

**T.C
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

**BORULARDA FARKLI AKIŞ HIZLARININ DENEYSEL
OLARAK PID İLE KONTROLÜ
(Yüksek Lisans Tezi)**

**Tezi Hazırlayan
Abdullah GÖÇER**

**Tezi Yöneten
Prof. Dr. Şahin YILDIRIM**

**Eylül 2011
Kayseri**

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir şekilde elde edildiğini beyan ederim. Aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi belirtirim.

Adı-Soyadı : Abdullah GÖÇER

İmza :



Borularda Farklı Akış Hızlarının Deneysel Olarak PID ile Kontrolü adlı Yüksek Lisans tezi, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma Yönergesi'ne uygun olarak hazırlanmıştır.



Tezi Hazırlayan

Abdullah GÖÇER



Danışman

Prof. Dr. Şahin YILDIRIM



Makine Mühendisliği ABD Başkanı

Prof. Dr. İbrahim UZMAY

Prof. Dr. Şahin YILDIRIM danışmanlığında **Abdullah GÖÇER** tarafından hazırlanan “**Borularda Farklı Akış Hızlarının Deneysel Olarak PID ile Kontrolü**” adlı bu çalışma, jürimiz tarafından Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalında **Yüksek Lisans** tezi olarak kabul edilmiştir.

06 /09 /2011

JÜRİ:

Danışman : Prof. Dr. Şahin YILDIRIM

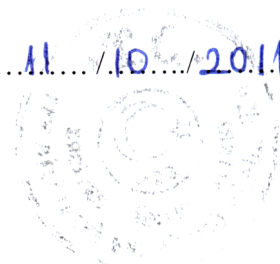
Üye : Prof. Dr. İbrahim UZMAY

Üye : Doç. Dr. Z. Gül APALAK

ONAY:

Bu tezin kabulü Enstitü Yönetim Kurulunun 11.10/2011. tarih ve 2011/38-07. sayılı kararı ile onaylanmıştır.

...11.../10.../2011...



Prof. Dr. Necmettin MARAŞLI

Enstitü Müdürü

TEŞEKKÜR

Tez konusunun belirlenmesinde, yürütülmesinde ve sonuçlandırılmasında yardım ve desteğini esirgemeyen tez danışmanım değerli hocam Sayın Prof. Dr. Şahin YILDIRIM 'a teşekkür ederim.

Çalışmam boyunca maddi ve manevi desteklerini her zaman hissettiğim değerli hocalarıma ve başta Arş. Gör. Murat AYDIN, Arş. Gör. Emir ESİM, Arş. Gör. Erdem Arslan ve Arş. Gör. Sertaç SAVAŞ olmak üzere bütün çalışma arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Bugünlere gelmemi borçlu olduğum, hayatımın her anında olduğu gibi tez çalışmalarım boyunca da bana destek veren değerli aileme teşekkür ederim.

Abdullah GÖÇER

Kayseri, Eylül 2011

BORULARDA FARKLI AKIŞ HIZLARININ DENEYSEL OLARAK PID İLE KONTROLÜ

Abdullah GÖÇER

Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü

Yüksek Lisans Tezi, Eylül 2011

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Şahin YILDIRIM

ÖZET

Kontrol sistemlerinin statik ve dinamik özelliklerini belirlemek için modellerin teorik ve deneysel formasyonları kullanılır. Bu amaçla yapılmış olan birçok deney düzeneği olduğu gibi sistemlerin simüle edilebildiği MATLAB gibi yazılımlarda bulunmaktadır.

Günümüzde birçok kontrol uygulamasında basit yapılarından dolayı PID kontrol birimlerinin kullanımı devam etmektedir. Basınç, sıcaklık, debi kontrolü gibi alanlarda da PID kontrol elemanı kullanılmakta ve kontrol parametrelerinin ayarlanmasında birçok yeni yöntem uygulanmaktadır.

Bu çalışmada borularda farklı akış hızlarında oluşacak sıcaklık ve basıncın kontrolünü incelemek için LTR 701 Kontrollü Hava Akımı ve Sıcaklık deney düzeneği kullanılmıştır. Bu kontrol sisteminde PID kontrol elemanı ile sıcaklık kontrolü, PI kontrol elemanı ile basınç kontrolü, PI ve P kontrol elemanlarının peş peşe kullanılmasıyla sıcaklığın kademeli olarak kontrolü yapılmış ve kontrol parametrelerinin farklı sıcaklık ve basınçlarda tepkisi incelenmiştir. Kontrol parametrelerinin ayarlanmasında manuel ayarlama metodu uygulanmıştır. Ayrıca deney sistemi MATLAB-Simulink'te modellenmiştir. Bu model üzerinde deney sisteminde yapılan testlerin simülasyonu gerçekleştirilmiş ve sonuçlar birbiriyle karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: PID Kontrol, Sıcaklık Kontrolü, Basınç Kontrolü. Kademeli Kontrol.

**THE CONTROL OF DIFFERENT FLOW SPEEDS IN PIPES
EXPERIMENTALLY WITH PID**

Abdullah GÖÇER

Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences

M.Sc. Thesis, September 2011

Thesis Supervisor: Prof. Dr. Şahin YILDIRIM

ABSTRACT

Theoretical and experimental formations of models are used to determine static and dynamic properties of control systems. Besides many experimental set-ups that are made for that purpose, there are also some softwares, such as MATLAB, which can simulate and analyse systems.

Nowadays, PID control units have been used in many simple control applications due to their simple structures PID control unit has been employed in fields such as pressure, temperature, flow rate controls and so many new methods have been used to regulate control parameters.

In this study, LTR 701 Controlled Air Flow and Temperature testing apparatus is used in order to examine temperature and pressure controls which occurred at different flow velocities in pipes. In this control system, temperature is controlled with PID control unit, pressure is controlled with PI control unit and cascade temperature control has been done with using PI and P control units performing successively and responses of control parameters have been studied at different pressures and velocities. Manuel tuning method is used in setting control parameters. Also experimental set-up is modeled with MATLAB-Simulink. The trials which taken place in experimental system have been carried out on this model and results have been compared with each other.

Keywords: PID Control, Temperature Control, Pressure Control, Cascaded Control

İÇİNDEKİLER

BORULARDA FARKLI AKIŞ HIZLARININ DENEYSEL OLARAK PID İLE KONTROLÜ

	<u>Sayfa</u>
BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK SAYFASI	ii
YÖNERGEYE UYGUNLUK SAYFASI	iii
KABUL VE ONAY SAYFASI	iv
ÖNSÖZ	v
KISA ÖZET	vi
ABSTRACT	vii
İÇİNDEKİLER	viii
KISALTMALAR VE SİMGELER.....	xi
TABLolar LİSTESİ.....	xii
ŞEKİLLER LİSTESİ	xii
GİRİŞ	1

1. BÖLÜM

LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

1.1. Yapılan Çalışmalar.....	3
-------------------------------------	----------

2. BÖLÜM

GERİ BESLEMELİ KONTROL ORGANI

2.1. Giriş	7
2.2. Kontrol Sistemleri	7
2.3. Kontrol Elemanlarının sınıflandırılması	9
2.3.1. P (Orantı) Kontrol Elemanı	10
2.3.2. I (İntegral) Kontrol Elemanı	10
2.3.3. D (Türev) Kontrol Elemanı	11

2.3.4. PI (Orantı + İntegral) Kontrol Elemanı.....	11
2.3.5. PD (Orantı + Türev) Kontrol Elemanı.....	12
2.3.6. PID (Orantı + İntegral + Türev) Kontrol Elemanı	12
2.4. Kaskad (Kademeli) PID Kontrol	13
2.5. PID Parametrelerinin Ayarlanması	13
2.5.1. Manuel Ayarlama Metodu	13

3.BÖLÜM

DENEY DÜZENEGİ

3.1. Giriş	15
3.2. Sistemin Fiziksel Yapısı	15
3.3. Sistemin Matematiksel Yapısı.....	20
3.4. Sistem Kontrol Döngüleri.....	22
3.4.1. Sıcaklık Kontrol Döngüsü	22
3.4.2. Basınç Kontrol Döngüsü	23
3.4.3. Kademeli Sıcaklık Kontrol Döngüsü (Isıtıcı Kontrollü).....	24
3.4.4. Kademeli Sıcaklık Kontrol Döngüsü (Fan Kontrollü).....	24
3.5. Sistemin Matlab-SİMULİNK'te Tasarlanması.....	25
3.5.1. PI Basınç Kontrolünün SİMULİNK'te Tasarlanması.....	26
3.5.2. PID Sıcaklık Kontrolünün SİMULİNK'te Tasarlanması	26
3.5.3. Isıtıcı Kontrollü Kademeli Sıcaklık Kontrolünün SİMULİNK'te Tasarlanması.....	27
3.5.4. Fan Kontrollü Kademeli Sıcaklık Kontrolünün SİMULİNK'te Tasarlanması.....	28

4. BÖLÜM

DENEYSEL VE TEORİK VERİLER

4.1. Giriş	29
4.2. P, PI, ve PID Kontrol Elemanları ile Deneysel Sıcaklık Kontrolü	29
4.3. P, ve PI Kontrol Elemanları ile Deneysel Basınç Kontrolü.....	32
4.4. Kademeli Kontrol İle Deneysel Sıcaklık Kontrolü (Isıtıcı Kontrollü).....	34
4.5. Kademeli Kontrol İle Deneysel Sıcaklık Kontrolü (Fan Kontrollü)	35

4.6. Sıcaklık ve Basınç Kontrollerinde Hava Giriş Açısının Kontrole Etkisi.....	37
4.7. Deneysel Sıcaklık Kontrolü İle Simülasyon Sonuçlarının Karşılaştırılması	42
4.8. Deneysel Basınç Kontrolü İle Simülasyon Sonuçlarının Karşılaştırılması	46
4.9. Isıtıcı Kontrollü Kademeli Kontrol Deneysel Sıcaklık Kontrolü İle Simülasyon Sonuçlarının Karşılaştırılması	49
4.10. Fan Kontrollü Kademeli Kontrol Deneysel Sıcaklık Kontrolü İle Simülasyon Sonuçlarının Karşılaştırılması	49
4.11. Sıcaklık ve Basınç Kontrollerinde Hava Giriş Açısının Simülasyon Sonuçlarına Etkisi	52

5. BÖLÜM

TARTIŞMA, SONUÇ VE ÖNERİLER	57
KAYNAKLAR	59
ÖZGEÇMİŞ.....	62

KISALTMALAR VE SİMGELER

<u>Sembol</u>	<u>Anlamı</u>	<u>Birimi</u>
K _p	Oransal kontrol elemanı katsayısı	
K _d	Diferansiyel kontrol elemanı katsayısı	
K _i	İntegral kontrol elemanı katsayısı	
G(s)	Transfer Fonksiyonu	
DAT	Hava Sıcaklık Tahliyesi (Discharge Air Temperature)	
SISO	Tek Giriş Tek Çıkış (Single Input Single Output)	
PIC	Programlanabilir Arayüz Denetleyici (Programmable Interface Controller)	
PLC	Programlanabilir Mantıksal Denetleyici (Programmable Logic Controller)	
YSA	Yapay Sinir Ağları	
HVAC	Isıtma Havalandırma ve İklimlendirme (Heating Ventilating and Air Conditioning)	
PWM	Darbe Genişlik Modülasyonu (Pulse-Width Modulation)	
PID	Oransal İntegral ve Diferansiyel Kontrolör	
I/O	Giriş/Çıkış	
A/D	Analog/Dijital	
T	Sıcaklık	(°C)
t	Zaman	(s)
k	Kazanç Faktörü	
T	Zaman sabiti	
T _t	Ölü zaman	
w _n	Doğal frekans	(Hz)
ξ	Sönüm faktörü	
t _r	Yükselme zamanı	(s)
M _p	Maksimum aşma miktarı	
t _s	Yerleşme zamanı	(s)
e _{ss}	Kararlı durum hatası	
U _M	Fan motorunun kontrollü değişkeni	
U _H	Isıtıcının kontrollü değişkeni	

φ	Parazit sinyal olarak manüel ayarlanabilen kısma valfi açısı	(deg)
δ	Hava sıcaklığı	(°C)
P	Basınç	(N/m ²)
VZ1	Birinci dereceden zaman gecikme elemanı	
G1(s)	Transfer fonksiyonu (Fanın basınca etkisi)	
G2(s)	Transfer fonksiyonu (Basıncın sıcaklığa etkisi)	
G32(s)	Transfer fonksiyonu (Isıtmanın sıcaklığa sensör 2’de etkisi)	
G33(s)	Transfer fonksiyonu (Isıtmanın sıcaklığa sensör 3’de etkisi)	
G4(s)	Transfer fonksiyonu (Valf ayarının basınca etkisi)	
GR1	Kontrol elemanı	

TABLULAR LİSTESİ

Tablo 2.1 Kontrol elemanlarının sınıflandırılması.....	9
Tablo 2.2 K_p , K_i ve K_d ' nin Geçici Durum Parametrelerine Etkisi.....	13
Tablo 3.1 Hava akımı ve sıcaklık kontrol sisteminin donanımı ve fonksiyonları.....	17

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Bir kontrol sisteminin yapısı	7
Şekil 2.2. Açık çevrim kontrol sistemi	8
Şekil 2.3. Kapalı çevrim kontrol sistemi	8
Şekil 3.1. Hava akımı ve sıcaklık kontrol deney düzeneğinin ön panelinin görünümü	16
Şekil 3.2. Hava akımı ve sıcaklık kontrol deney düzeneğinin katı model görünümü	16
Şekil 3.3. Hava akımı ve sıcaklık kontrol deney düzeneği.....	17
Şekil 3.4. Humusoft MF 624 multifonksiyon I/O kartı.....	18
Şekil 3.5. Hava akımı ve sıcaklık kontrol deney düzeneğinin blok diyagramı [1].....	19
Şekil 3.6. Sıcaklık ve basınç kontrol deney düzeneğinin blok diyagramı	20
Şekil 3.7. Hava akımı ve sıcaklık kontrol sisteminin model yapısı	21
Şekil 3.8. Sıcaklık kontrol metodunun blok diyagramı görünümü	22
Şekil 3.9. Basınç kontrol döngüsünün blok diyagramı	23
Şekil 3.10. Kademeli sıcaklık kontrol döngüsü (ısıtıcı kontrollü) blok diyagramı	24
Şekil 3.11. Kademeli sıcaklık kontrol döngüsü (fan kontrollü) blok diyagramı	25
Şekil 3.12. PI basınç kontrolünün SİMULİNK'teki modeli	26
Şekil 3.13. PID sıcaklık kontrolünün SİMULİNK'teki modeli	27
Şekil 3.14. Kademeli sıcaklık kontrolünün (ısıtıcı kontrollü) SİMULİNK'teki modeli	27
Şekil 3.15. Kademeli sıcaklık kontrolü (fan kontrollü) SİMULİNK modeli	28
Şekil 4.1. Hava akımı ve sıcaklık sisteminin P denetim organı ile sıcaklık kontrolünde sinüs giriş sinyaline verdiği cevabın değişimi ($K_p = 60.000$	30
Şekil 4.2. Hava akımı ve sıcaklık sisteminin PI denetim organı ile sıcaklık Kontrolünde sinüs giriş sinyaline cevabın değişimi ($K_p = 60.000$ $K_i = 45.880$).....	31

Şekil 4.3. Hava akımı ve sıcaklık sisteminin PID denetim organı ile sıcaklık kontrolünde sinüs giriş sinyaline cevabın değişimi ($K_p = 60.000$ $K_i = 45.880$ $K_d = 25.940$).....	31
Şekil 4.4. Hava akımı ve sıcaklık sisteminin PID denetim organı ile sıcaklık kontrolünde sinüs giriş sinyaline verdiği cevabın değişimi ($K_p = 80.000$ $K_i = 60.000$ $K_d = 55.000$).	32
Şekil 4.5. Hava akımı ve sıcaklık sisteminin P denetim organı ile basınç kontrolünde sinüs giriş sinyaline verdiği cevabın değişimi ($K_p = 60.500$).....	33
Şekil 4.6. Hava akımı ve sıcaklık sisteminin PI denetim organı ile basınç kontrolünde sinüs giriş sinyaline verdiği cevabın değişimi ($K_p = 60.500$ $K_i = 45.600$).....	33
Şekil 4.7. Hava akımı ve sıcaklık sisteminin sabit basınçta kademeli sıcaklık Kontrolünde sinüs giriş sinyaline cevabın değişimi ($K_p = 30.900$ $K_i = 15.660$ $K = 1.750$).....	34
Şekil 4.8. Hava akımı ve sıcaklık sisteminin sabit basınçta kademeli sıcaklık kontrolünde sinüs giriş sinyaline cevabın değişimi ($K_p = 30.900$ $K_i = 15.660$ $K = 50.750$).....	35
Şekil 4.9. Hava akımı ve sıcaklık sisteminin sabit ısıtıcı değerinde kademeli sıcaklık kontrolünde sinüs giriş sinyaline cevabın değişimi ($K_p = 64.400$ $K_i = 41.500$ $K = 7.750$).....	36
Şekil 4.10. Hava akımı ve sıcaklık sisteminin sabit ısıtıcı değerinde kademeli sıcaklık kontrolünde sinüs giriş sinyaline cevabın değişimi ($K_p = 64.40$ $K_i = 41.500$ $K = 30.750$).....	36
Şekil 4.11. Şekil 4.11 Hava akımı ve sıcaklık sisteminin hava akış yolu.....	37
Şekil 4.12. Hava akımı ve sıcaklık sisteminin PID denetim organı ile sıcaklık kontrolünde sinüs giriş sinyaline verdiği cevabın değişimi ($K_p = 60.000$, $K_i = 50.880$, $K_d = 25.940$, $\phi = 90^\circ$).....	38
Şekil 4.13. Hava akımı ve sıcaklık sisteminin PID denetim organı ile sıcaklık kontrolünde sinüs giriş sinyaline verdiği cevabın değişimi ($K_p = 60.000$ $K_i = 50.880$ $K_d = 25.940$ $\phi = 45^\circ$).....	38

