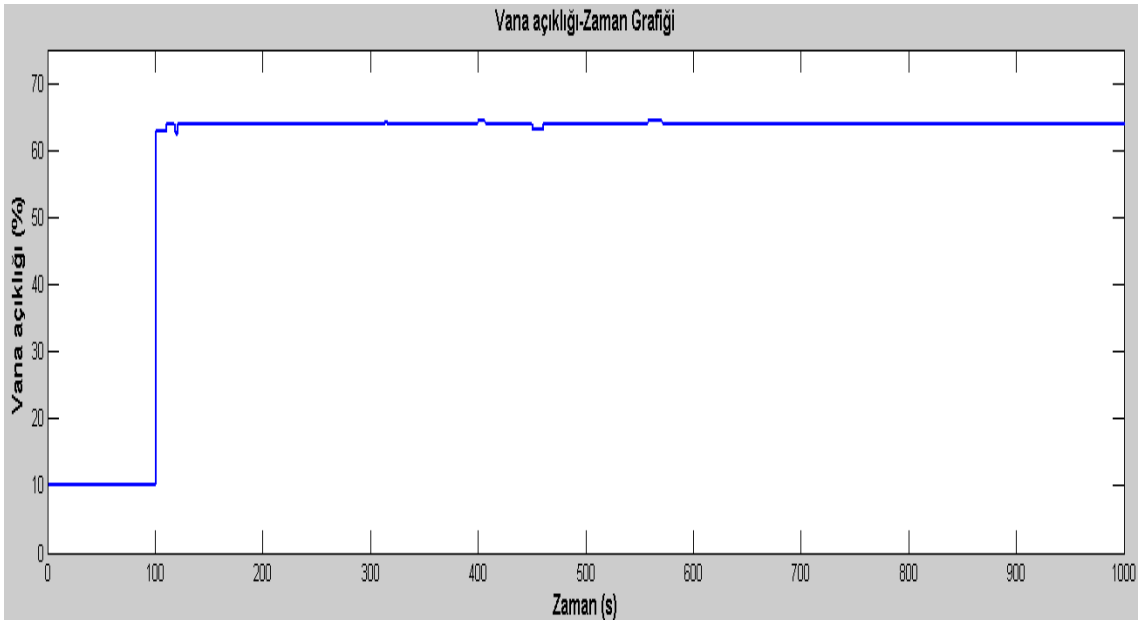
Fuzzy kontrol algoritmasında kullanılan parametrelerin set=5dm için belirlenen değerleri çizelge 5.16’da verilmiştir.

Çizelge 5.16 Set=5dm için fuzzy kontrol parametreleri

Parametre	Değeri
ULAR	[62.2 62.3 62.4 62.5 62.6 62.7 62.8 62.9 63. 63.1 63.2 63.3 63.4 63.5 63.6 63.7 63.8 63.9 64. 64.1 64.2 64.3 64.4 64.5 64.6 64.7 64.8 64.9 65. 65.1 65.2 65.3 65.4 65.5 65.6 65.7 65.8]
YSETT	5.0 dm
USETT	% 64.0
YSON	5.5 dm
YSCAL	1.0 dm
USCAL	% 1.8



Şekil 5.80 Fuzzy kontrol deneyinde sıvı seviyesinin zamanla değişim grafiği(set=5dm)



Şekil 5.81 Fuzzy kontrol deneyinde vana açıklığının zamanla değişim grafiği(set=5dm)

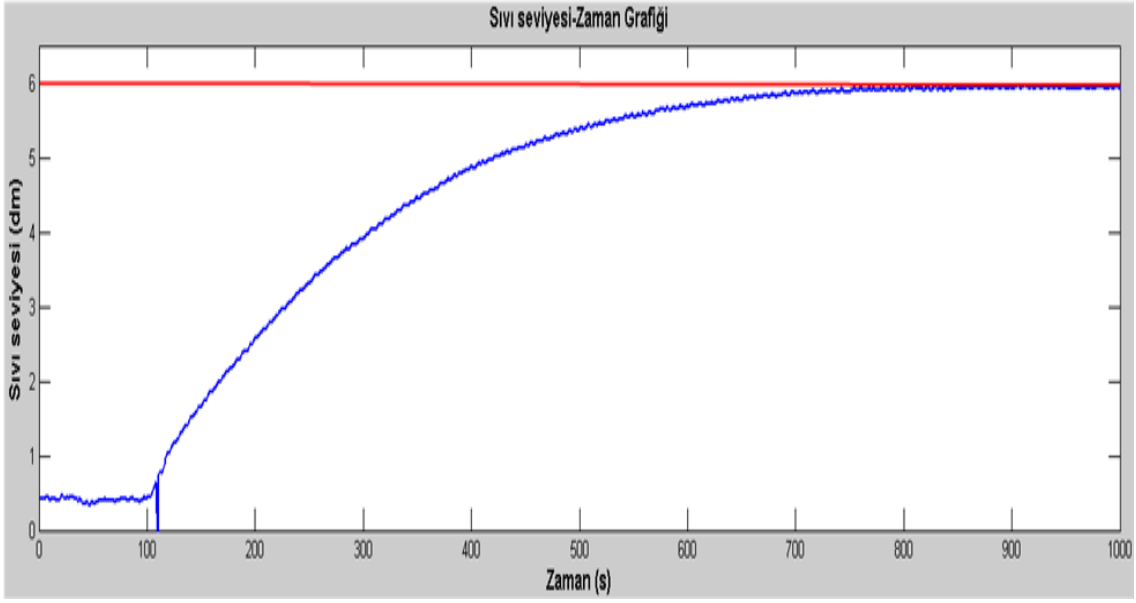
Şekil 5.80-5.81'de görüldüğü gibi istenen set değerinde (5dm) fuzzy kontrol edici sıvı seviye kontrolünü sağlamıştır.

5.4.3.4 Set noktası 6dm iken elde edilen fuzzy kontrol sonuçları

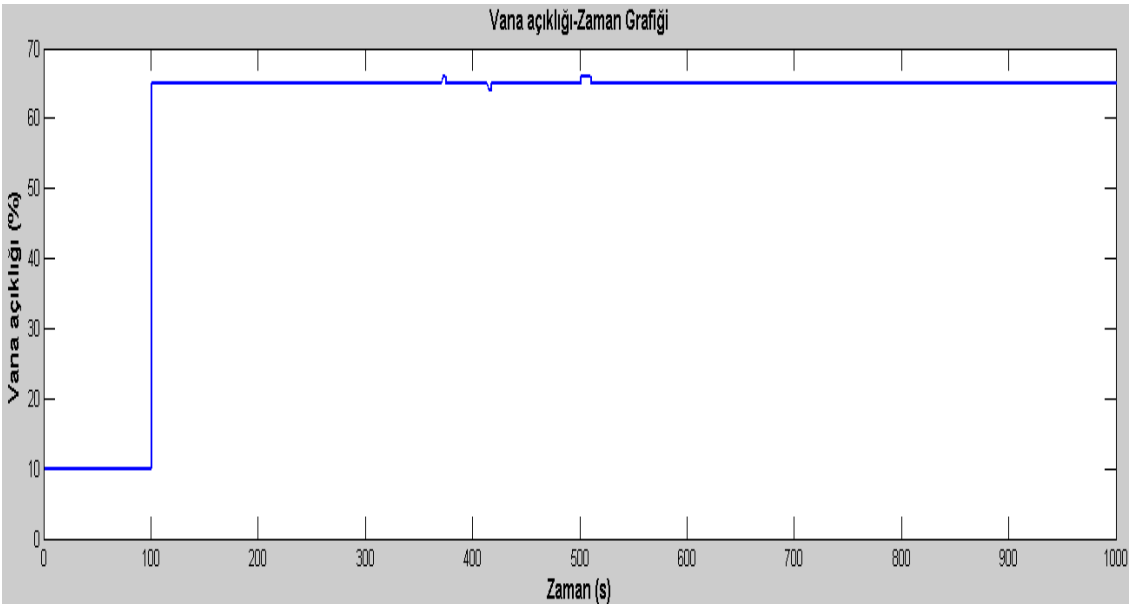
Fuzzy kontrol algoritmasında kullanılan parametrelerin set=6dm için belirlenen değerleri çizelge 5.17’de verilmiştir.

Çizelge 5.17 Set=6dm için fuzzy kontrol parametreleri

Parametre	Değeri
ULAR	[63.2 63.3 63.4 63.5 63.6 63.7 63.8 63.9 64. 64.1 64.2 64.3 64.4 64.5 64.6 64.7 64.8 64.9 65. 65.1 65.2 65.3 65.4 65.5 65.6 65.7 65.8 65.9 66. 66.1 66.2 66.3 66.4 66.5 66.6 66.7 66.8]
YSETT	7.0 dm
USETT	% 65.0
YSON	7.5 dm
YSCAL	1.0 dm
USCAL	% 1.8



Şekil 5.82 Fuzzy kontrol deneyinde sıvı seviyesinin zamanla değişim grafiği(set=6dm)



Şekil 5.83 Fuzzy kontrol deneyinde vana açıklığının zamanla değişim grafiği(set=6dm)

Şekil 5.82-5.83’de verildiği gibi yaklaşık 750s sonunda set değeri olan 6dm’ye ulaşılmış ve bu değerde kontrolü sağlanmıştır.

Çizelge 5.18’de görüldüğü gibi set noktası değerlerine karşılık sıvı seviyesinin zamanla değişiminden ISE ve IAE değerleri elde edilmiştir. Bu değerlere göre 4dm olduğu durumda en iyi kontrol etkinliği elde edilmiştir.

Çizelge 5.18 Fuzzy için kontrol performans değerleri

	ISE	IAE
Seviye=3	6182.144	1598.268
Seviye=4	1194.485	717.421
Seviye=5	2070.065	847.731
Seviye=6	3452.25	1112.341

Fuzzy üyelik fonksiyonları genellikle deneme-yanılma yöntemi ile belirlenir. Yapılan çalışmada fuzzy üyelik fonksiyon sayısı giriş ve çıkış değişkenleri için beş olarak ve şekli de üçgen tip olarak belirlenmiştir. Fuzzy kontrol ile seviye kontrol deneylerinde ayarlanabilen değişken ve ölçülen değişken 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. Farklı set noktaları için yapılan fuzzy kontrol deneyleri sonunda elde edilen seviye profilleri incelendiğinde sıvı seviyesinin istenilen set noktasına hızlı bir şekilde ulaştığı gözlenmiştir. Fuzzy kontrol deney sonuçlarına göre hesaplanan ISE ve IAE değerlerinin GPC ve PID deney sonuçlarına göre daha küçük olduğu belirlenmiştir. Elde edilen fuzzy kontrol sonuçlarının proseslerin kararlı ve sürekli işletimler için daha güvenilir ve uygulanabilir olduğu anlaşılmıştır.