- Şekil 4.14. Hava akımı ve sıcaklık sisteminin PI denetim organı ile basınç kontrolünde sinüs giriş sinyaline verdiği cevabın değişimi ($K_p = 60.500$, $K_i = 45.600$, $\varphi = 90^\circ$)..... 39
- Şekil 4.15. Hava akımı ve sıcaklık sisteminin PI denetim organı ile basınç kontrolünde sinüs giriş sinyaline verdiği cevabın değişimi ($K_p = 60.500$, $K_i = 45.600$, $\varphi = 45^\circ$)..... 39
- Şekil 4.16. Hava akımı ve sıcaklık sisteminin sabit basınçta kademeli sıcaklık kontrolünde sinüs giriş sinyaline verdiği cevabın değişimi ($K_p = 30.900$, $K_i = 15.660$, $K = 20.750$, $\varphi = 90^\circ$)..... 40
- Şekil 4.17. Hava akımı ve sıcaklık sisteminin sabit basınçta kademeli sıcaklık kontrolünde sinüs giriş sinyaline verdiği cevabın değişimi ($K_p = 30.900$, $K_i = 15.660$, $K = 20.750$, $\varphi = 45^\circ$)..... 40
- Şekil 4.18. Hava akımı ve sıcaklık sisteminin sabit ısıtıcı değerinde kademeli sıcaklık kontrolünde sinüs giriş sinyaline verdiği cevabın değişimi ($K_p = 14.400$, $K_i = 1.500$, $K = 1.750$, $\varphi = 90^\circ$)..... 41
- Şekil 4.19. Hava akımı ve sıcaklık sisteminin sabit ısıtıcı değerinde kademeli sıcaklık kontrolünde sinüs giriş sinyaline verdiği cevabın değişimi ($K_p = 14.40$, $K_i = 1.500$, $K = 1.750$, $\varphi = 45^\circ$)..... 41
- Şekil 4.20. P denetim organı ile sıcaklık kontrolünde (a) Hava akımı ve sıcaklık sisteminin sinüs giriş sinyaline verdiği cevabın değişimi ($K_p = 60.000$) (b) Simulink modelin sinüs giriş sinyaline verdiği cevabın değişimi ($K_p = 3.371$)..... 43
- Şekil 4.21. PI denetim organı ile sıcaklık kontrolünde (a) Hava akımı ve sıcaklık sisteminin sinüs giriş sinyaline verdiği cevabın değişimi ($K_p = 60.000$ $K_i = 45.880$) (b) Simulink modelin sinüs giriş sinyaline verdiği cevabın değişimi ($K_p = 3.371$ $K_i = 2.748$)..... 44
- Şekil 4.22. PID denetim organı ile sıcaklık kontrolünde (a) Hava akımı ve sıcaklık sisteminin sinüs giriş sinyaline cevabın değişimi ($K_p = 60.00$, $K_i = 45.88$, $K_d = 25.94$) (b) Simulink modelin sinüs giriş sinyaline cevabın değişimi ($K_p = 3.371$, $K_i = 2.748$, $K_d = 1.799$)..... 45

- Şekil 4.23. P denetim organı ile basınç kontrolünde (a) Hava akımı ve sıcaklık sisteminin sinüs giriş sinyaline cevabının değişimi ($K_p = 60.500$) (b) Simulink modelin sinüs giriş sinyaline cevabının değişimi ($K_p = 2.707$)..... 47
- Şekil 4.24. PI denetim organı ile basınç kontrolünde (a) Hava akımı ve sıcaklık sisteminin sinüs giriş sinyaline cevabının değişimi ($K_p = 60.500$, $K_i = 45.600$) (b) Simulink modelin sinüs giriş sinyaline cevabının değişimi ($K_p = 2.707$, $K_i = 2.500$)..... 48
- Şekil 4.25. Sabit basınçta kademeli sıcaklık kontrolünde (a) Hava akımı ve sıcaklık sisteminin sinüs giriş sinyaline cevabının değişimi ($K_p = 60.50$, $K_i = 45.60$, $K = 50.750$) (b) Simulink modelin sinüs giriş sinyaline cevabının değişimi ($K_p = 2.839$, $K_i = 2.083$, $K = 0.700$)..... 50
- Şekil 4.26. Sabit ısıtıcı değerinde kademeli sıcaklık kontrolünde (a) Hava akımı ve sıcaklık sisteminin sinüs giriş sinyaline cevabın değişimi ($K_p = 64.40$, $K_i = 41.500$, $K = 30.750$) (b) Simulink modelin sinüs giriş sinyaline cevabının değişimi ($K_p = 12.025$, $K_i = 1.606$, $K = 2.280$)..... 51
- Şekil 4.27. PID denetim organı ile sıcaklık kontrolünde simulink modelin sinüs giriş sinyaline cevabının değişimi (a) $K_p = 3.371$, $K_i = 2.748$, $K_d = 1.799$, $\phi = 90^\circ$ (b) $K_p = 3.371$, $K_i = 2.748$, $K_d = 1.799$, $\phi = 45^\circ$ 53
- Şekil 4.28. PI denetim organı ile basınç kontrolünde simulink modelin sinüs giriş sinyaline cevabının değişimi (a) $K_p = 2.707$, $K_i = 2.500$, $\phi = 90^\circ$ (b) $K_p = 2.707$, $K_i = 2.500$, $\phi = 45^\circ$)..... 54
- Şekil 4.29. Sabit basınçta kademeli sıcaklık kontrolünde simulink modelin sinüs giriş sinyaline cevabının değişimi (a) $K_p = 2.839$, $K_i = 2.083$, $K = 0.700$, $\phi = 90^\circ$ (b) $K_p = 2.839$, $K_i = 2.083$, $K = 0.700$, $\phi = 90^\circ$)..... 55
- Şekil 4.30. Sabit ısıtıcı değerinde kademeli sıcaklık kontrolünde simulink modelin sinüs giriş sinyaline cevabının değişimi (a) $K_p = 12.025$, $K_i = 1.606$, $K = 2.280$, $\phi = 90^\circ$ (b) $K_p = 12.025$, $K_i = 1.606$, $K = 2.280$, $\phi = 45^\circ$)..... 56

GİRİŞ

Teknolojik gelişmelerin çok hızlı meydana geldiği çağımızda otomatik kontrol uygulamaları verimlilik ve ekonomi açısından tercih edilmektedir [2]. Hava akımının sıcaklık ve basınç değerlerinin önemli olduğu ve bunların optimum bir şekilde kontrol edilmesinin gerektiği, havalandırma sistemleri, ısı değiştiricileri, hastanelerde bulunan özel oda ve ameliyathaneler, özel kurutma odaları gibi birçok alan vardır. Bu alanlarda kontrol edilmek istenen değişkenlerin kontrolü için değişik kontrol sistemleri kullanılmaktadır.

Kontrol sistemlerinin statik ve dinamik özelliklerini matematiksel olarak tanımlayabilmek için modellerin teorik ve deneysel formasyonları kullanılır. Modellerin teorik formasyonu, borunun içine termal enerji uygulandığı zaman oluşan sıkıştırılabilir ortamın taşınım balans denklemlerini açıklar. Fakat basınç ve sıcaklık dağılımını açıklayabilecek bir kısmi diferansiyel denklemin oluşturulabilmesi için laminar akış şartları kabul edilmelidir. Buna rağmen bu kısmi diferansiyel denklemin katsayılarını hesaplamak problem olabilir. Bu sebeple analiz işlemi için deneysel metotları kullanmak daha uygun görünmektedir [1].

LTR 701 kontrollü hava akımı ve sıcaklık deney düzeneği bu amaçla kullanılan bir deneysel kontrol sistemi olup havanın sıcaklık ve basıncının birbirinden bağımsız olarak ya da birbirine bağımlı olarak kontrol edilmesi amacıyla oluşturulan çeşitli kontrol elemanlarının performanslarının incelenmesini sağlayan bir sistemdir.

Matlab; kontrol sistemleri, güç sistemleri, filtre tasarımı, genetik algoritma, grafik, veritabanı, finans, bulanık kontrol, sinir ağları, optimizasyon, görüntü işleme, istatistik gibi birçok kullanım alanına sahiptir.

Matlab içinde çok önemli ve görsel bir yazılım olan SIMULINK ise; dinamik sistem modellemeye ve simülasyonunu gerçekleştirmeye yarayan bir yazılım ortamı olup kontrol sistemlerinin davranışlarını incelemede büyük kolaylıklar sağlamaktadır [26].

Görüldüğü gibi deneysel sistemler, kontrol edilmek istenen sistemin ve kontrolde kullanılan yöntemin gerçek şartlar altında nasıl bir performans vereceğini incelemek için kullanılırken, modelleme ve simülasyon amaçlı kullanılan yazılımlar ise kontrol sisteminin teorik yapısına dayanarak bu performans sonuçlarını iyileştirmeyi amaçlamaktadır.

Bu çalışmada LTR 701 Kontrollü Hava Akımı ve Sıcaklık Sistemi kullanılarak, bir boru içinden geçirilen havanın sıcaklık ve basıncını istenilen aralıklarda kontrol etmek için P, PI ve PID gibi kontrol elemanları ile çeşitli kontrol deneyleri yapılmış ve kontrol elemanlarının farklı şartlarda gösterdikleri performanslar mukayese edilmiştir. Aynı zamanda bu kontrol sisteminin transfer fonksiyonları kullanılarak sistem, Matlab-SİMULİNK'te modellenmiş, elde edilen simülasyon sonuçları birbirleriyle ve kontrol sisteminden elde edilen gerçek sonuçlarla mukayese edilmiştir.

Bu çalışma 4 bölüm içermektedir. 1. Bölümde akış sistemlerinde sıcaklık ve basıncın kontrolünde PID kontrolün kullanımıyla ilgili literatüre yer verilmektedir. 2. Bölüm, kontrol, PID kontrol ve kontrol parametrelerinin ayarlanmasıyla ilgili genel bilgileri içermektedir. Ayrıca bu bölümde deneylerin yapılmasında kullanılan LTR 701 kontrollü hava akımı ve sıcaklık sistemi ayrıntılı bir şekilde anlatılıp matematiksel modeline yer verilmiş ve sistemin MATLAB-SİMULİNK'te tasarlanması ele alınmıştır. 3. bölümde deney sistemi ve sistemin SİMULİNK modelinde P, PI, ve PID kullanılarak sıcaklık ve basınç kontrolü yapılmış ve sonuçları karşılaştırılarak irdelenmiştir.

1. BÖLÜM

LİTERATÜR ÇALIŞMASI

1.1. Yapılan Çalışmalar

Bu bölümde basınç ve sıcaklık sistemlerinin kontrol uygulamalarının, kullanılan metotların ve özellikle PID kontrol elemanının davranış biçimleri ve verdiği neticelerle ilgili yapılan çalışmalardan derlenen literatür incelemesine yer verilecektir.

Kontrol eğitiminde teorik bilgilerin uygulamaya geçirilmesi ve teorik bilgilerle hayata geçirilen uygulamaların karşılaştırılması önem arz etmektedir. Otomatik kontrol sistemlerinde önemli bir yeri olan Oransal-İntegral-Türevsel (PID) kontrol elemanı endüstride yaygın olarak kullanılmakta ve endüstriyel kontrol sistemlerinin önemli bir parçasını oluşturmaktadır. Bu sebeple PID tasarım ve uygulama metotlarında yapılacak herhangi bir gelişme endüstriyel kontrol sistemleri için önemli yer teşkil edecektir [11].

Hok ve arkadaşları zaman gecikmeli doğrusal olmayan bir basınç kontrol sistemini sayısal PI kontrol elemanı ile kontrol etmişlerdir. Kontrol sisteminin modeli zaman gecikmesine sahip birinci dereceden bir transfer fonksiyonu olarak çıkartılıp bu modele dayanarak kontrol elemanı Ziegler-Nichols yöntemiyle açık çevrim frekans cevabına göre optimize edilmiştir [12].

Zaheer-uddin ve Tudoroiu, bir DAT(discharge air temperature) sisteminin performansını yapay sinir ağı ayarlamalı PID kontrol elemanı kullanarak performansını arttırmayı amaçlamışlardır. DAT sisteminin SISO (tek girişli tek çıkışlı) sistem olarak modellemişlerdir. Gerçek zamanlı nöro PID kontrol elemanı kullanılarak elde edilen simülasyon sonuçları yapay sinir elemanı destekli PID kontrol elemanının hem sabit hemde değişken giriş eğrilerini etkin bir şekilde izleyebildiğini göstermiştir [22].

Soyguder ve arkadaşları, iki farklı alana sahip değişken debili bir HVAC (ısıtma havalandırma iklimlendirme) sisteminin modellemesini, nümerik simülasyonunu ve kontrolünü Matlab-SİMULINK'te gerçekleştirmişlerdir. Sistemin alt modelleri iki bölge arasındaki iletim, taşınım, soğutma ünitesi ve fandan kaynaklanan ısı kaybının ısı transfer denklemlerinden çıkarılmıştır. Sistem kendinden ayarlamalı PID tip bulanık adaptif kontrol elemanı ile kontrol edilmiş ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Bu sonuçlar bulanık PD ve klasik PID kontrol elemanı ile elde edilen sonuçlarla da karşılaştırılmıştır [23].

Ünal, bir basınç proses kontrol ünitesinin denetiminde kullanılan PID kontrol elemanının katsayılarını optimize etmek için genetik algoritma ve karınca koloni algoritması kullanmıştır. Kontrol edilecek sistemin dinamik modelini yapay sinir ağı kullanarak elde etmiş ve bu model üzerinde PID kontrol elemanını genetik algoritma, karınca kolonisi algoritması ve Ziegler-Nichols metotları ile optimize etmiş elde edilen sonuçları Ziegler-Nichols ile elde edilen aşım, yükselme zamanı, oturma zamanı kriterlerine ve yörünge takibindeki karekök ortalama hatasına göre karşılaştırmıştır [13].

Kayacan, bulanık denetim teorisi ve gri sistem teorisine dayanarak elde ettiği PID kontrol elemanını nonlinear bir sıvı seviye kontrol düzeneği üzerinde kullanarak karşılaştırmıştır [14].

Bolat, bir fırının Matlab-SIMULINK simülasyon yazılımı üzerinden gerçek zamanlı denetiminin sağlanması için PIC tabanlı bir kart tasarlanmış ve fırının sıcaklık denetimini Matlab-SIMULINK ortamında oluşturulan denetim bilgisinin fırına iletilmesiyle sağladığı gibi aynı zamanda, sadece kart üzerinden PIC yazılımı ile de gerçekleştirmiştir. Ayrıca fırının otomatik ayarlama yöntemlerinden Ziegler-Nichols Basamak Cevabı Alan Yöntemi ile belirlenen PI parametreleri ve Bulanık Kazanç Ayarlı PI Denetleyici kullanarak simülasyonunu gerçekleştirmiştir [15].

Akgül, doğal havalandırma yapılan bir serada sıcaklık ve bağıl nemin kontrolünü sağlamak için sistemi bulanık mantık yöntemiyle modellemiş ve sera pencerelerinin ne kadar açılacağına bu yöntemle karar vermiştir [16].

Yersel, çift cidarlı bir reaktör tank sisteminin transfer fonksiyonunu elde ederek sistemi PID ile kontrol etmiştir. Ayrıca bu kontrol sisteminin PLC algoritmasını oluşturarak PLC tabanında PID uygulamasını da gerçekleştirmiştir [5].

İzgi, bir iklimlendirme deney odasının sıcaklık ve nem davranışlarını geri beslemeli Yapay Sinir Ağları yardımıyla modellemiş ve yapay sinir ağı tabanlı iklimlendirme deney odası modelini kontrol etmek üzere bir bulanık kontrolör geliştirmiştir. Bulanık Kontrolör veya Bulanık Kontrolör + YSA tabanlı kontrolörler yardımıyla daha önceden kontrol edilen sistemin gerçek kontrol deney sonuçları ile yapay sinir ağları ile elde edilen modelle yapılan kontrol deneyi benzetim sonuçlarını karşılaştırmıştır [17].

Arıkan, elektrikli ısıtma fırınlarına farklı kontrol stratejilerinin uygulamalarını hedef almış öncelikle, elektrikli bir ısıtma fırınının ısıtma davranışını tanımlayan bir dinamik model geliştirmiştir. Aç-kapa, PID, optimum ve düşük mertebeden durum gözlemleyicileriyle optimum kontrol yöntemlerinin uygulanması için algoritmalar geliştirmiş ve fırında işlem gören malzemeyi ortam sıcaklığından belli bir referans sıcaklığına getirmek için her bir kontrol yönteminin sayısal simülasyonlarını gerçekleştirmiştir [18].

Yurdakul ve Eker, kendinden-ayarlanabilir kutup atamalı PID kontrol yapısını ele almışlar ve deneysel olarak bir DC motor üzerinde uygulamasını gerçekleştirerek elde ettikleri sonuçları klasik PID ve diğer bazı PID kontrol metotları ile karşılaştırmışlardır [11].

Haugen ve arkadaşları, PID kontrol elemanının kabiliyetini ispatlamak ve öğrenilmesini sağlamak için küçük bir hava ısıtma laboratuvarı geliştirmişlerdir. Bu laboratuvarında PID kontrol elemanının performansını incelemiş ve parametrelerinin ayarlanması üzerine çalışmışlar ve bu kontrol sistemini LabVIEW'de uygulamışlardır [19].

Maidi ve arkadaşları, kısmi bir diferansiyel denklem ile tanımlanan bir ısı değiştiricinin kontrolünü geliştirmek için bir lineer PI bulanık kontrol elemanını optimize etmişlerdir. Zorlanmış bir optimizasyon probleminden sadeleştirilerek elde edilen zorlanmamış optimizasyon problemini Matlab Optimizasyon Toolbox'ını ve Simulink'i kullanarak çözmüşler, ısı değiştiricinin performansını değerlendirmiş ve elde edilen sonuçlara göre bulanık kontrol elemanının geleneksel kontrol elemanına göre daha iyi bir sonuç ortaya koyduğunu göstermişlerdir [20].

Yükseltilen, asimetrik proses kontrol sistemlerini yani sistem dinamikleri yöne göre değişen sistemleri incelemiş, özellikle endüstriyel ocak ve fırın, klima ortamları, plastik enjeksiyon baskı makineleri, ilaç ve boya fabrikaları, yemek endüstrisi, ısıtma ve soğutma sistemleri gibi güçlü ısıtıcıların kullanıldığı ve ısınmanın hızlı olurken, soğumanın daha yavaş gerçekleştiği sistemlerde, sistemin istenilen değere ulaşması için kullanılan klasik PID kontrol metodunun yeterli olmadığını görmüştür. Bu sebeplerle tam güç ve PWM modları yardımıyla ilk olarak, aşımı engelleyip oturma zamanını minimuma indirmiş, daha sonra sistemin kararlı-hal bölgesinde kalarak simetrik davranışa sahip bir çıkış vermesi için PID kontrol metodu üzerinde iyileştirmeler yapmıştır [21].