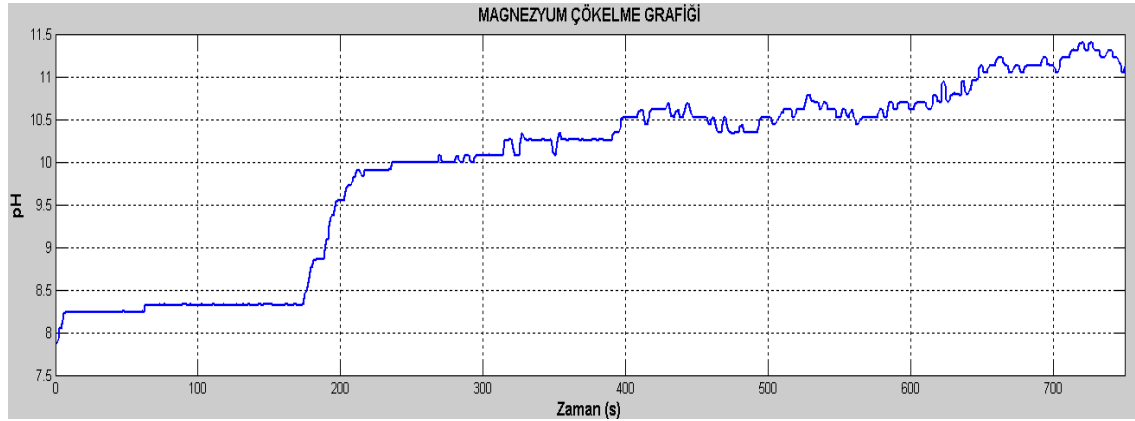
5.4.4 Brine saflaştırma sisteminde yapılan deneysel çalışmalar

Brine çözeltisinde bulunan major safsızlıklardan biri olan magnezyumu çöktürmek için %5'lik NaOH 8ml/dk akış hızında reaktöre beslenmiştir. Çizelge 5.19'da Magnezyum çökelme prosesinde deney süresince ölçülen pH değerleri verilmiştir. Magnezyum gideriminin sağlandığı optimum pH=11.3 olarak belirlenmiştir.

Çizelge 5.19 Magnezyum çökelme prosesinde deney süresince ölçülen pH değerleri

Numune	Deney süresi (s)	Ph değeri
0	0	7.87
1	190	9.08
2	205	9.72
3	220	9.90
4	235	9.91
5	250	9.99
6	265	9.99
7	280	10.07
8	295	10.07
9	310	10.08
10	325	10.25
11	380	10.60
12	410	10.51
13	500	10.69
14	540	10.79
15	640	11.30
16	740	11.30

Magnezyum çökelme prosesinde pH'ın zamanla değişim grafiği Şekil 5.84'de verilmiştir.



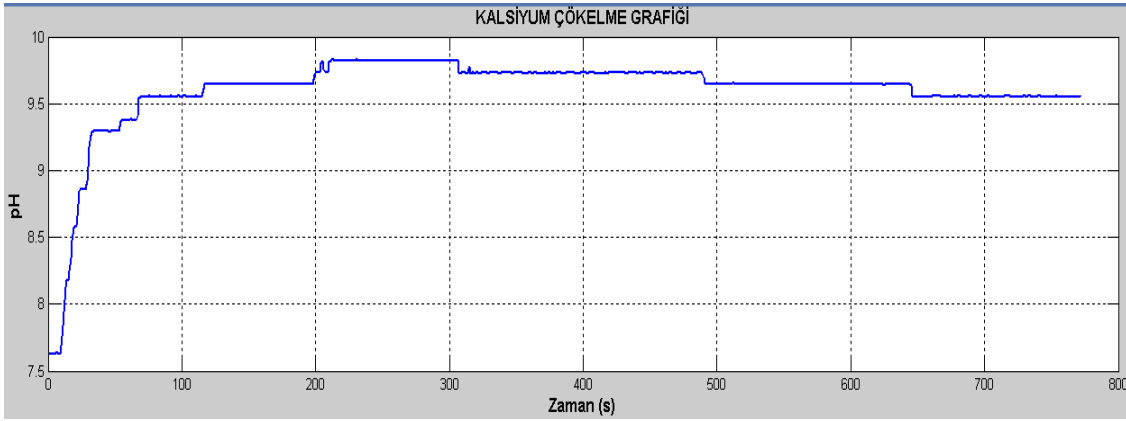
Şekil 5.84 Magnezyum çökelme prosesinde pH'ın zamanla değişim grafiği

Brinede bulunan kalsiyumu çöktürebilmek için %1'lik Na_2CO_3 kullanılmıştır. Çizelge 5.20'de kalsiyum çökelme prosesinde deney süresince ölçülen pH değerleri verilmiştir. Kalsiyum gideriminin sağlandığı optimum pH=9.55 olarak belirlenmiştir.

Çizelge 5.20 Kalsiyum çökelme prosesinde deney süresince ölçülen pH değerleri

Numune	Deney süresi (s)	Ph değeri
0	0	7.63
1	35	9.29
2	80	9.55
3	150	9.64
4	230	9.82
5	350	9.73
6	430	9.73
7	470	9.73
8	550	9.64
9	650	9.55
10	750	9.55

Kalsiyum çökelme prosesinde pH'ın zamanla değişim grafiği Şekil 5.85'te verilmiştir.



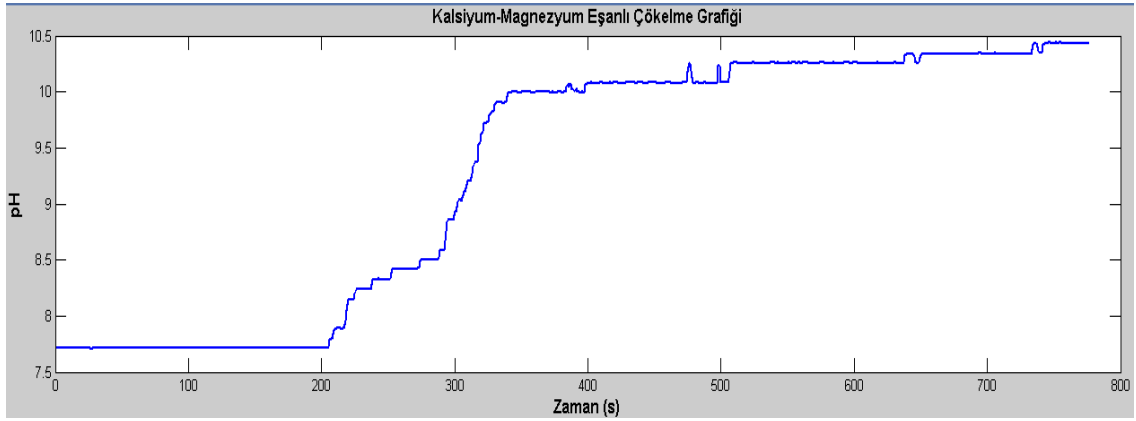
Şekil 5.85 Kalsiyum çökelme prosesinde pH'ın zamanla değişim grafiği

Kalsiyum ve magnezyumun eşanlı olarak çökelmesini sağlamak için %5'lik NaOH ve %1'lik Na₂CO₃ 8ml/dk akış hızında reaktöre beslenmiştir. Çizelge 5.21'de magnezyum ve kalsiyum eşanlı çökelme prosesinde deney süresince ölçülen pH değerleri verilmiştir.

Çizelge 5.21 Kalsiyum ve magnezyum eşanlı çökelme prosesinde deney süresince ölçülen pH değerleri

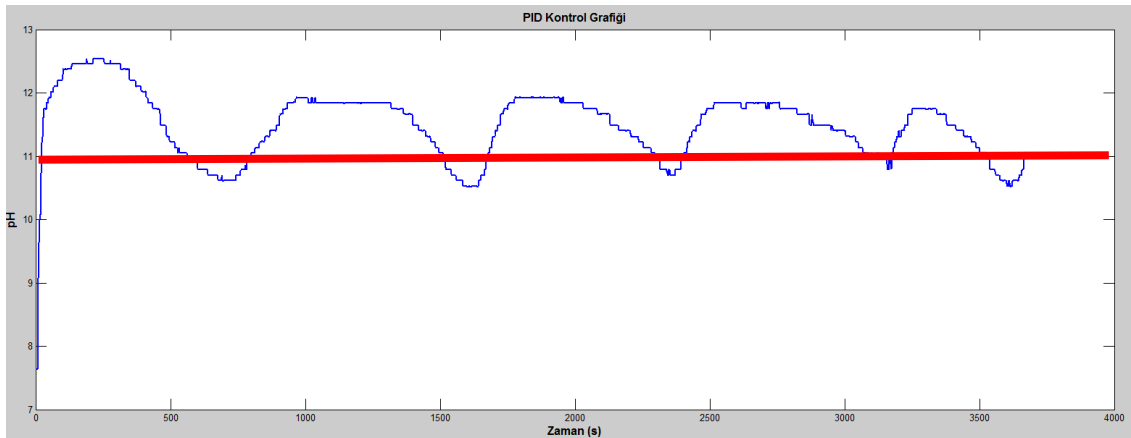
Numune numarası	Deney süresi (s)	Ph değeri
0	0	7.71
1	35	7.88
2	80	8.41
3	150	8.50
4	230	9.73
5	350	10.08
6	430	10.09
7	470	10.26
8	550	10.26
9	650	10.33
10	750	10.33

Elde edilen pH değişim grafiği Şekil 5.86’da verilmiştir. Kalsiyum ve magnezyumun eşanlı gideriminin sağlandığı optimum pH=10.33 olarak belirlenmiştir.



Şekil 5.86 Kalsiyum-Magnezyum eşanlı çökelme prosesinde pH’ın zamanla değişim grafiği

Yapılan dinamik deneylerde magnezyum için en iyi çökelme pH=11.3’de elde edildiği için set değeri pH=11.3 seçilerek PID kontrol deneyi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen grafik Şekil 5.87’de verilmiştir. Cohen-coon ayar parametreleri ‘reaksiyon eğrisi geçirme yöntemi’ kullanılarak P=33, I=38, D=6 olarak hesaplanmıştır. HCl 8ml/dk sabit akış hızında reaktöre beslenirken, ayarlanabilen değişken olarak NaOH seçilmiştir.



Şekil 5.87 Kalsiyum-Magnezyum eşanlı çökelme prosesinde pH değerinin PID kontrolü

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Kablosuz sistemlerin kurulumu, kablolu sistemlere göre daha hızlı ve kolaydır. Kablolu sistem için gerekli hatların kurulum maliyetinin kablosuz sistemde olmaması büyük bir avantajdır. Kablonun döşenemeyeceği ve insanların bulunmaması gereken tehlikeli yerlerde kablosuz sistemler ile iletişim imkanı sağlanır. Böylece kablosuz iletişim kullanıcılar için yer ve zaman kısıtlamaları ortadan kalkmış olur. Tehlikeli kimyasalların ve ürünlerin elde edildiği endüstrilerde (nükleer santraller, petrol ve boru hatları gibi) kablosuz kontrol sistemleri tercih edilebilir.

Bilgisayar sistemlerinin gelişmesi ile birlikte endüstrideki otomasyon sistemlerinin kullanımı artmış ve proseslerin bilgisayarla gerçek zamanlı kontrolü önem kazanmıştır. 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.

Proses kontrol simülatöründe yapılan yatışkın hal ve dinamik çalışmalarda, ayarlanabilen değişken olarak seçilen sıvı seviye kontrol vanası açıklığının farklı değerlerinde sıvı seviyesinin değişimi gözlenmiştir. Tüm deneylerde akış hız 3 ml/dk sabit değerde tutulmuştur.

Kablosuz sıvı seviye deneylerinde öncelikle yatışkın hal deneyleri gerçekleştirilmiş olup, sistem dinamiğini incelemek amacıyla sıvı seviye vana açıklığına basamak, PRBS ve kare dalga etkiler verilerek sıvı seviyesinin zamanla değişimi gözlenmiştir. Basamak etkinin uygulandığı dinamik hal deneylerinde başlangıçta %10 vana açıklığında 100s çalışılarak sistemin yatışkın hale gelmesi beklenmiş, daha sonra sıvı seviye kontrol vanasına pozitif ve negatif etkiler verilerek deneyler gerçekleştirilmiştir.