Bi ve arkadaşları hem tek hem de çok değişkenli prosesler için gelişmiş oto-ayarlı PID kontrol elemanı tasarlamışlar ve bunu HVAC sistemlerine uygulamışlardır. Farklı dinamik karakteristiklere sahip proseslerde yüksek kontrol performansı sağlamak için yeni PID dizayn kurallarının bir araya getiren bu yöntem, yaygın bir kontrol sistemi üzerinde denenmiş ve deneysel sonuçlar bu yöntemin manuel ayarlı PID kontrole göre daha üstün bir performans sağladığını göstermiştir [28].

2. BÖLÜM

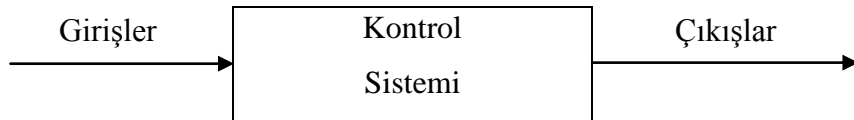
GERİ BESLEMELİ KONTROL ORGANI

2.1. Giriş

Kontrol; herhangi bir işlemin belirli şartlar altında gerçekleşmesini sağlamaktır [3]. İnsan, yaşadığı ortamda daha konforlu bir yaşam sürdürebilmek için binaların sıcaklık ve nemini ayarlamakta, ulaşımda bir noktadan diğer bir noktaya emniyetli bir şekilde gidebilmek için otomobil ve uçakları kontrol etmekte, endüstrideki üretim süreçlerinde ürünlerin doğru imal edilmesinde ve buna benzer birçok işlem için kontrol sistemlerini kullanmaktadır [4]. Otomatik kontrol sistemleri, ait olduğu sistemi insan müdahalesine ihtiyaç duymaksızın istenilen değerlerde tutmayı amaçlayan sistemlerdir. İyi bir kontrol sisteminde giriş büyüklükleri değiştikçe çıkış büyüklükleri de mümkün olduğu kadar kısa bir sürede ayar değerlerine ulaşır ve bozucu büyüklükler tarafından meydana gelen değişimler sistem tarafından kendi kendine giderilir [5]. Günümüzde birçok kontrol uygulamasında basit yapılarından dolayı PID kontrol birimlerinin kullanımı devam etmektedir. Zaman gecikmeli kararsızlığa meyilli sistemler için de bu tip kontrol birimlerinin parametrelerini ayarlayan sistemler konusunda birçok çalışma yapılmaktadır [6].

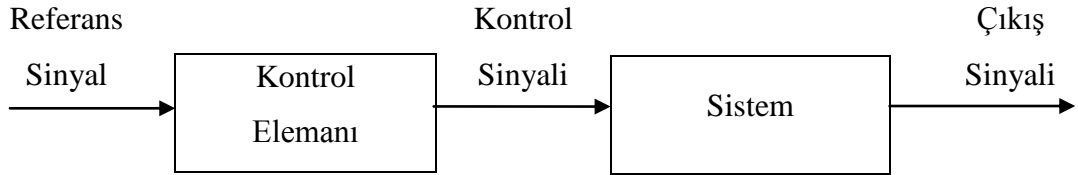
2.2. Kontrol Sistemleri

Kontrol sistemi, kendisini yada başka bir sistemi yönlendirecek, düzenleyecek veya ona kumanda edecek biçimde ilişkilendirilmiş fiziksel bileşenler topluluğudur [7]. Bir kontrol sisteminin yapısı en basit şekilde aşağıdaki gibidir;



Şekil 2.1. Bir kontrol sisteminin yapısı

Kontrol sistemleri açık çevrimli ve kapalı çevrimli olmak üzere ikiye ayrılırlar. Açık çevrimli sistemde referans değerine bağlı olarak bir kontrol sinyali üretilmekte ve bu sinyal doğrudan sisteme uygulanmaktadır. Böylece sistem çıkışı önceden belirlenen seviyelerde tutulmaya çalışılmaktadır. Ancak açık çevrimli kontrol sistemlerinde çıkış bilgileri tekrar işlenmesi için kontrol sistemine ulaştırılmaz. Kapalı çevrimli kontrol sistemlerinde ise sistemin çıkış bilgileri geriye beslenmekte ve referans değeri ile karşılaştırılmaktadır. Aradaki farka (hata) göre kontrol sinyali üretilmekte ve sisteme uygulanmaktadır. Böylece daha anlamlı ve doğru neticeler elde edilebilmektedir [8].

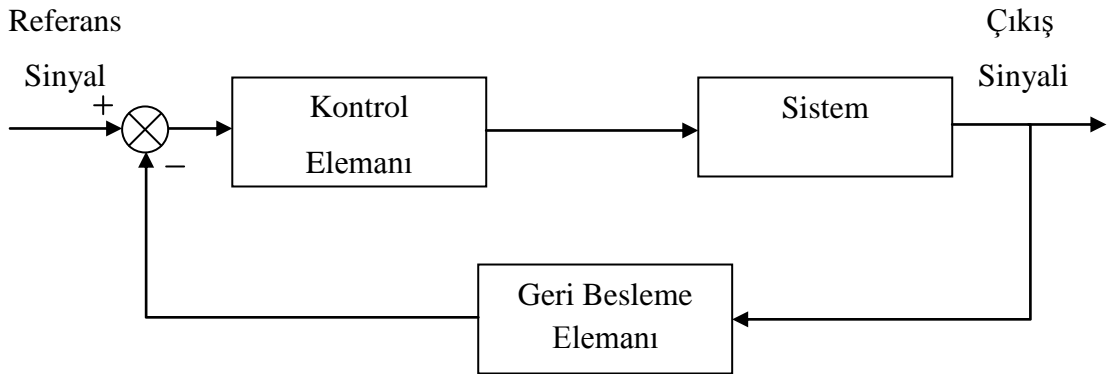


Şekil 2.2. Açık çevrim kontrol sistemi

Açık çevrim kontrol sistemleri genel özellikleri;

- İşleyişinin büyük ölçüde giriş ve çıkış büyüklükleri arasındaki kalibrasyon ilişkisine dayanması
- Genel itibarla kararsızlık problemlerinin olmaması

şeklindedir [7]. Bu tür kontrol sistemlerini basit yapısı ve ekonomik olmasından dolayı karmaşık olmayan birçok uygulamada görmek mümkündür.



Şekil 2.3. Kapalı çevrim kontrol sistemi

Kapalı çevrim kontrol sistemleri genel özellikleri ise;

- Kesinliği arttırması, yani referans değere büyük ölçüde yaklaşması,
- Sistemin iyi yanıt verebildiği frekans aralığını genişletmesi,
- Nonlineeriteden kaynaklanan sapmaların etkilerini en aza indirmesi

şeklinde [7]. Geri besleme, negatif ve pozitif geri besleme olmak üzere iki türdür. Pozitif geri beslemede çıkış değeri giriş değerine aynı yönde etki ederken, negatif geri beslemede bu etki tersyöndedir. Negatif geri besleme endüstriyel sistemlerde kullanılır ve daima hatayı minimum değerde tutmaya çalışır. Pozitif geri besleme iç döngülerle birlikte kullanılır [9].

LTR 701 kontrollü hava akımı ve sıcaklık deney düzeneği hem açık çevrimli kontrol hem de kapalı çevrimli kontrol imkânı vermektedir. Bu çalışmada deneyler kapalı çevrim olarak gerçekleştirilmiştir.

2.3. Kontrol Elemanlarının sınıflandırılması

Kontrol elemanlarının sınıflandırılması giriş çıkış ilişkilerine veya transfer fonksiyonlarına göre yapılmaktadır. Kontrol elemanlarının en temel olanları ve bunların transfer fonksiyonları tablo 3.1’de gösterilmiştir.

Tablo 2.1. Kontrol elemanlarının sınıflandırılması [7].

Kontrol Eleman Tipi	Simge	Transfer Fonksiyonu G(s)
Orantı elemanı	P	K_p
İntegral elemanı	I	$\frac{K_I}{s}$
Diferansiyel eleman	D	$K_d s$
1. dereceden gecikmeli eleman	P-T ₁	$\frac{1}{Ts + 1}$
2. dereceden gecikmeli eleman	P-T ₂	$\frac{w_n^2}{s^2 + 2\xi w_n s + w_n^2}$
Ölü zamanlı elemanlar	P-T _t	e^{-sT_t}

2.3.1 P (Orantı) Kontrol Elemanı

Orantı kontrol elemanının işlevi, giriş büyüklüğünü ($X(s)$) K_p değeriyle çarparak çıkış büyüklüğünü ($Y(s)$) elde etmektir. Orantı kontrol elemanı sistem hızını ayarlama da kullanılır. Orantı kontrol elemanının değeri arttıkça sistemin cevap hızı da artar. Ancak orantı kontrol elemanının değerindeki bir artış kalıcı durum hatasını olumsuz yönde etkiler. Orantı kontrol elemanının $X(t)$ girişine $Y(t)$ yanıtı;

$$Y(t) = K_p \cdot X(t) \quad (2.1)$$

şeklindedir. Dolayısıyla orantı elemanının transfer fonksiyonu şöyledir;

$$G(s) = \frac{Y(s)}{X(s)} = K_p \quad (2.2)$$

2.3.2 I (İntegral) Kontrol Elemanı

Orantı kontrol elemanında ortaya çıkan kalıcı durum hatasını gidermenin yolu, denetim organına hatanın integrali ile orantılı bir denetim etkisi ilave etmektir. Kontrol sistemi için gerek duyulan doğruluğu arttırmak, hatayı azaltmak için kullanılır. Uygulamalarda integral kontrol elemanı daha çok orantı elemanı ile birlikte kullanılır. Bir kontrolör yapısında integral kontrol elemanı kullanıldığında kalıcı hal hata azaldığı ya da yok edilebildiği gibi sönüme kötü etkisi de olabilmektedir. Yapı olarak yalnızca I kontrol elemanı kullanmaktan ziyade PI kontrol elemanı kullanmak tercih edilir. Çünkü sistemin girişe verdiği cevap idealden uzak ise; önce kazanç sağlamak gerekir [10]. İntegral kontrol elemanının $X(t)$ girişine $Y(t)$ yanıtı denklem (2.3)'te görülmektedir.

$$Y(t) = K_I \int_0^t X(t) dt \quad (2.3)$$

İntegral kontrol elemanının transfer fonksiyonu ise şöyledir;

$$G(s) = \frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{K_I}{s} \quad (2.4)$$

2.3.3. D (Türev) Kontrol Elemanı

Türevsel kontrol elemanı; kapalı çevrim sistemlerde kararlılığı iyileştirmek, sistem cevabındaki sönüm etkisini arttırmak için kullanılır. Hatanın türevinin alınması cevap hızı ve sönümü düzeltebilir, fakat kalıcı durum hatasını azaltmaz. Bu kontrol elemanı, hatanın zamana göre türevi ile orantılı bir çıkış etkisi üretir. Sürekli durum hatası üzerinde doğrudan bir etkisi olmadığı için denetim organlarında yalnız başına kullanılmaz. Genel olarak integral kontrol elemanında olduğu gibi sistemin daha iyi performans göstermesi için orantı kontrol elemanı ile kullanılır. Türev kontrol elemanının bağıntısı;

$$Y(t) = K_d \frac{dx}{dt} \quad (2.5)$$

şeklinde olup transfer fonksiyonu şöyledir;

$$G(s) = \frac{Y(s)}{X(s)} = K_d s \quad (2.6)$$

2.3.4. PI (Orantı + İntegral) Kontrol Elemanı

Orantı kontrol elemanının kullanıldığı sistemlerde ortaya çıkan kalıcı durum hatasını gidermenin yolu, sisteme hatanın integrali ile orantılı bir denetim etkisi ilave etmektir. İntegral etkinin çıkışı hatanın birikimi ile orantılıdır ve herhangi bir anda hatanın integrali büyük olursa büyük bir düzeltme etkisi ortaya çıkar. Uygulamalarda integral kontrol elemanı genelde yalnız başlarına kullanılmaz, daha çok oransal etki ile birlikte kullanılırlar [8]. PI kontrol elemanının bağıntısı;

$$Y(t) = K_p \cdot X(t) + K_I \int_0^t X(t) dt \quad (2.7)$$

şeklindedir. Transfer fonksiyonu ise şöyledir;

$$G(s) = K_p + \frac{K_I}{s} = \frac{K_p s + K_I}{s} \quad (2.8)$$

2.3.5. PD (Orantı + Türev) Kontrol Elemanı

Türev kontrol elemanının, hatanın zamana göre türevi ile orantılı bir çıkış etkisi ürettiğini, sürekli durum hatası üzerinde doğrudan bir etkisi olmadığı için denetim organlarında yalnız başına kullanılmadığını, genel olarak integral kontrol elemanında olduğu gibi sistemin daha iyi performans göstermesi için orantı kontrol elemanı ile kullanıldığını belirtmiştik. PD kontrol elemanının bağıntısı şu şekildedir;

$$Y(t) = K_p \cdot X(t) + K_d \frac{dx}{dt} \quad (2.9)$$

Transfer fonksiyonu denklem (2.10)'daki gibidir;

$$G(s) = K_p + K_d s \quad (2.10)$$

2.3.6. PID (Orantı + İntegral + Türev) Kontrol Elemanı

Orantı, integral ve türev kontrol elemanlarının bir araya gelmesiyle PID kontrol elemanı oluşmaktadır. Üç temel kontrol elemanının üstünlüklerini tek bir birim altında birleştiren bir kontrol etkisidir. PID kontrol elemanı bir taraftan sürekli durum hatasını elimine ederken diğer taraftan da kontrol sisteminin geçici durum davranışı iyileştirmektedir. Endüstride çok geniş bir kullanım alanı olup, lineer sistemlerin kontrol edilmesinin yanında lineer olmayan sistemlerin kontrolünde kullanılabilir. PID kontrol elemanının fonksiyonu;

$$Y(t) = K_p \cdot X(t) + K_I \int_0^t X(t) dt + K_d \frac{dx}{dt} \quad (2.11)$$

$$G(s) = K_p + \frac{K_I}{s} + K_d s = \frac{K_p s + K_I + K_d s^2}{s} \quad (2.12)$$

şeklindedir. Bir diğer gösterimi ise şu şekildedir;

$$G(s) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right) \quad (2.13)$$

$$T_i = \frac{K_p}{K_I} \quad (2.14)$$

$$T_d = \frac{K_d}{K_p} \quad (2.15)$$

Aşağıdaki tabloda P, I ve D kontrol elemanlarının artışına bağlı olarak geçici durum parametrelerinde meydana gelen değişim gösterilmektedir.

Tablo 2.2. K_p , K_i ve K_d ' nin geçici durum parametrelerine etkisi [25].

Artan Parametre	Yükselme Zamanı, t_r	Aşma M_p	Yerleşme Zamanı, t_s	Kararlı Durum Hatası, e_{ss}
K_p	Azalır	Artar	Etkilenmez	Azalır
K_i	Azalır	Artar	Artar	Yok edilir
K_d	Etkilenmez	Azalır	Azalır	Etkilenmez

2.4. Cascade (Kademeli) PID Kontrol

PID kontrol elemanlarının en önemli avantajlarından biride kontrol sisteminin daha iyi dinamik performans göstermesi amacı ile birden çok kullanılabilmesidir. Bu yöntem cascade PID kontrol diye isimlendirilir. Cascade PID kontrolde birinin giriş değerinin kontrol edilmesiyle diğeri ayarlanabilen iki adet PID kontrol elemanı bulunmaktadır. Bu kontrol elemanlarından birisi ana(birincil) fiziksel parametreyi kontrol eden dış döngü kontrol elemanı gibi davranır. Diğer kontrol elemanı ise dış döngü kontrol elemanının çıkışını okuyan, genellikle biraz daha hızlı değişen debi veya ivme gibi parametreleri kontrol eden iç döngü kontrol elemanıdır [24].

2.5. PID Parametrelerinin Ayarlanması

PID kontrol elemanı parametrelerinin daha iyi sonuç verecek şekilde ayarlanması, önemli bir kontrol problemidir. PID denetleyici parametrelerinin ayarlanmasında Manuel ayarlama Ziegler-Nichols Metodu, Åström – Hägglund Metodu, Kazanç – Faz Payı Test Metodu gibi geleneksel PID ayarlama tekniklerinin yanı sıra yapay zekâya dayalı yaklaşımlar da sıklıkla kullanılmaktadır. LTR 701 kontrollü hava akımı ve sıcaklık deney düzeneğinde yapılan deneylerde manuel ayarlama metodu kullanılmış olup bu yöntem aşağıda anlatılmıştır.

2.5.1. Manuel Ayarlama Metodu

Pratikte her birinin anlamını daha iyi kavramak için PID parametrelerinin manuel olarak ayarlanmasını ele almak gerekmektedir. Manuel ayarlama parametrelerin ayarlanma

sırası önemlidir. Bu yüzden en uygun metot ilk önce K_i ve K_d değerlerini sıfıra ayarlamaktır. Sonra K_p , bir başlangıç değerine ayarlanır ve sistem salınım yapıncaya kadar arttırılır. K_p parametresinin değeri salınıma sebep olan değer yarısı olarak ayarlanır. Daha sonra proses için yeterli süre içinde bütün sapmalar düzelinceye kadar K_i değeri arttırılır. Büyük K_i değerinin kararsızlığa sebep olacağına dikkat etmek gerektiği için bu parametre hassas olarak ayarlanmalıdır. Son olarak K_d parametresi, çıkış değeri ayar değerine bir yük düzensizliğinden sonra yeterince hızlı ulaşıncaya kadar arttırılır. Aynı şekilde büyük K_d değeri aşırı tepkiye ve aşmaya neden olabilir [21].