PRBS etkinin uygulandığı dinamik hal deneyinde, PRBS sinyalleri %10 ile %65 vana açıklığına göre verilmiştir. Sistem başlangıçta 100s yatışkın halde çalıştırıldıktan sonra Simulink programındaki anahtar yardımıyla uygulanan ikili etkiye göre sıvı seviye değişimleri gözlenmiştir.

Kare dalga etkinin uygulandığı dinamik hal deneylerinde de vana açıklığının %10 ile %65 değerlerinde çalışılmıştır. Sistemin düzenli olarak 75 birimlik pozitif ve negatif etkiler altında çalışması sağlanmıştır. Sistem başlangıçta 100s yatışkın halde çalıştırıldıktan sonra uygulanan kare dalga etkiye bağlı olarak sıvı seviyesinin 1.5dm ile 3.5dm arasında düzenli salınımlar yaptığı gözlenmiştir.

Sistem tanımlama için giriş değişkenine verilen basamak etki, PRBS etki ve kare dalga etkisi ile çalışmalar yapılmıştır. Sistem tanımlama deneylerinde ve daha sonra yapılan kablosuz seviye kontrol deneylerinde sistemin birinci mertebeden ölü zamlı modele sahip olduğu varsayılmıştır. Sistem tanımlama için sıvı seviye vanasına verilen etkiler (%10-%65) sonucu elde edilen çıkış değişkeni verileri kullanılmıştır. Bu amaçla giriş ve çıkış değişkenlerinin değerleri MATLAB 'System identification toolbox' araç kutusuna işlenerek birinci mertebeden ölü zamanlı model katsayıları ve ARIMAX model katsayıları belirlenmiştir. 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 ARIMAX model katsayıları belirlenmiştir.

Dinamik deneyler sonucu elde edilen veriler ışığında, sistemin kontrolü için PID, GPC ve Fuzzy kontrol yöntemleri kullanılmıştır. 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. Sıvı seviye kontrol deneylerinde başlangıçta %10 kontrol vanası açıklığında 100s çalışılmış sistemin yatışkın hale gelmesi gözlenmiştir. 100s sonunda MATLAB/Simulink blok diyagramında bulunan

kontrol anahtarı yardımıyla daha önce kaydedilen kontrol algoritmaları devreye alınmış ve aynı anda sisteme farklı set noktası değişimleri verilerek bu algoritmaların kontrol üzerindeki etkisi gözlenmiştir. Kablosuz seviye kontrol deneylerinin etkinliğini karşılaştırmak için tüm deneyler aynı koşullarda gerçekleştirilmiştir.

PID algoritması kullanılarak gerçekleştirilen kablosuz sıvı seviye kontrol deneylerinde algoritmadaki K_c , τ_i , τ_D kontrol katsayıları Cohen-Coon yöntemi ile belirlenmiştir. Bu yöntemle kontrol parametrelerinin belirlenmesi için, dinamik analiz deneylerinde sisteme uygulanan basamak etki sonucu elde edilen verilerle oluşturulan reaksiyon eğrisi kullanılmıştır. Farklı sıvı seviye set noktaları için yapılan PID kontrol deneylerinde Cohen-Coon yöntemi ile sistemin kontrolü sağlanamadığı için deneme-yanılma yöntemi ile PID kontrol parametreleri belirlenerek sistem kontrol edilmeye çalışılmıştır. Kablosuz sıvı seviye PID kontrol deneylerinde başlangıçta kontrol vanası sabit %10 açıklıkta 100s çalıştırılarak sistemin yatışkın hale gelmesi beklenmiştir. 100s sonunda MATLAB/Simulink blok diyagramında bulunan kontrol anahtarı değiştirilerek PID kontrol algoritması devreye alınmış ve aynı anda sisteme farklı set noktası değişimleri verilerek bu algoritmadaki parametrelerin kontrol üzerindeki etkisi gözlenmiştir.

Cohen-Coon yöntemi ile PID kontrol parametrelerinin değerleri $K_c=22.8$, $\tau_i = 12.3$, $\tau_D = 1.8$ olarak belirlenmiştir. Cohen-Coon yöntemiyle belirlenen PID kontrol katsayılarının kullanıldığı farklı set noktaları için yapılan deney sonuçları incelendiğinde genel olarak kontrol vanasının kendini çok küçük birimlerle açıp kapadığı gözlenmiştir. Farklı set noktalarında (3dm, 4dm, 5dm, 6dm) yapılan çalışmalarda istenilen kontrol elde edilememiş ve offset gözlenmiştir. Farklı sıvı seviye set noktaları için yapılan PID kontrol deneylerinde Cohen-Coon yöntemi ile sistemin kontrolü sağlanamadığı için deneme-yanılma yöntemi ile PID kontrol parametreleri belirlenerek sistem kontrol edilmeye çalışılmıştır.

Deneme-yanılma yöntemi ile sıvı seviye kontrol deneylerinde en iyi kontrolü sağlayan parametrelerin değerleri $K_c=0.8$, $\tau_i = 7.2$, $\tau_D = 0.5$ olarak belirlenmiştir. Deneme – yanılma yöntemi ile belirlenen PID kontrol katsayılarının kullanıldığı farklı set noktaları için yapılan deney sonuçları incelendiğinde kontrol vanası açıklığının başlangıçta ani bir artıştan sonra çok küçük salınımlarla sabitlendiği gözlenmiştir. Kontrol vanası açıklığına bağlı olarak sıvı seviyesinin düzenli olarak arttığı ve istenen set değerlerinde sabitlendiği görülmüştür. Deneysel sonuçlara göre deneme-yanılma yöntemi ile bulunan PID katsayılarının kullanıldığı sıvı seviye kontrolünde istenilen set seviyelerine ulaşarak kontrol başarıyla sağlanmıştır.