3. BÖLÜM

DENEY DÜZENEĞİ

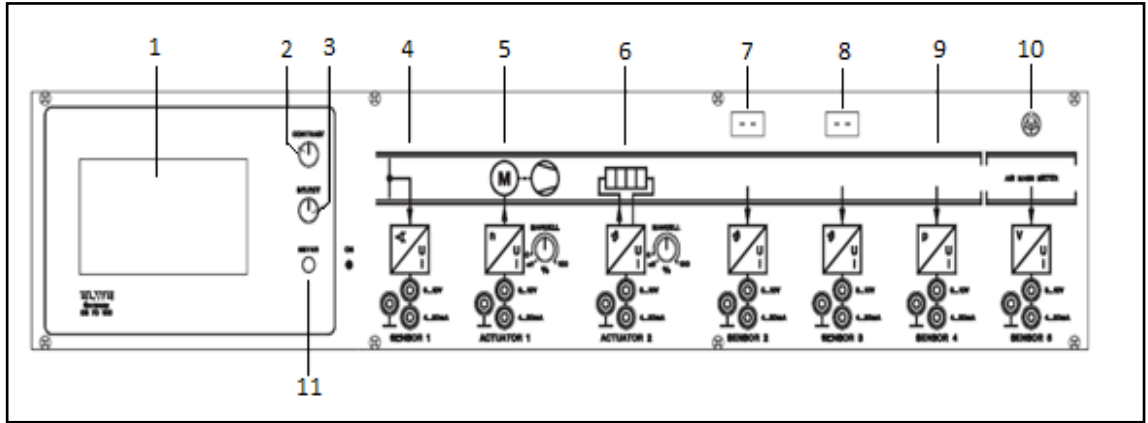
3.1. Giriş

Bu bölümde deneylerde kullanılan LTR 701 kontrollü hava akımı ve sıcaklık deney düzeneğinin fiziksel yapısı ve matematiksel temeli üzerinde durulmuştur. Sistemde yapılabilecek deneyler, blok diyagramları ve transfer fonksiyonları, sistemin teorik altyapısı geniş bir şekilde anlatılmıştır.

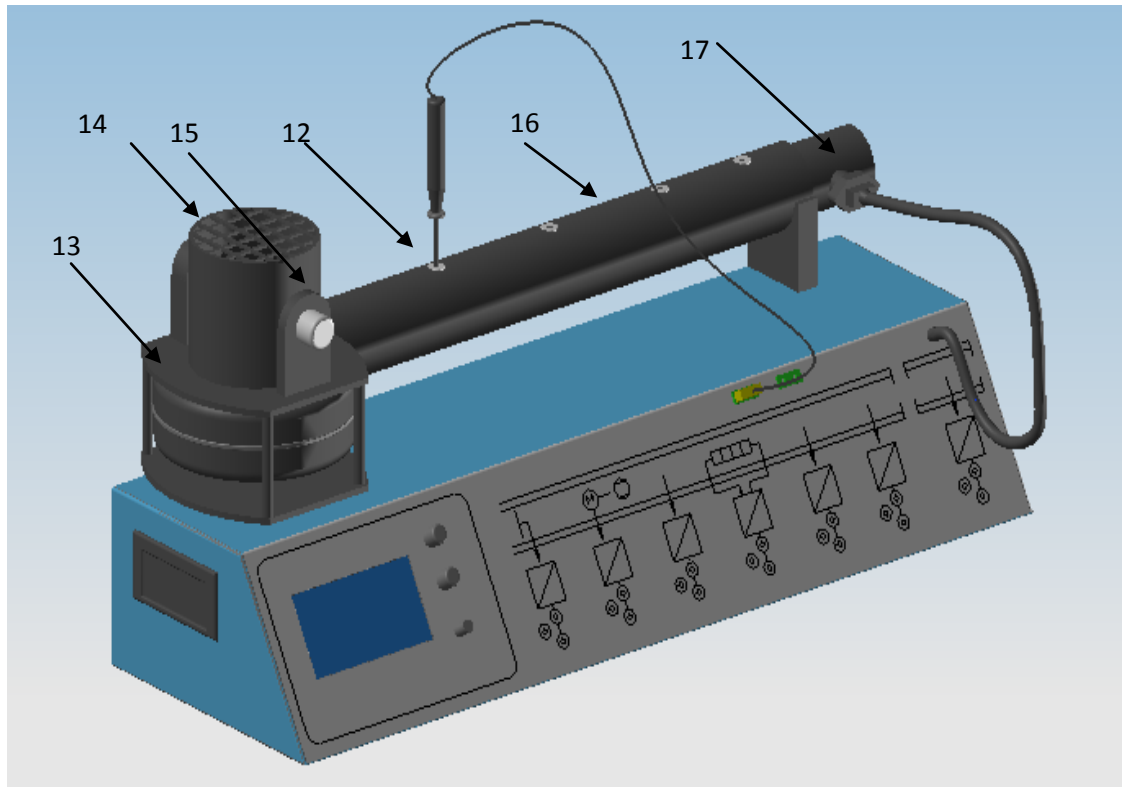
3.2. Sistemin Fiziksel Yapısı

LTR 701 Kontrollü Hava Akımı ve Sıcaklık Sistemi 5 analog çıkış değişkeni(debi, 2xsıcaklık, basınç ve kısma pozisyonu) ve 2 giriş değişkeni(vantilatör hızı ve ısıtıcı çıkışı) ile sıcaklık, debi ve basıncın kontrollü olarak değiştirilmesiyle kontrol sistemlerinin özelliklerinin belirlenmesini ve çeşitli kontrol elemanlarının performansının incelenmesini sağlayan bir deney düzeneğidir. Sistem; vantilatör, ısıtıcı, debi ölçer, ölçüm borusu, hava giriş supabı, supap sensörü, 2 adet sıcaklık sensörü, 1 adet basınç sensörü, analog veri kartı, 1 adet PC ve 1 adet thermocouple'dan oluşmaktadır. Manuel olarak ayarlanabilen hava giriş açısı, sisteme bir bozucu etki olarak uygulanabilmektedir.

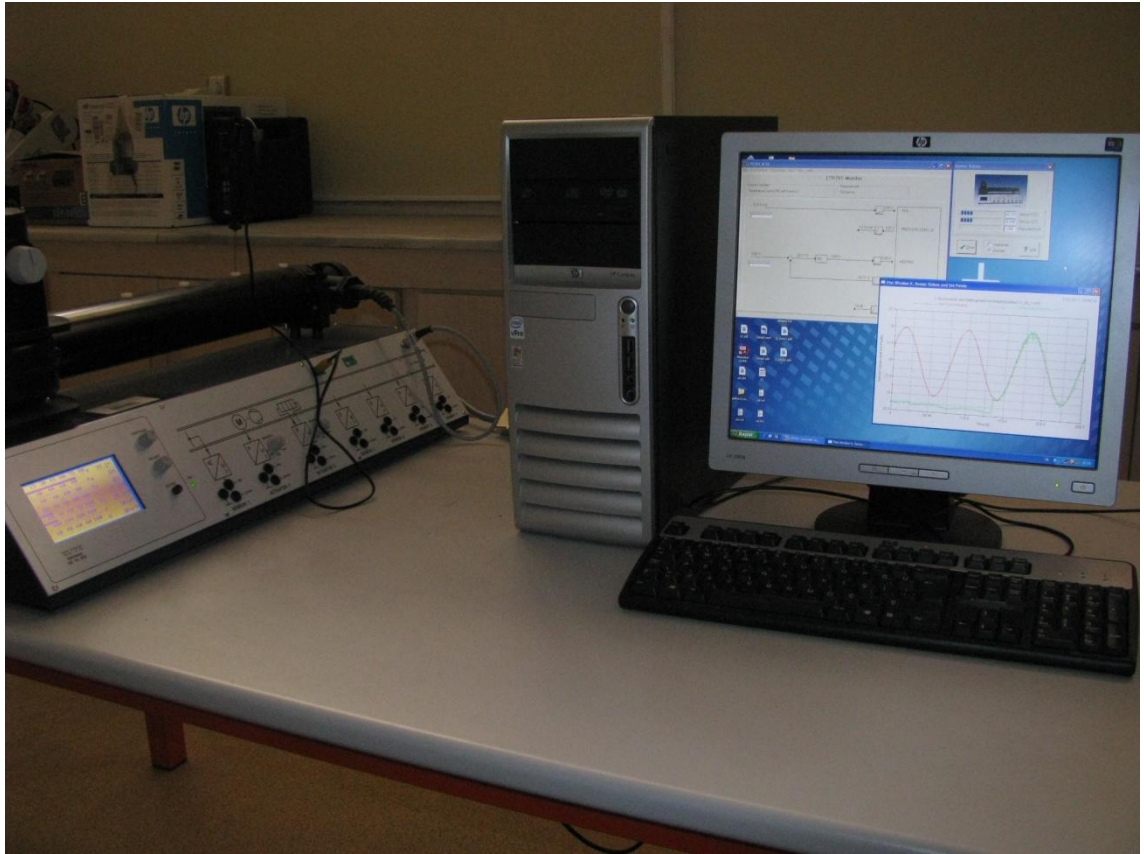
Şekil 3.1'de deney düzeneğinin ön paneli, Şekil 3.2'de düzeneğin katı modeli, Şekil 3.3'te laboratuvar ortamında bir resmi, Tablo 3,1'de ise sistem donanımı ve fonksiyonları gösterilmektedir.



Şekil 3.1. Hava akımı ve sıcaklık kontrol deney düzeneğinin ön panelinin görünümü.



Şekil 3.2. Hava akımı ve sıcaklık kontrol deney düzeneğinin katı model görünümü.



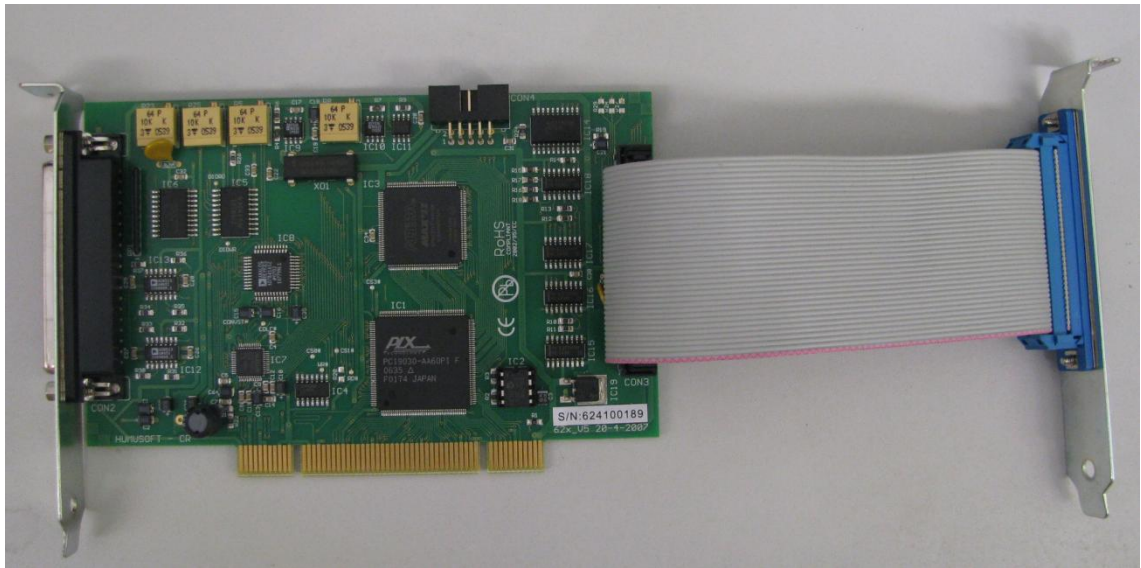
Şekil 3.3. Hava akımı ve sıcaklık kontrol deney düzeneği.

Tablo 3.1. Hava akımı ve sıcaklık kontrol deney düzeneğinin donanımı ve fonksiyonları.

	Donanım	Fonksiyon
1	LC Grafik Ekranı	İşlem parametrelerini ve değerleri görüntüler
2	Ayarlayıcı	Ekran kontrastını ayarlar
3	Ayarlayıcı	Menü öğelerini seçer
4	Sensor 1	Kısma supap pozisyonunu gösterir
5	Aktivatör 1	Vantilatör hızını ayarlar
6	Aktivatör 2	Isıtıcı çıkış değerini ayarlar
7	Sensor 2	Sıcaklık
8	Sensor 3	Sıcaklık
9	Sensor 4	Basınç
10	Sensor 5	Hava kütlesi
11	Buton	Giriş
12	Thermocouple	Sıcaklık ölçüm sensörü

13	Vantilatör	Ölçüm tüpüne hava akışı sağlar
14	Hava girişi	Vantilatörün hava aldığı kısım
15	Döner ayarlayıcı	Kısma supap pozisyonunu ayarlar
16	Ölçüm tüpü	Kontrol sistemi
17	Hava debi ölçer	Ölçüm tüpünden geçen hava miktarını ölçer

Deney düzeneğinde kullanılan Humusoft MF 624 çok fonksiyonlu I/O kartı 8 kanal hızlı 14 bit A/D dönüştürücü, 8 bağımsız 14 bit D/A dönüştürücü, 8 bit dijital giriş portu, 8 bit dijital çıkış portu içermektedir. Bu kart standart data edinme ve kontrol uygulamaları için tasarlanmıştır [27]. Bilgisayar ve deney düzeneğinin bağlantısı RS232 ara bağlantı elemanı ile sağlanmıştır. Kullanılan kontrol kartı Şekil 3.4'te görülmektedir;



Şekil 3.4. Humusoft MF 624 multifonksiyon I/O kartı.

LTR 701 kontrollü hava akımı ve sıcaklık deney düzeneğinde dış kontrolörler (endüstriyel kontrolör veya bilgisayar) vasıtasıyla aşağıdaki kontrol döngü yapıları gerçekleştirilebilmektedir;

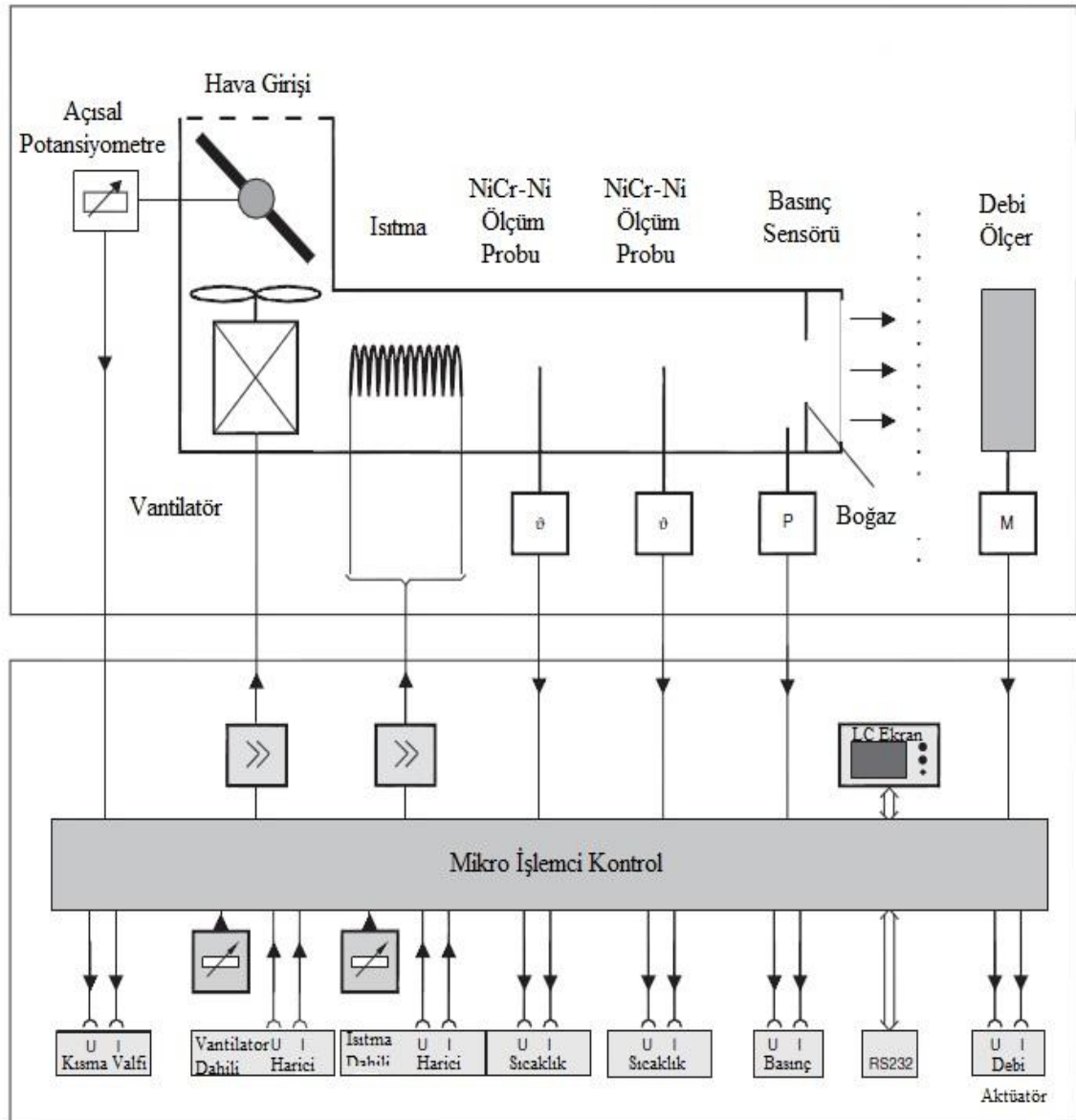
Basit kontrol döngüleri;

- Hava basınç kontrolü (sıcaklık kontrol edilmiyor)
- Isı çıkışı etkisinde hava sıcaklık kontrolü (basınç kontrol edilmiyor)

Kademeli kontrol sistemleri;

- Isı çıkışının ayarlanmasıyla hava sıcaklığının kontrol edilen değişken, basıncın kademeli kontrol edilen değişken olduğu sistem
- Hava akışının ayarlanmasıyla hava sıcaklığının kontrol edilen değişken, basıncın kademeli kontrol edilen değişken olduğu sistem

LTR 701 Kontrollü Hava Akımı ve Sıcaklık Sisteminin çalışma prensibini gösteren blok diyagramı Şekil 3.5'te gösterilmiştir;



Şekil 3.5. Hava akımı ve sıcaklık kontrol deney düzeneğinin blok diyagramı [1].