GPC kontrol algoritmasındaki ayar parametreleri olan λ , N_2 , N_u katsayılarının farklı değerlerinde kontrol çalışmaları yapılmıştır. GPC algoritmasının kullanıldığı kablosuz seviye kontrol deneylerinde yapılan ön çalışmalarda algoritmada kullanılan $N_u=1$ $N_2=1$ değerlerinin dışındaki $N_u>1$ ve $N_2>1$ tüm değerlerinde seviye kontrol vanasının %100 açıklıkta çalıştığı gözlenmiştir. Bu sebepten dolayı sıvı seviyesinde meydana gelen ani yükselmelerle sistemde taşmayı engellemek için sıvı seviye sensörü devreye girmiş ve bu değerler üzerinde deneyler gerçekleştirilememiştir. GPC algoritmasının kullanıldığı kablosuz seviye kontrol deneylerinde, algoritmadaki olan λ , N_2 , N_u parametreleri kullanılarak $N_u=1$, $N_2=1$ değerlerindeki $\lambda=0.5$, 0.05 , 0.005 değerleri için aynı koşullarda yapılan deneyler sonucunda vana açıklığının ve sıvı seviyesinin zamanla değişimi gözlenmiştir. Buna göre yapılan tüm deneylerde kontrol vanası açıklığının başlangıçta ani bir artıştan sonra çok küçük salınımlarla sabitlendiği gözlenmiştir. Elde edilen sonuçlarda, seviye profilleri incelendiğinde farklı set değerlerinde en iyi kontrol $\lambda=0.05$ için elde edilmiştir. Aynı koşullarda yapılan deneyler sonucunda en iyi sıvı seviye kontrolünü sağlayan parametre değerleri ISE ve IAE değerleri kullanılarak belirlenmiştir. En küçük ISE ve IAE değerleri $\lambda=0.05$ için elde edilmiştir.

Fuzzy algortimasının kullanıldığı kablosuz sıvı seviye kontrol deneylerinde ise, algoritmadaki kontrol parametrelerinin farklı değerleri için aynı koşullarda deneyler yapılarak, en iyi sıvı seviye kontrolünü sağlayan parametre değerleri belirlenmiştir.

Farklı set noktaları için yapılan fuzzy kontrol deneyleri sonucunda elde edilen seviye profilleri incelendiğinde sıvı seviyesinin istenilen set noktalarına hızlı bir şekilde ulaştığı ve vana açıklığının çok az salınım yaparak sabitlendiği gözlenmiştir. Fuzzy kontrol deney sonuçlarına göre hesaplanan ISE ve IAE değerlerinin, PID ve GPC deney sonuçlarına göre hesaplanan ISE ve IAE değerlerine göre daha küçük olduğu belirlenmiştir. Ayrıca deneysel sonuçlar incelendiğinde fuzzy kontrol algoritmasında ayarlanabilen değişken değerlerinin ULAR olarak sisteme kaydedilen değerler arasından seçilmesi, kontrol vanasının istenilen açıklıklarda çalışarak kontrol performansını arttırdığı görülmüştür. Elde edilen fuzzy kontrol sonuçlarının proseslerin kararlı ve sürekli işletimler için daha güvenilir ve uygulanabilir olduğu anlaşılmıştır.

MATLAB programında m-file olarak hazırlanan PID kontrol, GPC kontrol ve Fuzzy kontrol algoritmalarına, kontrol için gerekli olan parametre değerleri belirlenerek kaydedilmiş ve kontrol deneyleri gerçekleştirilmiştir. Kablosuz sıvı seviye kontrol deneylerinde kullanılan kontrol yöntemlerinin etkinliğini karşılaştırmak için tüm deneyler aynı koşullarda gerçekleştirilmiştir.

Endüstride yaygın olarak kullanılan kontrol yöntemi olan PID kontrolü ile proses kontrol simülör sisteminin sıvı seviye kontrolü gerçekleştirilmiş ve GPC, Fuzzy kontrol sonuçları ile performans kriterleri (ISE, IAE) göz önünde bulundurularak karşılaştırılmıştır. En başarılı kontrol etkinliği fuzzy kontrol algoritması kullanılarak elde edilmiştir.

Yapılan tez çalışmasında bir proses kontrol simülöründe kablosuz seviye ölçüm ve kontrolü başarıyla gerçekleştirilmiştir. Temel işlemler laboratuvarındaki proses kontrol simülörü ile proses kontrol laboratuvarında bulunan bilgisayar arasındaki kablosuz ölçüm ve kontrol deneylerinde, MATLAB/Simulink programında oluşturulan blok diyagramı online olarak kullanılmıştır. Kablosuz kontrolün kabloluyla göre kurulumun kolay ve hızlı olması, kurulum, bakım ve onarım maliyetinin düşük olması, kablosuz iletişim cihazlarının taşınabilir olması gibi üstünlükleri vardır. Bu çalışmada elde edilen

en önemli sonuç, kablosuz iletişim yönteminin proses ölçüm ve kontrolünde de başarılı olmasıdır. Elde edilen deneysel sonuçlara göre kablosuz kontrol sistemlerinin geliştirilerek endüstriyel uygulamalarda yaygınlaştırılmasını önermekteyiz.

Tez çalışmasında ayrıca SANTEZ projesi kapsamında tasarlanmış ve kurulumu yapılmış olan brine saflaştırma sisteminde çöktürme deneyleri ve PID kontrol deneyi gerçekleştirilmiş olup, kontrol deneyi Cohen-Coon yöntemiyle elde edilen kontrol parametreleri kullanılarak yapılmıştır. Elde edilen deneysel sonuçlar ile brinede bulunan majör safsızlıklardan ikisi olan magnezyum ve kalsiyumun ayrı ayrı ve eş-anlı olmak üzere giderimi sağlanmıştır. Magnezyumun çöktürülmesi için NaOH kullanılmış ve dinamik çalışma sonucu optimum pH=11 olarak belirlenmiştir. Brinedeki diğer büyük safsızlıklardan olan kalsiyumun çöktürülmesi için Na_2CO_3 kullanılmıştır. Dinamik deneyler sonucunda optimum çöktürme pH'ı 9.5 olarak belirlenmiştir. Yapılan dinamik deneylerde magnezyum için en iyi çökelme pH=11'de elde edildiğinden PID kontrolü için set değeri 11 olarak seçilmiştir. Ayar değişkeni olarak NaOH akış hızı seçilmiş, Cohen-Coon yöntemiyle elde edilen parametre değerleri ile çalışılan kontrol algoritmasıyla magnezyum çökelme prosesinde pH değişiminin PID kontrolü gözlenmiştir.