4.3. Sistemin Matematiksel Yapısı

Kontrol sistemlerinin statik ve dinamik özelliklerini matematiksel olarak tanımlamak için modellerin teorik ve deneysel formasyonları olmak üzere iki farklı metot kullanılır. Sistemde termal enerji uygulandığı zaman modelin teorik yapısı, boru içindeki sıkıştırılabilir ortamın taşınım dengeleme denklemlerini tanımlamaktadır. Sadeleştirme nedeniyle laminar akış şartları kabul edildiği zaman sonuç sıcaklık ve basıncın dağılımını tanımlayan bir kısmi diferansiyel denklem olacaktır. Yinede kısmi diferansiyel denklemin katsayılarını belirlemek problem olmaya devam edecektir. Bu sebepten dolayı kontrol sistemlerinin statik ve dinamik özelliklerini tanımlamak için deneysel analiz metodlarını kullanmak daha uygundur. Böyle bir modelin transfer fonksiyonu şu şekildedir;

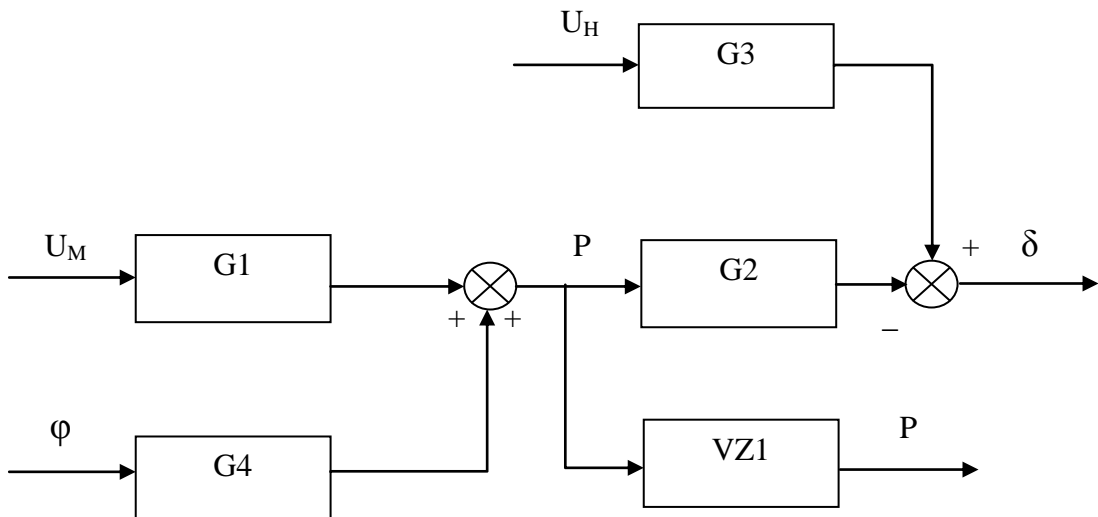
$$G(s) = e^{-T_t \cdot s} \frac{k}{T \cdot s + 1} \quad (3.1)$$

k = Kazanç faktörü

T = Zaman sabiti

T_t = Ölü zaman

Sistemin yapısı ise Şekil 3.6'te gösterilmiştir.



Şekil 3.6. Sıcaklık ve basınç kontrol deney düzeneğinin blok diyagramı.

Blok diyagramındaki değerler şu şekildedir;

U_M = Fan motorunun kontrollü değişkeni

U_H = Isıtıcının kontrollü değişkeni

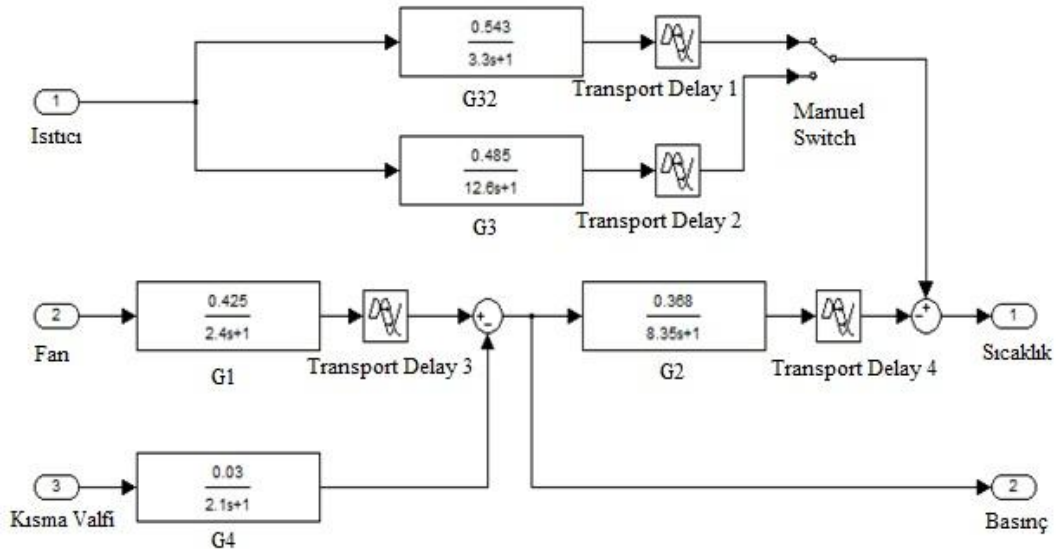
ϕ = Parazit sinyal olarak manüel ayarlanabilen kısma valfi açısı

δ = Hava sıcaklığı

P = Basınç

VZ1 = Birinci dereceden zaman gecikme elemanı

Ölçülen basınç ek olarak birinci dereceden zaman gecikme elemanı tarafından (VZ1) tarafından filtrelenir. Transfer fonksiyonları yerlerine yerleştirildiği zaman sistemin modeli Şekil 3.7’te gösterildiği gibi olur;



Şekil 3.7. Hava akımı ve sıcaklık kontrol sisteminin model yapısı.

Sistemin modelinde gösterilen transfer fonksiyonları şu şekildedir;

$G1(s)$ = Fanın basınca etkisinin transfer fonksiyonu

$G2(s)$ = Basıncın sıcaklığa etkisinin transfer fonksiyonu

$G32(s)$ = Isıtmanın sıcaklığa sensör 2’de etkisinin transfer fonksiyonu

$G33(s)$ = Isıtmanın sıcaklığa sensör 3’de etkisinin transfer fonksiyonu

$G4(s)$ = Valf ayarının basınca etkisinin transfer fonksiyonu

Bu döngünün transfer fonksiyonu;

$$\delta = (\delta_s - \delta) \cdot GR1 \cdot G3 + (U_M \cdot G1 + \varphi \cdot G4) \cdot G2 \quad (3.6)$$

$$\delta + \delta \cdot GR1 \cdot G3 = \delta_s \cdot GR1 \cdot G3 + U_M \cdot G1 \cdot G2 + \varphi \cdot G4 \cdot G2 \quad (3.7)$$

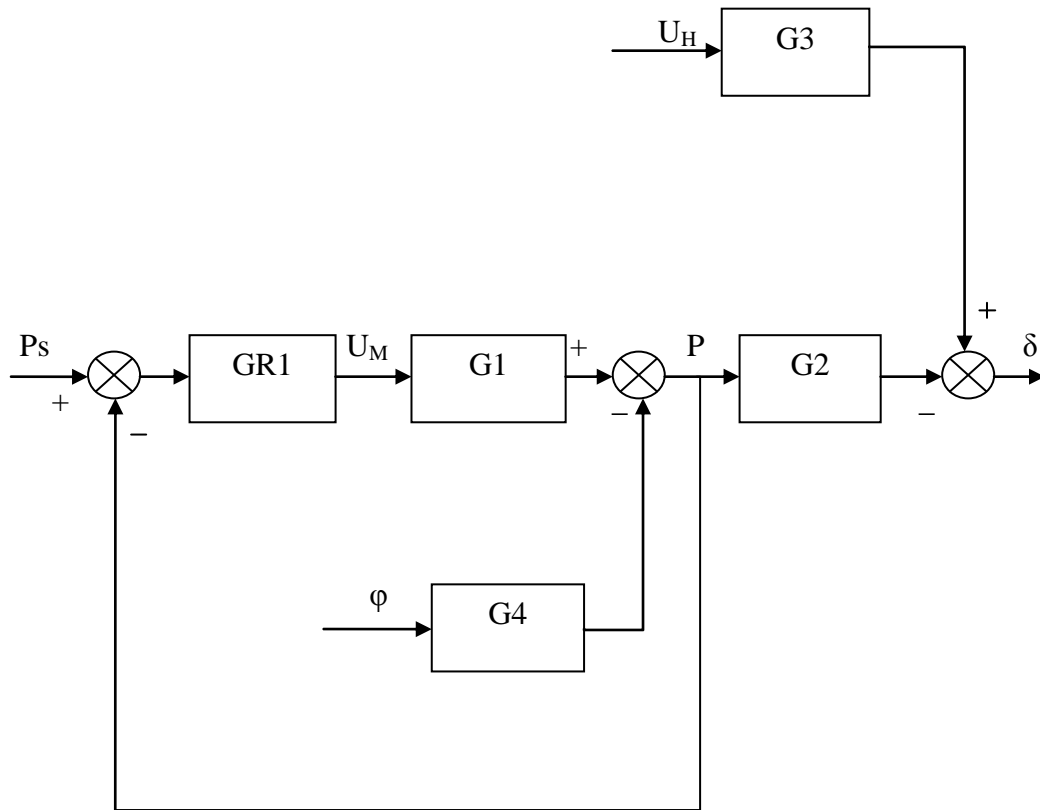
$$\frac{\delta}{\delta_s} = \frac{GR1 \cdot G3 + G2 \cdot (U_M \cdot G1 + \varphi \cdot G4)}{1 + GR1 \cdot G3 + G2 \cdot (U_M \cdot G1 + \varphi \cdot G4)} \quad (3.8)$$

Burada;

GR1 = Kontrol elemanı'dır.

3.4.2. Basınç Kontrol Döngüsü

Bu döngüde sıcaklık kontrolsüz olup kontrolör sadece basınç kontrolü yapmaktadır. Sistemde bu basınç döngüsünün kontrolü PI kontrol elemanı ile sağlanabilmektedir. Bu döngünün blok diyagramı ve transfer fonksiyonu aşağıdaki gibidir;



Şekil 3.9. Basınç kontrol döngüsünün blok diyagramı.

Bu döngünün transfer fonksiyonu;

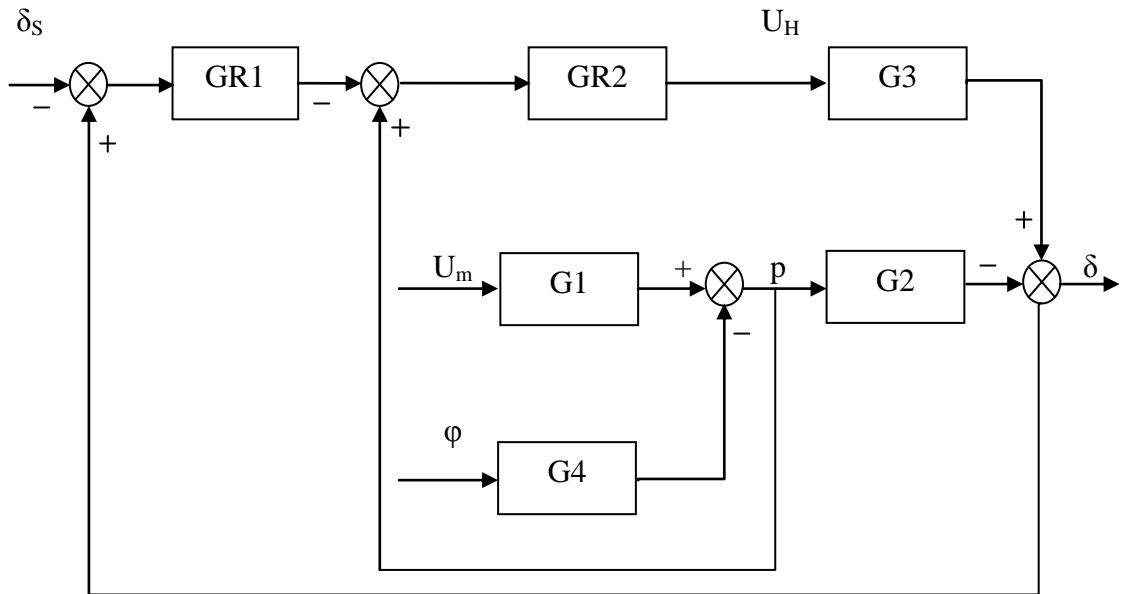
$$P = (P_S - P) \cdot (GR1 \cdot G1 + \varphi \cdot G4) \quad (3.9)$$

$$P = P_S \cdot GR1 \cdot G1 + \varphi \cdot G4 \cdot P_S - P \cdot GR1 \cdot G1 - P \cdot \varphi \cdot G4 \quad (3.10)$$

$$\frac{P}{P_S} = \frac{GR1 \cdot G1 + \varphi \cdot G4}{1 + GR1 \cdot G1 + \varphi \cdot G4} \quad (3.11)$$

3.4.3. Kademeli Sıcaklık Kontrol Döngüsü (Isıtıcı Kontrollü)

Bu döngüde sıcaklık dış kontrol döngüsünün (ana kontrol elemanı GR1) kontrollü değişkeni iken basınç kademeli kontrol döngüsünün (ikincil kontrol elemanı GR2) kontrollü değişkendir. Bu konumda ısıtıcı, ikincil kontrol elemanı tarafından aktive edilirken fan ise sabit bir değere ayarlanmaktadır. Sistemde bu döngünün ana kontrolörü PI kontrol elemanı, ikincil kontrolörü ise P kontrol elemanıdır. Bu döngünün blok diyagramı aşağıdaki gibidir;



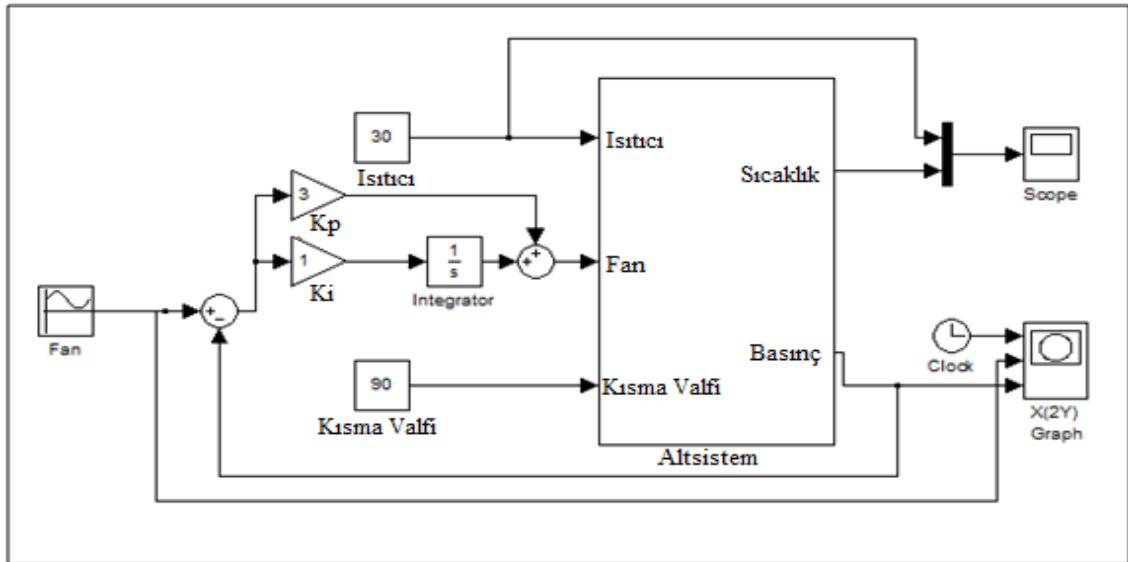
Şekil 3.10. Kademeli sıcaklık kontrol döngüsü (ısıtıcı kontrollü) blok diyagramı.

3.4.4. Kademeli Sıcaklık Kontrol Döngüsü (Fan Kontrollü)

Bu döngüde sıcaklık dış kontrol döngüsünün (ana kontrol elemanı GR1) kontrollü değişkeni iken, basınç kademeli kontrol döngüsünün (ikincil kontrol elemanı GR2) kontrollü değişkendir. Bu konumda fan hızı, ikincil kontrol elemanı tarafından aktive

3.5.1. PI Basınç Kontrolünün SİMULİNK'te Tasarlanması

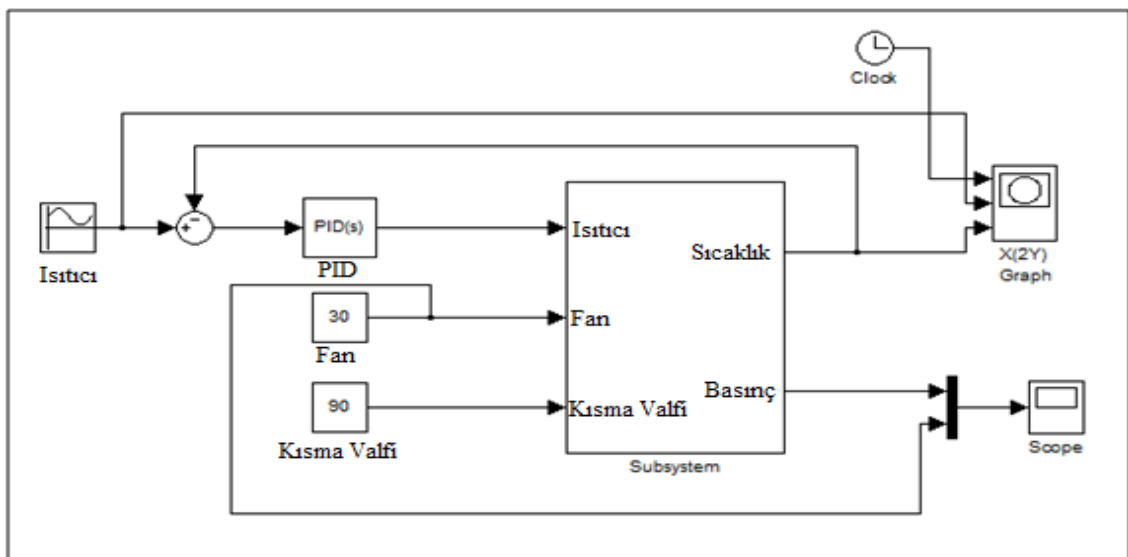
Bu kontrol döngüsünün tasarlanmasında, sistemin modeli bir altsistemde oluşturulmuştur. Sistemde basınç kontrolü PI kontrol elemanı ile sağlanmaktadır. PI basınç kontrolünün SİMULİNK'teki modeli şu şekildedir;



Şekil 3.12. PI basınç kontrolünün SİMULİNK'teki modeli.

3.5.2. PID Sıcaklık Kontrolünün SİMULİNK'te Tasarlanması

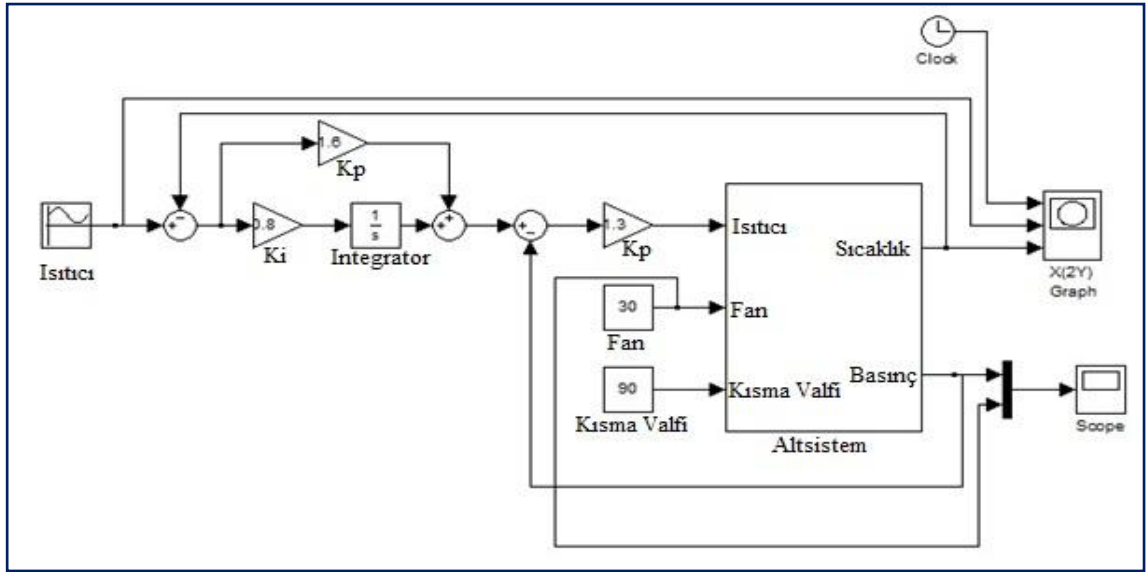
Bu kontrol döngüsünde sıcaklık kontrolü yapılmakta ve kontrol elemanı olarak PID kontrol elemanı kullanılmaktadır. PID sıcaklık kontrolünün SİMULİNK'teki modeli Şekil 3.13'te olduğu gibidir;



Şekil 3.13. PID sıcaklık kontrolünün SİMULİNK'teki modeli.

3.5.3. Isıtıcı Kontrollü Kademeli Sıcaklık Kontrolünün SİMULİNK'te Tasarlanması

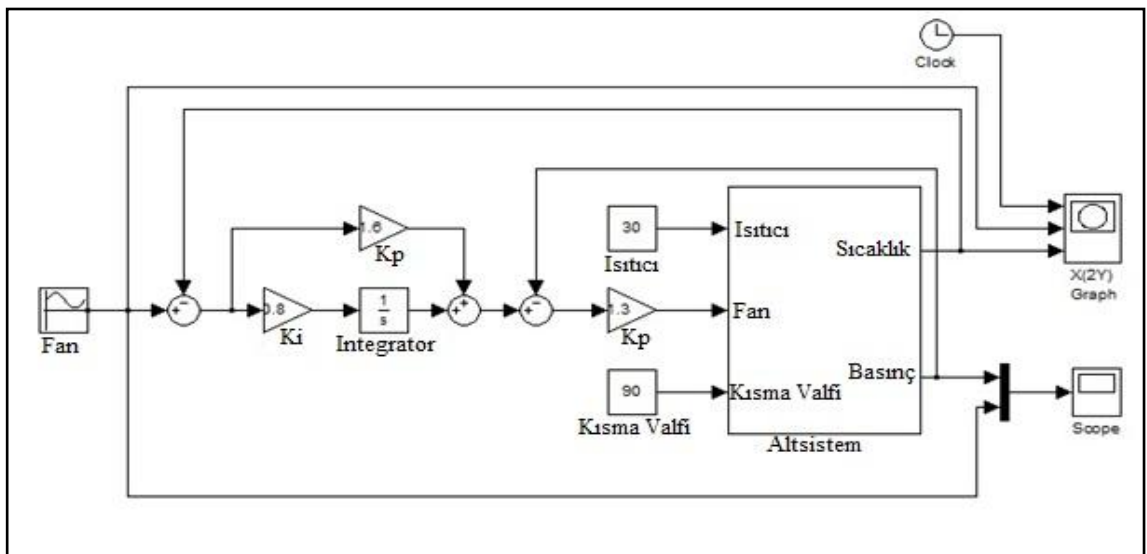
Bu kontrol döngüsünde sıcaklık kontrolü iki ayrı kontrol elemanı ile ısıtıcının kontrolü üzerinden sağlanmakta olup ana kontrol elemanı PI, ikincil kontrol elemanı ise P'dir. Kademeli sıcaklık kontrolünün (ısıtıcı kontrollü) SİMULİNK modeli şu şekildedir;



Şekil 3.14. Kademeli sıcaklık kontrolünün (ısıtıcı kontrollü) SİMULİNK'teki modeli.

3.5.4. Fan Kontrollü Kademeli Sıcaklık Kontrolünün SİMULİNK'te Tasarlanması

Bu kontrol döngüsünde sıcaklık kontrolü yine iki ayrı kontrol elemanı ile fakat fanın kontrolü üzerinden sağlanmakta olup ana kontrol elemanı PI, ikincil kontrol elemanı ise P'dir. Kademeli sıcaklık kontrolünün (fan kontrollü) SİMULİNK modeli şu şekildedir;



Şekil 3.15. Kademeli sıcaklık kontrolü (fan kontrollü) SİMULİNK modeli.

4. BÖLÜM

DENEY VE SİMÜLASYON SONUÇLARI

4.1. Giriş

LTR 701 kontrollü hava akımı ve sıcaklık sisteminde, hava giriş açısının 90° ve 45° olduğu iki ayrı kategoride farklı kontrol elemanlarıyla basınç ve sıcaklık kontrol deneyleri yapılmıştır. Basınç kontrolü, PI kontrol elemanı ile 30 ± 5 N/m² basınç değerinde sinüs sinyali girişini kontrol etmek şeklinde gerçekleştirilmiştir. Sıcaklık kontrolünde ise yine iki ayrı kategoride beş farklı kontrol sistemi ile kontrol gerçekleştirilmiştir. Bu kontrol sistemleri, P, PI, PID kontrol elemanı ile sıcaklık kontrolü, sabit basınç altında ısıtıcının kontrolüyle kademeli sıcaklık kontrolü ve sabit ısıtma altında fanın kontrolüyle kademeli sıcaklık kontrolü şeklindedir. Her iki kademeli kontrol şeklinde de PI ve P kontrol elemanları birincil ve ikincil kontrol elemanları olarak kullanılmıştır. Sıcaklık kontrolünde sıcaklık, 30 ± 5 °C değerinde sinüs sinyali olarak girilmiştir. Ayrıca deney sisteminde gerçekleştirilen sıcaklık ve basınç deneylerinin simülasyonları, Matlab-SİMULİNK'te oluşturulan modellerden elde edilmiştir.

4.2. P, PI, ve PID Kontrol Elemanları ile Deneysel Sıcaklık Kontrolü

Deney sisteminde, manüel olarak belirlenen K_p , K_i , ve K_d parametreleri kullanılarak P, PI ve PID sıcaklık kontrolleri yapılmıştır. Kullanılan parametreler;

$$K_p = 60.000$$

$$K_i = 45.880$$

$$K_d = 25.940$$

şeklinde belirlenmiştir.

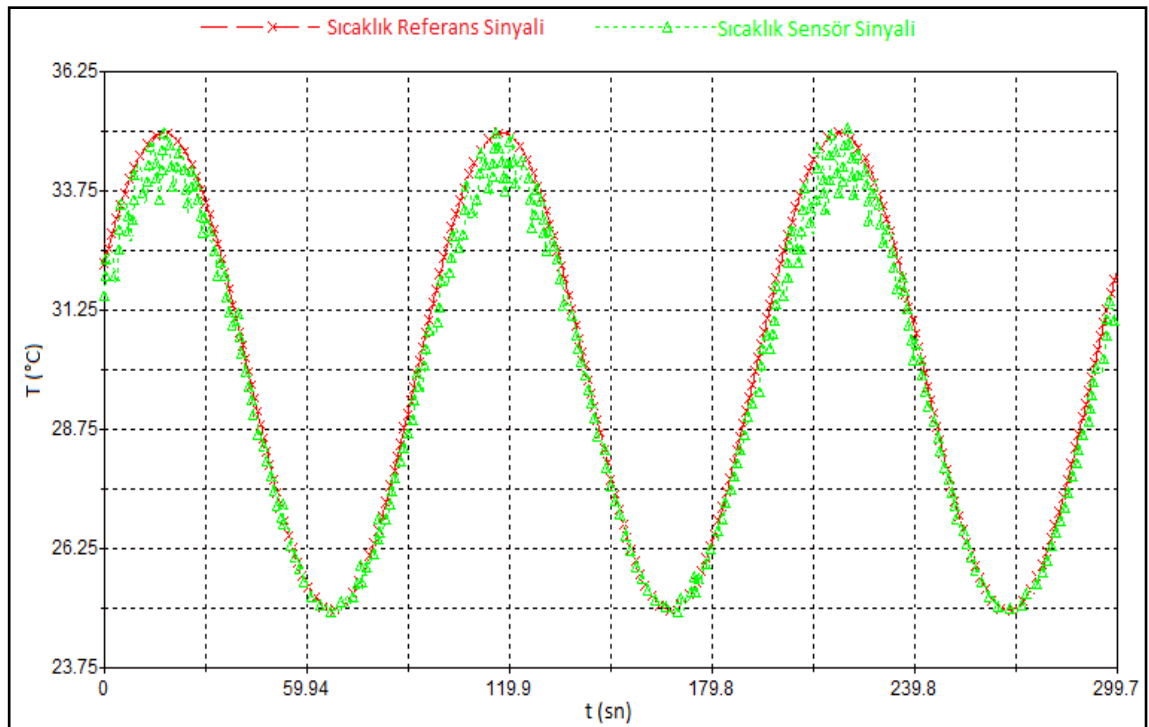
Şekil 4.1’de görüldüğü gibi P kontrolde sistem çok kısa sürede istenilen cevabı yakalamakta ancak tepe noktalarında salınımlar görülmektedir. PI kontrolde integral etkinin, cevabın yerleşme zamanını, salınımları ve maksimum aşma miktarını arttırdığı Şekil 4.2’de görülmektedir. PID kontrolde ise türevsel etki maksimum aşma miktarını ve salınımları azaltmakta ancak yerleşme zamanını artırmaktadır. Sistemin PID sıcaklık kontrolüne cevabı da Şekil 4.3’te gösterilmiştir. PID kontrolde parametreleri,

$$K_p = 80.000$$

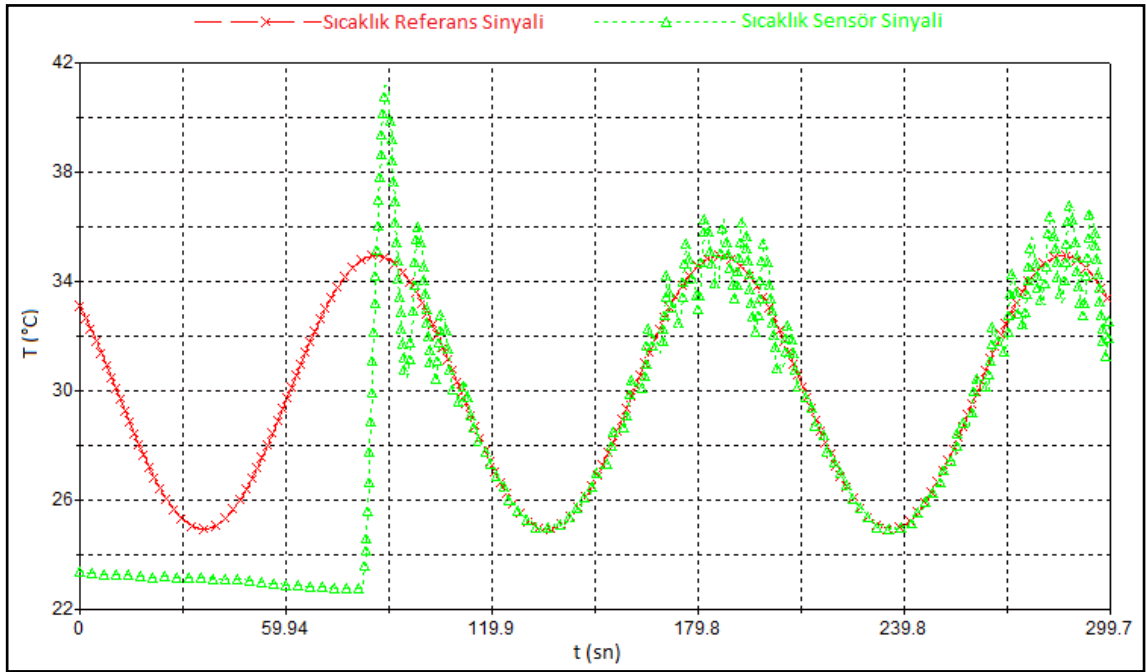
$$K_i = 60.000$$

$$K_d = 55.000$$

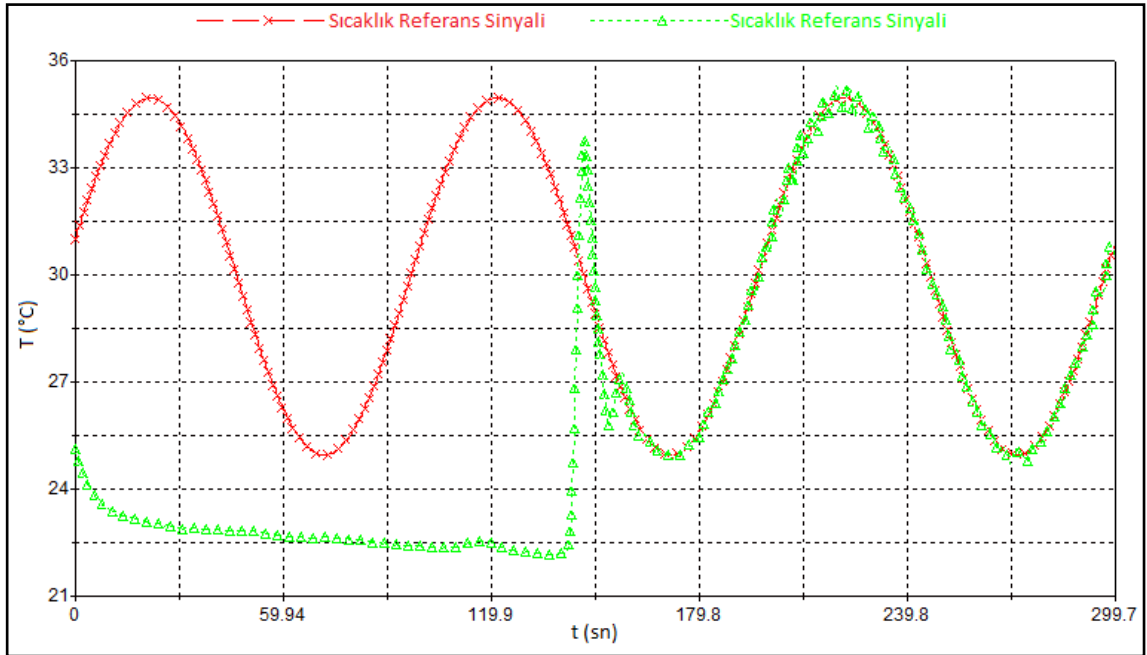
aldığımız zaman artan K_d değerine bağlı olarak maksimum aşma miktarının ve yerleşme zamanının azaldığını Şekil 4.4’te görmekteyiz.



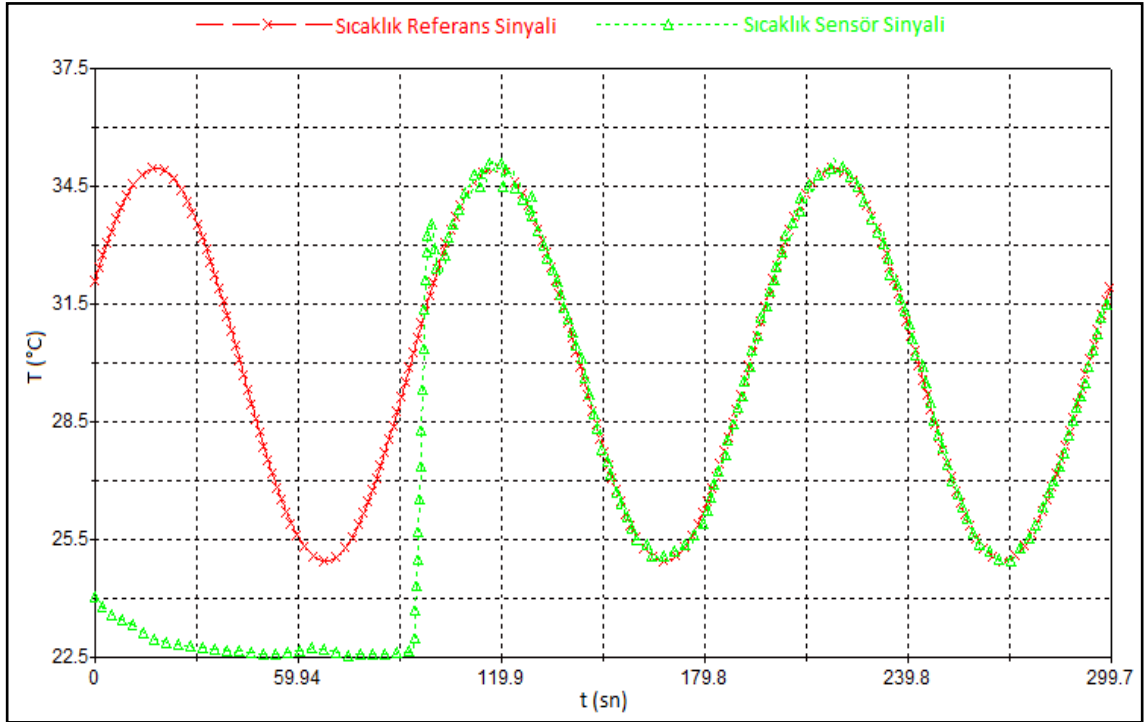
Şekil 4.1. Hava akımı ve sıcaklık sisteminin P denetim organı ile sıcaklık kontrolünde sinüs giriş sinyaline verdiği cevabın değişimi ($K_p = 60.000$).