KAYNAKLAR

- Akpınar A., 2011. Gaz-Sıvı Reaktör Basınc Sisteminin GPC Kontrolü. Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Ankara.
- Alpbaz M., Hapoğlu H., Akay B. 2011. 'Proses Kontrol', Gazi Kitabevi.
- Alpbaz M., Hapoğlu H., Akay B., Toğrul H., Ertunç S., Akpınar A., Özyurt B. ve Özçelik M., ' Sıvı-Gaz reaktor basınc sisteminin GPC kontrolü', 2013, Ankara
- Altınten, A. 2007. Generalized Predictive Control Applied to a Ph Neutralization Process. Computers and Chemical Engineering, 31, 1199-1204.
- Aldemir, A. 2014. Bir Proses Kontrol Simülatöründe Enerjinin Etkin Kullanımı İle Kablosuz Sıcaklık Kontrolü. Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi, Ankara.
- 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, pp.1585-1592.
- Bayram İ. 2010. Tepkimeli Bir Damıtma Kolonunun Doğrusal Olmayan Genelleştirilmiş Öngörmeli Kontrolü. Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Ankara.
- 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., Mok, A. 2004. Middleware for Wireless Process Control Systems, Wacerts.
- Clarke, D.M., Mohtadi, C. And Tuffs, P.S. 1987. Generalized Predictive Control – Part 2. Extensions and Interpretations. Automatica, Vol. 23, No 2, pp 149-160.

- Cohen, G.H. and Coon, G.A. 1953. Theoretical Considerations of Retarded Control, Trans. ASME, 75, 827.
- Çölkesen Rifat, Örencik Bülent, Bilgisayar Haberleşmesi ve Ağ Teknolojisi, Papatya yayıncılık, Eylül 2002.
- 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.
- Leung, D., 2006, Real-Time MPC Supervisory System, 2006, Computers and Chemical Engineering 24, pp 285-290.
- Luyben, W.L.1990. Process Modelling, Simulation and Control for Chemical Engineering. Mc Graw-Hill, New York.
- Murari, A. and Lotto, L. 2004. Wireless Communication Using Detectors Located Inside Vacuum Chambers. Vacuum, 72,149-155.
- Michels, K. 1997. A Model Based Fuzzy Controller. Fuzzy Sets and Systems, 85, 2,223-232.
- Nygaard, G., Naevdal, G., 2006. Nonlinear Model Predictive Control Scheme for Stabilizing Annulus Pressure During Oil Well Drilling, Journal of Process Control1, pp 719-732.
- Song, J., Mok, A., Chen, D., Nixon, M. 2004. Challenges of Wireless Control in Process Industry, Wacerts.
- Sheikhzadeh, M., Trifkovic, M., Rohani, S. 2007. Real-Time Optimal Control of an Anti-Solvent Isothermal Semi-Batch Crystallization Process, Chemical Engineering Science 63, pp 829-839.

- Tuna, S. 2011. pH'ı Bulanık PID İle Kontrol Ederek Duvar Boyası Endustriyel Atık Suyunun Çöktürmeyle Arıtımı ve Boya Pigmentinin Geri Kazanımı. Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Ankara.
- Woodard, S.E. and Taylor, B.D.2007. A Wireless Fluid-Level Measurement Technique. Sensors andActuators, 137, 268-278.
- Zadeh,L.A. 1965. Fuzzy Sets. Information and Control, 8(3), 338-353.
- Zeybek, Z. 1997. Fuzzy ve Neural Network Yöntemleri İle Kimyasal Proseslerin Modellenmesi ve Kontrolü. Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi, Ankara.
- Zupancic, B. 1998. Extension Software for Real-Time Control System Design and Implementation With MATLAB-Simulink, Simulation Practice and Theory 6, pp 703-719.

EKLER

EK 1 PID Kontrol Algoritması

EK 2 GPC Kontrol Algoritması

EK 3 Fuzzy Kontrol Algoritması

EK 4 Fuzzy Kontrol İçin Kullanılan İlişki Matrisi

EK 5 Fuzzy Kontrolde Değişken Hataları İçin Üyelik Fonksiyon Kümeleri

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    = 1;
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
% 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)

% Onceki girisleri ve cikislari 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)

deltat = 1;
KC = 73;
KI = 1;
KD = 13;

```

```

deltat = 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 + deltat;

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(3) = 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(3);
%sys(2) = x(4);
%sys(3) = x(1);
%sys(4) = 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 2 GPC 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 = 12;
sizes.NumOutputs    = 1;
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 = [ 1.3   1.3   1.3   1.3   65 65 65 65 1.51 1.51 1.51 1.51];

% 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)

% Onceki girisleri ve cikislari 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 = 1;
KC = 10;
KI = 2;
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)=-0.9384667;
AAS(2)=-0.002713315;
AAS(3)=0.0;
AAS(4)=0.0;
BBS(1)=0.0000162074;
BBS(2)=0.0;
NAAS=2;
NBBS=1;
NIKI=0;
NUNU=0;
ALWS=0.0;
ALAM=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
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=DELCON+GTG(1,JWW)*WMF(JWW);
end
deltau = (8000.0/1.0)*DELCON;
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(5);
%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] = iso_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
%                               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
%        $\text{abs}(\text{round}((T-\text{OFFSET})/\text{PERIOD}) - (T-\text{OFFSET})/\text{PERIOD})$ 
%       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 = [20 20 10 10 30 30 30];
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)