Şekil 4.2. Hava akımı ve sıcaklık sisteminin PI denetim organı ile sıcaklık kontrolünde sinüs giriş sinyaline cevabın değişimi ($K_p = 60.000$, $K_i = 45.880$).



Şekil 4.3. Hava akımı ve sıcaklık sisteminin PID denetim organı ile sıcaklık kontrolünde sinüs giriş sinyaline cevabın değişimi ($K_p = 60.000$, $K_i = 45.880$, $K_d = 25.940$).



Şekil 4.4. Hava akımı ve sıcaklık sisteminin PID denetim organı ile sıcaklık kontrolünde sinüs giriş sinyaline verdiği cevabın değişimi ($K_p = 80.000$, $K_i = 60.000$, $K_d = 55.000$).

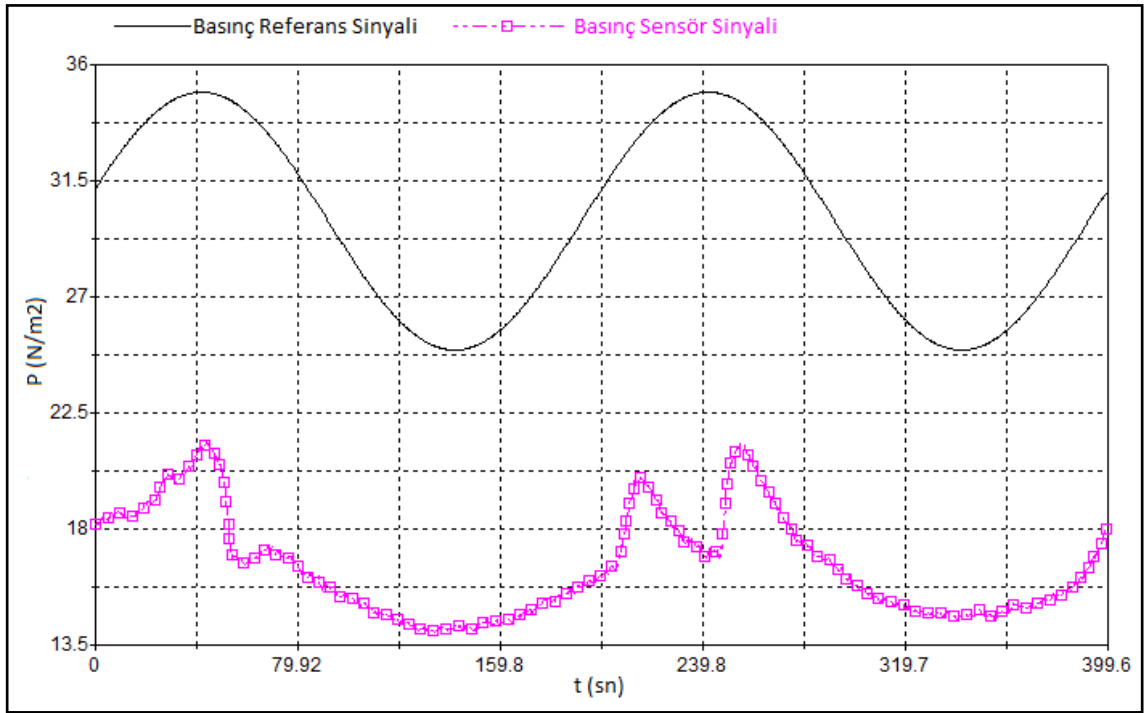
4.3. P, ve PI Kontrol Elemanları ile Deneysel Basınç Kontrolü

Deney sisteminde, manüel olarak belirlenen K_p ve K_i parametreleri kullanılarak P ve PI basınç kontrolleri yapılmıştır. Kullanılan parametreler;

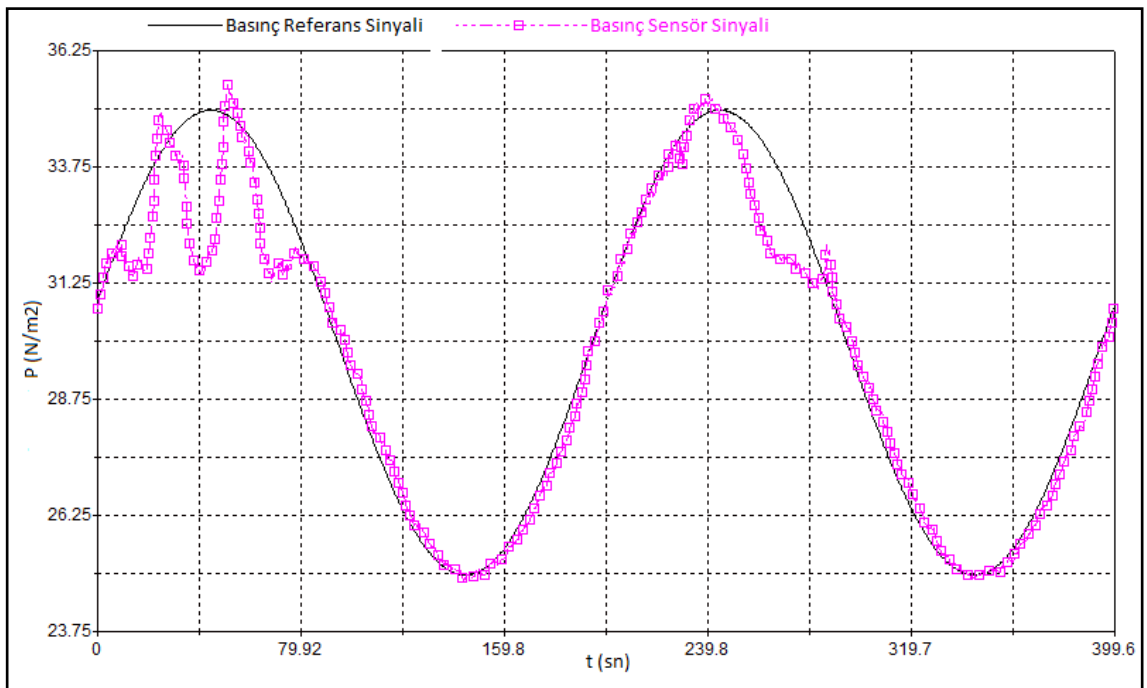
$$K_p = 60.500$$

$$K_i = 45.600$$

Şeklinde belirlenmiştir. Şekil 4.5'te P basınç kontrolünde sistemin istenilen değeri yakalayamadığı, tepe noktalarında ani düşmelerin meydana geldiği görülmektedir. PI kontrolde ise sistemin istenilen değeri iyi bir şekilde takip ettiği, tepe noktalarında düşüşlerin olduğu, kontrolün yerleşme zamanının çok düşük olduğu Şekil 4.6'da görülmektedir. Basınç kontrolünde gürültüye neden olduğu için türevsel kontrol yapılmamıştır.



Şekil 4.5. Hava akımı ve sıcaklık sisteminin P denetim organı ile basınç kontrolünde sinüs giriş sinyaline verdiği cevabın değişimi ($K_p = 60.500$).



Şekil 4.6. Hava akımı ve sıcaklık sisteminin PI denetim organı ile basınç kontrolünde sinüs giriş sinyaline verdiği cevabın değişimi ($K_p = 60.500$, $K_i = 45.600$).

4.4. Kademeli Kontrol İle Deneysel Sıcaklık Kontrolü (Isıtıcı Kontrollü)

Sabit basınçta ısıtıcı kontrollü sıcaklık kontrolünde, sıcaklık dış kontrol döngüsünün kontrollü değişkeni iken basınç kademeli kontrol döngüsünün kontrollü değişkenidir. Bu konumda ısıtıcı, ikincil kontrol elemanı tarafından aktive edilirken fan ise sabit olarak ayarlanmaktadır. Sistemde bu döngünün ana kontrolörü PI kontrol elemanı, ikincil kontrolörü ise P kontrol elemanıdır. Sabit basınçta kademeli sıcaklık kontrolde birincil kontrol elemanının parametreleri,

$$K_p = 30.900$$

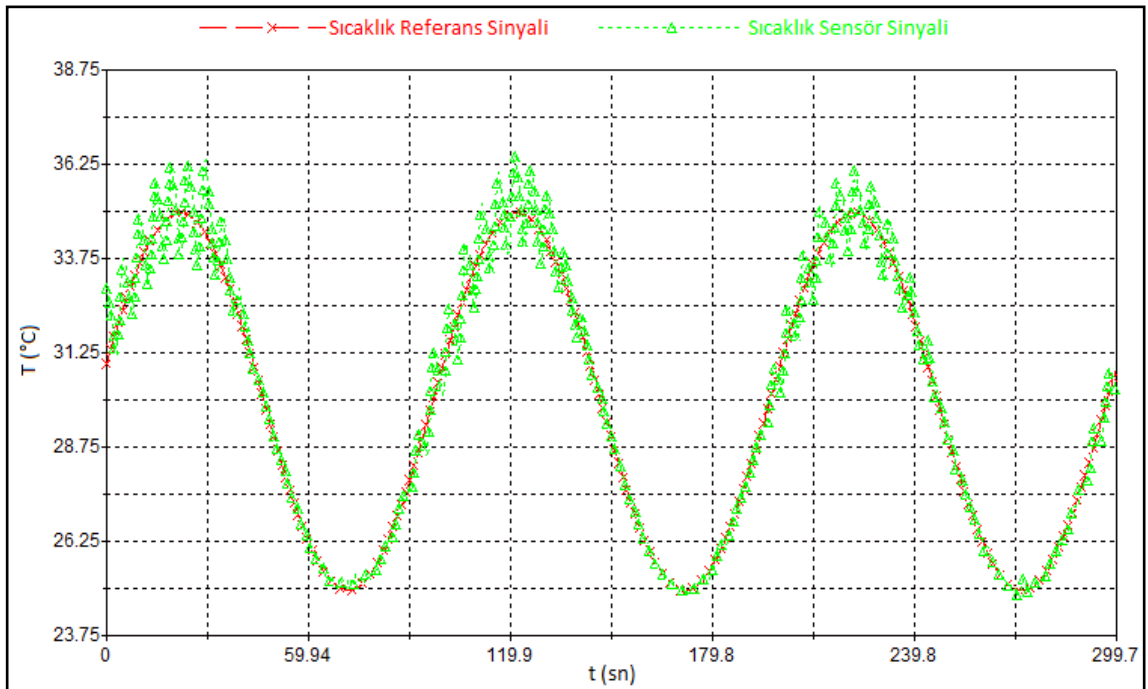
$$K_i = 15.660$$

olarak, ikincil kontrol elemanının parametresi ise sırasıyla

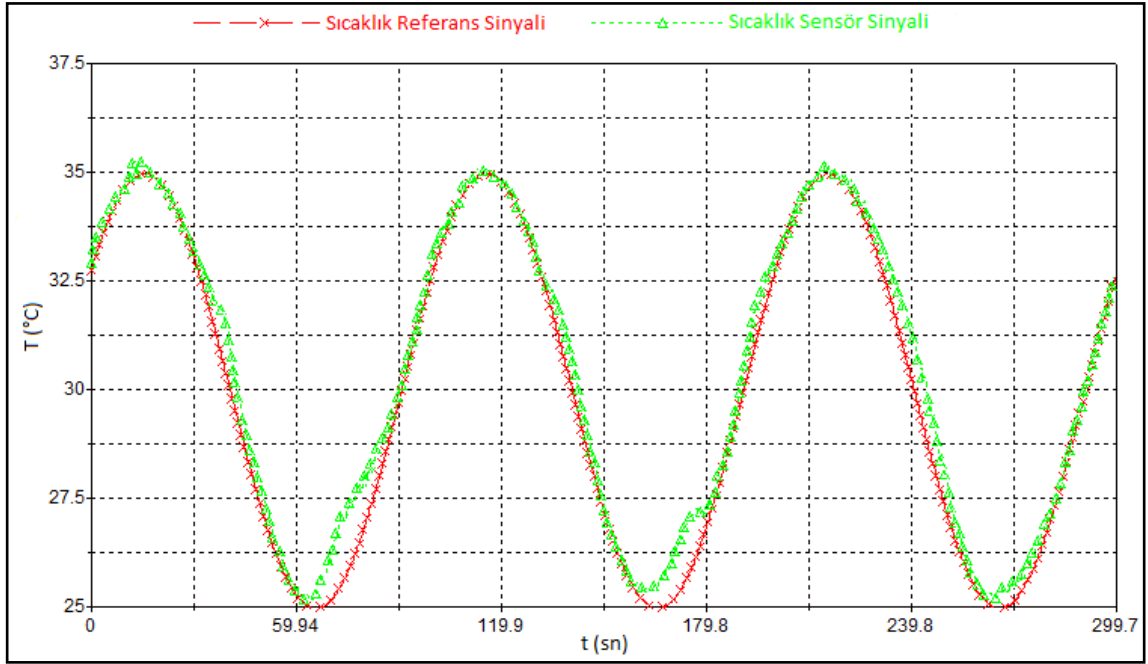
$$K = 1.750$$

$$K = 50.750$$

olarak belirlendiği zaman, yapılan deneylerde yerleşme zamanının düşük olduğu, meydana gelen salınımların ikincil kontrol elemanının değerinin artırılmasıyla minimuma indiği görülmüştür (Şekil 4.6 ve Şekil 4.7).



Şekil 4.7. Hava akımı ve sıcaklık sisteminin sabit basınçta kademeli sıcaklık kontrolünde sinüs giriş sinyaline cevabın değişimi ($K_p=30.900$ $K_i = 15.660$ $K = 1.750$).



Şekil 4.8. Hava akımı ve sıcaklık sisteminin sabit basınçta kademeli Sıcaklık kontrolünde sinüs giriş sinyaline cevabın değişimi ($K_p = 30.900$, $K_i = 15.660$, $K = 50.750$).

4.5. Kademeli Kontrol İle Deneysel Sıcaklık Kontrolü (Fan Kontrollü)

Sabit ısıtıcı değerinde fan kontrollü sıcaklık kontrolünde dış kontrol döngüsünün kontrollü değişkeni iken basınç kademeli kontrol döngüsünün kontrollü değişkenidir. Bu kontrolde fan hızı, ikincil kontrol elemanı tarafından aktive edilirken ısıtıcı ise sabit olarak ayarlanmaktadır. Aynı şekilde sistemde bu döngünün ana kontrolörü PI kontrol elemanı, ikincil kontrolörü ise P kontrol elemanıdır. Sabit ısıtıcı değerinde kademeli sıcaklık kontrolde birincil kontrol elemanının parametreleri,

$$K_p = 64.400$$

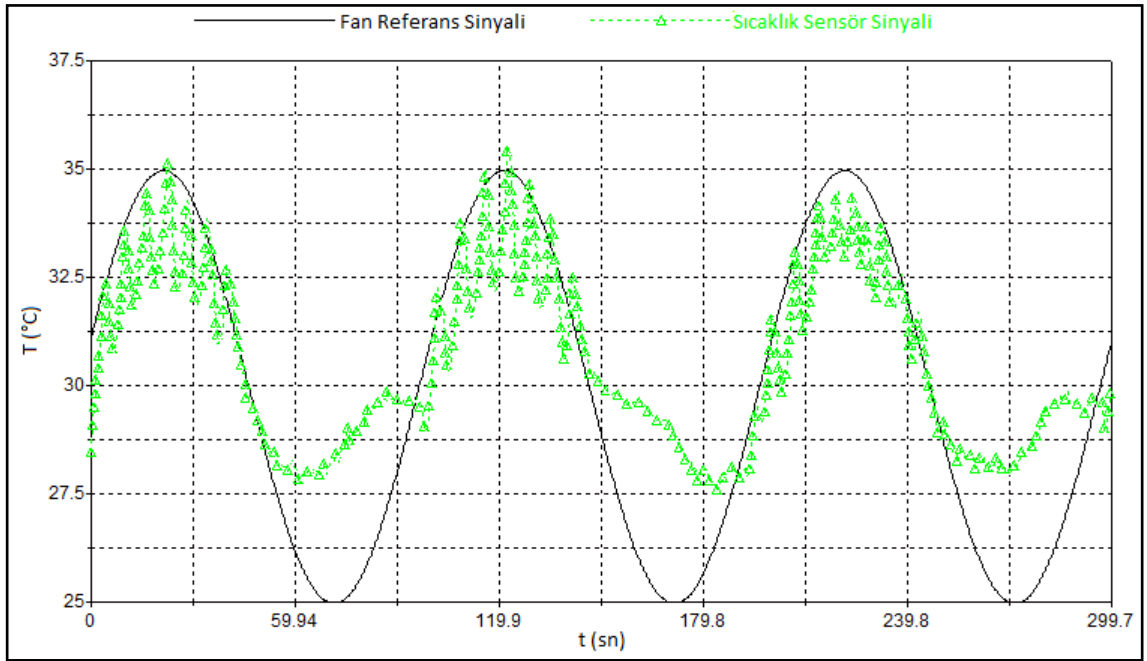
$$K_i = 41.500$$

olarak, ikincil kontrol elemanının parametresi ise sırasıyla

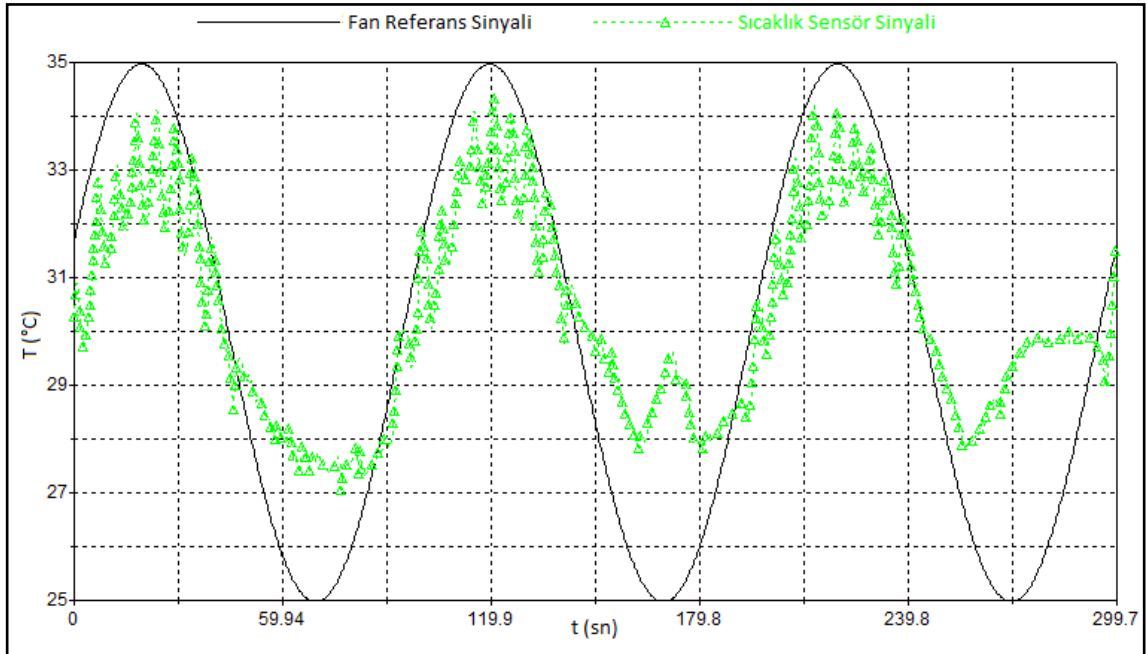
$$K = 7.750$$

$$K = 30.750$$

olarak belirlendiği zaman, yapılan deneylerde sıcaklık kontrolünün tam olarak sağlanamadığı, yerleşme zamanının düşük olmasına rağmen salınımın çok olduğu ve ikincil kontrol elemanının değerinin artırılmasına rağmen önceki kademeli kontrole göre iyileşme sağlamadığı görülmüştür. (Şekil 4.9 ve Şekil 4.10).