% Onceki girisleri ve cikislari 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=[58.1 58.15 58.2 58.25 58.3 58.35 58.4 58.45 58.5 58.55 58.6 58.65 58.7 58.75
58.8 58.85 58.9 58.95 59. 59.05 59.1 59.15 59.2 59.25 59.3 59.35 59.4 59.45 59.5 59.55
59.6 59.65 59.7 59.75 59.8 59.85 59.9];
%FFF.m
```

```
%XCARP1.m
YSETT=4.;
USETT=59.;
YSON=4.5;
YSCAL=1.;
USCAL=0.9.;
YFUZZY=0;
RMKEZY(1)=-1.;
RMKEZY(2)=-0.490;
RMKEZY(3)=-0.01;
RMKEZY(4)=0.457;
RMKEZY(5)=1.;
SOLY(1)=4.5;
SOLY(2)=0.283;
SOLY(3)=0.550;
SOLY(4)=0.650;
SOLY(5)=0.617;
SAGY(1)=0.717;
SAGY(2)=0.283;
SAGY(3)=0.550;
SAGY(4)=0.650;
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
%[FFFy] = FFF(YKESKI,RMKEZY,SOLY,SAGY,JGL);
SOYK1(JGL)=FFFy;
end
UZAK=50000000;
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 = 1.0;
%KC = 17.8;
%KI = 63.8;
%KD = 9.8;

%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 Kontrol İçin Kullanılan İlişki Matrisi

```
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];
```

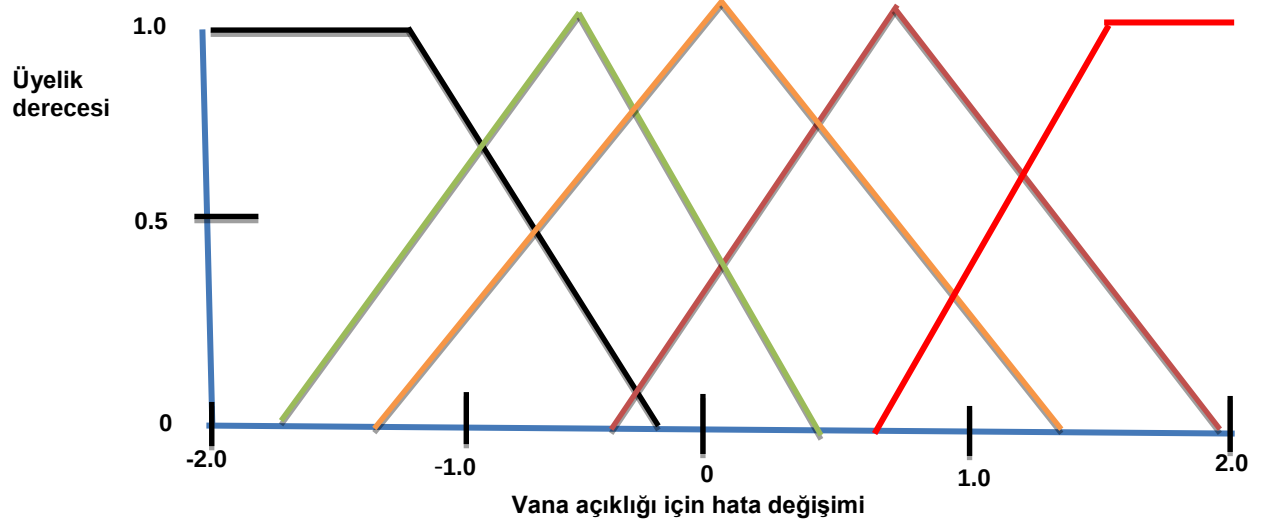
```
RSON(:,2)=[.49399 .50106 .00000 .00000 .00000  
.57073 .96013 .49533 .11174 .00000  
.01759 .52045 .96200 .53550 .07801  
.00000 .12125 .47760 .95457 .58950  
.00000 .00000 .03265 .41150 .93734];
```

```
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];
```

EK 5 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

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : İsmail BAYRAM
Doğum Yeri : Ankara
Doğum Tarihi : 20.03.1982
Medeni Hali : Bekar
Yabancı Dil : İngilizce, Almanca

Eğitim Durumu

Lise : Prof. Dr. Şevket Raşit Hatipoğlu Lisesi (2001)
Lisans : Ankara Üniversitesi Mühendislik Fakültesi,
Kimya Mühendisliği Bölümü (2007)
Yüksek Lisans : Ankara Üniversitesi Mühendislik Fakültesi,
Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı (2010)
Doktora : Ankara Üniversitesi Mühendislik Fakültesi,
Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı (2015)

Hakemli Dergi

Abdulwahab, G., Saidat, O.G., Bayram, İ., Karacan, S. Simulations and Economic Analyses of Ethyl Acetate Productions by Conventional and Reactive Distillation Processes Using Aspen Plus , International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT), Vol. 2, 2013.

Uluslararası Kongreler

A. Giwa, İ. Bayram, S. Karacan. Development of a Nonlinear ARX Model for a Reactive Packed Distillation Column. International 7th Statistics Congress, 28 April – 01 May 2011, Antalya, Book of Proceedings, 202-203.

Ulusal Kongreler

İ. Bayram, A. Giwa, S. Karacan. Tepkimeli Bir Damıtma Kolonunun Doğrusal Olmayan Genelleştirilmiş Öngörmeli Kontrolü. Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı, 14-16 Eylül 2011 (TOK 2011), Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, Bildiriler Kitabı, 370-375.

Bayram, İ., Karacan, S. Tepkimeli bir damıtma kolonunun matematiksel modellenmesi ve tasarım parametrelerinin belirlenmesi, 9. Ulusal Kimya Mühendisliği Kongresi, 22-25 Haziran 2010, Ankara.