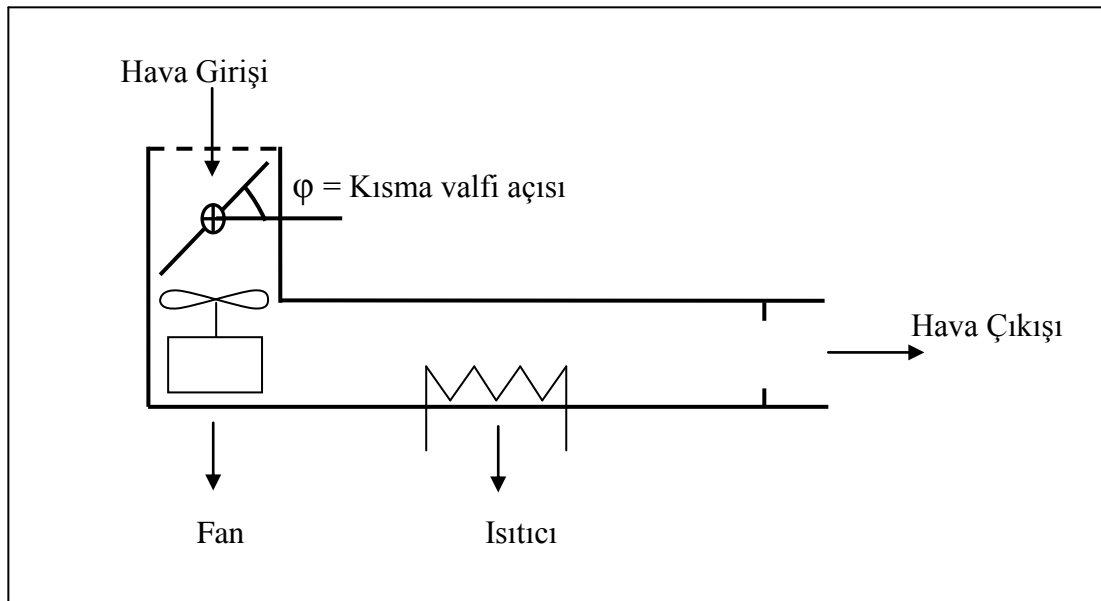
Şekil 4.9. Hava akımı ve sıcaklık sisteminin sabit ısıtıcı değerinde kademeli Sıcaklık kontrolünde sinüs giriş sinyaline cevabın değişimi ($K_p = 64.400$, $K_i = 41.500$, $K = 7.750$).



Şekil 4.10. Hava akımı ve sıcaklık sisteminin sabit ısıtıcı değerinde kademeli sıcaklık kontrolünde sinüs giriş sinyaline cevabın değişimi ($K_p = 64.40$, $K_i = 41.500$, $K = 30.750$).

4.6. Sıcaklık ve Basınç Kontrollerinde Hava Giriş Açısının Kontrole Etkisi

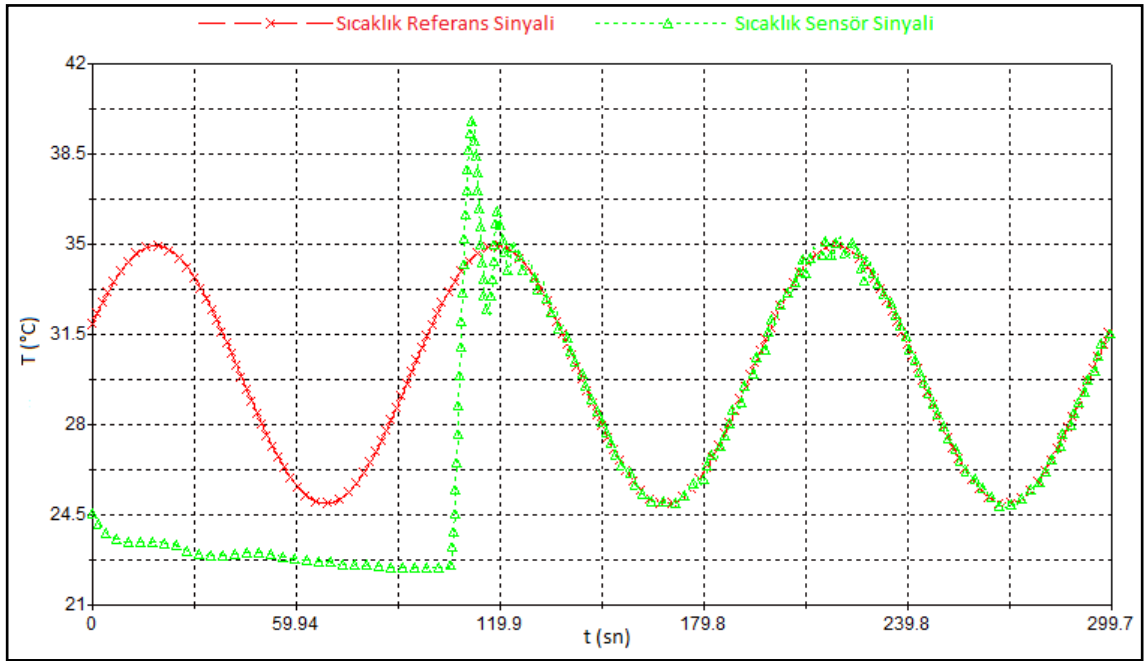
Hava akımı ve sıcaklık sisteminde yukarıda yapılan bütün deneylerde hava girişinde bulunan kısma valfi tam açık tutulmuş ($\varphi = 90^\circ$) ve deneyler öyle gerçekleştirilmiştir. Kısma valfi açısı $\varphi = 45^\circ$ ye düşürülmüş ve sistemde yapılan kontrollerin bu bozucu etkiye nasıl cevap verdiği gözlenmiştir. Şekil 4.11’de valf açısının konumu görülmektedir.



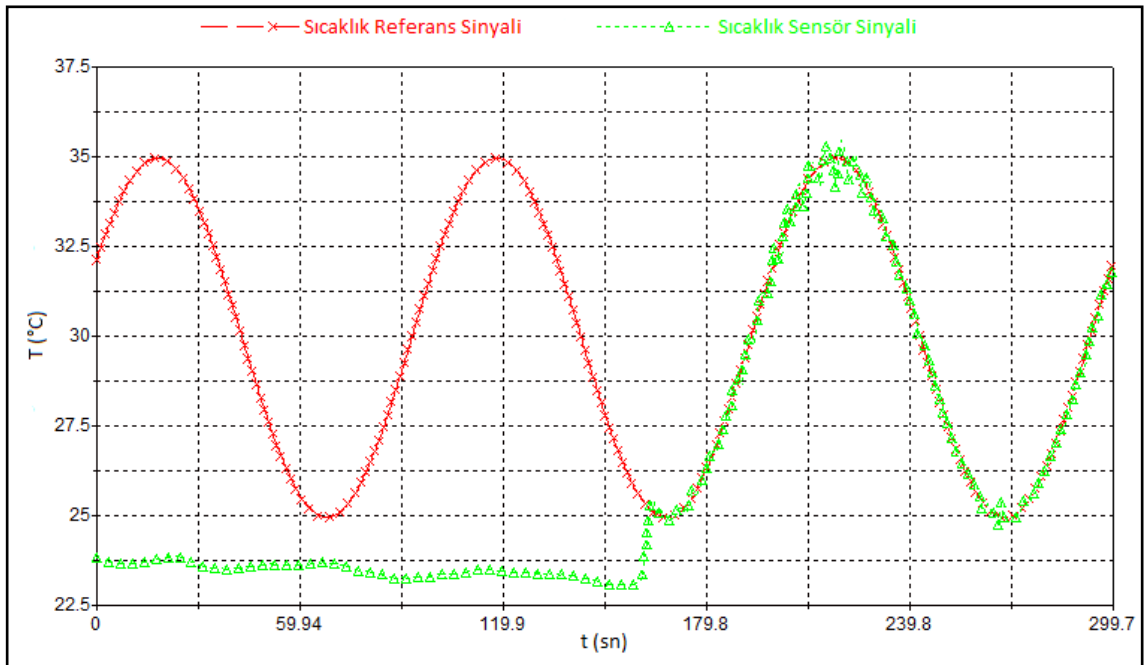
Şekil 4.11. Hava akımı ve sıcaklık sisteminin hava akış yolu.

Sistemden alınan kontrol sonuçları incelendiği zaman, bozucu etkinin yani hava giriş açısının 45° ‘ye düşürülmesinin,

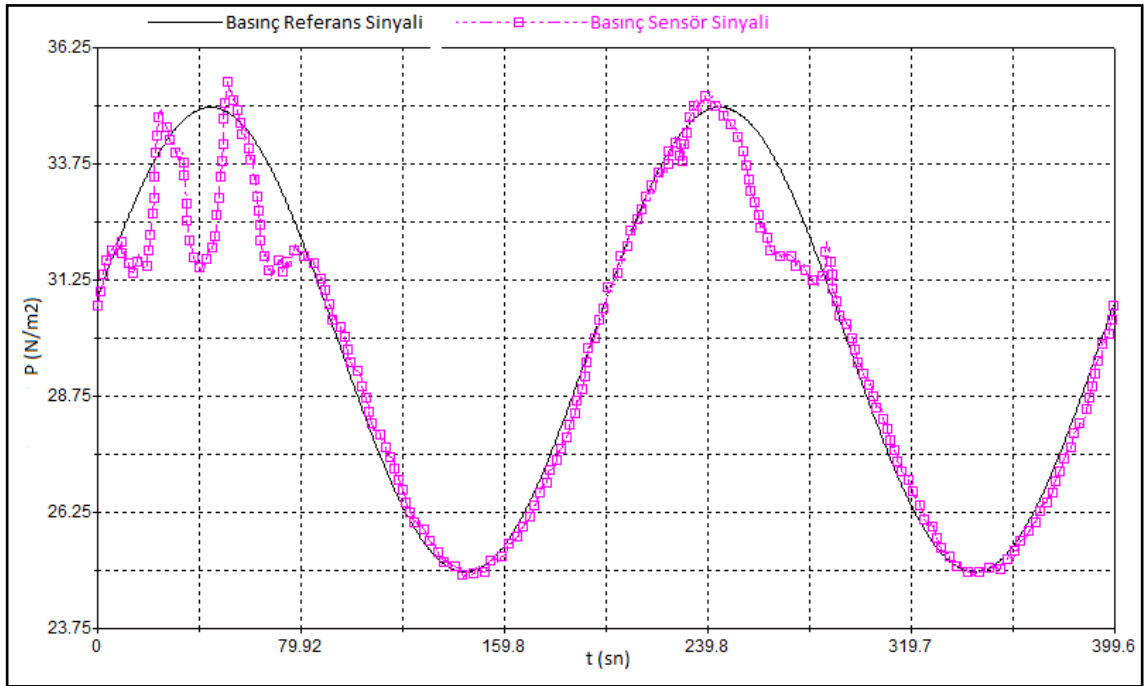
- PID sıcaklık kontrolünde yerleştirme zamanını arttırdığı ve salınımlara neden olduğu,
- PI basınç kontrolünde kontrolü tamamen bozduğu ve kalıcı hataya neden olduğu,
- Sabit basınçta kademeli sıcaklık kontrolünde yerleşme zamanına etki etmediği ve çok az salınıma neden olduğu,
- Sabit ısıtıcıli kademeli sıcaklık kontrolünde ise salınımlarda artışa neden olduğu ve kontrolün sinüs dalgasının alt değerlerini yakalayamadığı görülmüştür.



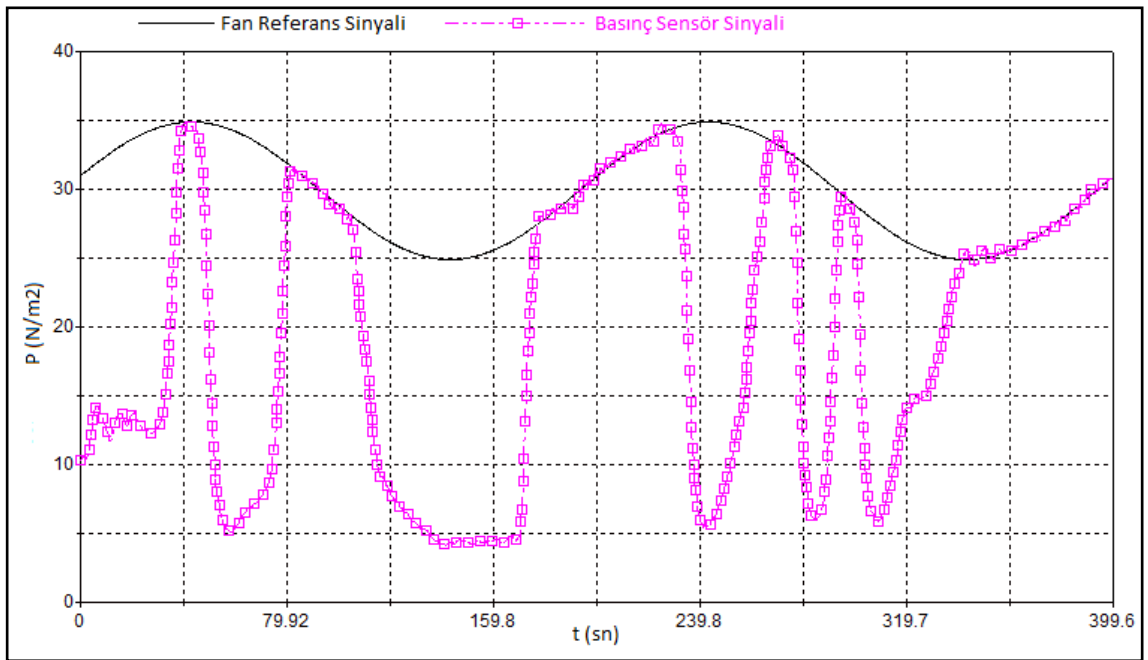
Şekil 4.12. Hava akımı ve sıcaklık sisteminin PID denetim organı ile sıcaklık kontrolünde sinüs giriş sinyaline verdiği cevabın değişimi ($K_p = 60.000$, $K_i = 50.880$, $K_d = 25.940$, $\varphi = 90^\circ$).



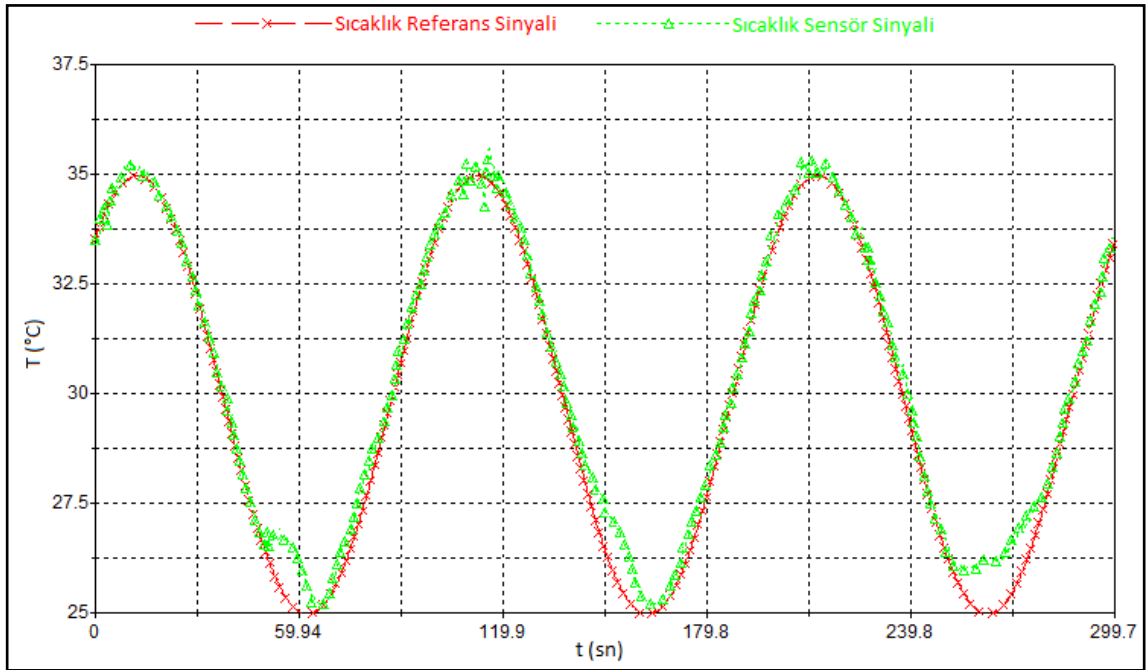
Şekil 4.13. Hava akımı ve sıcaklık sisteminin PID denetim organı ile sıcaklık kontrolünde sinüs giriş sinyaline verdiği cevabın değişimi ($K_p = 60.000$, $K_i = 50.880$, $K_d = 25.940$, $\varphi = 45^\circ$).



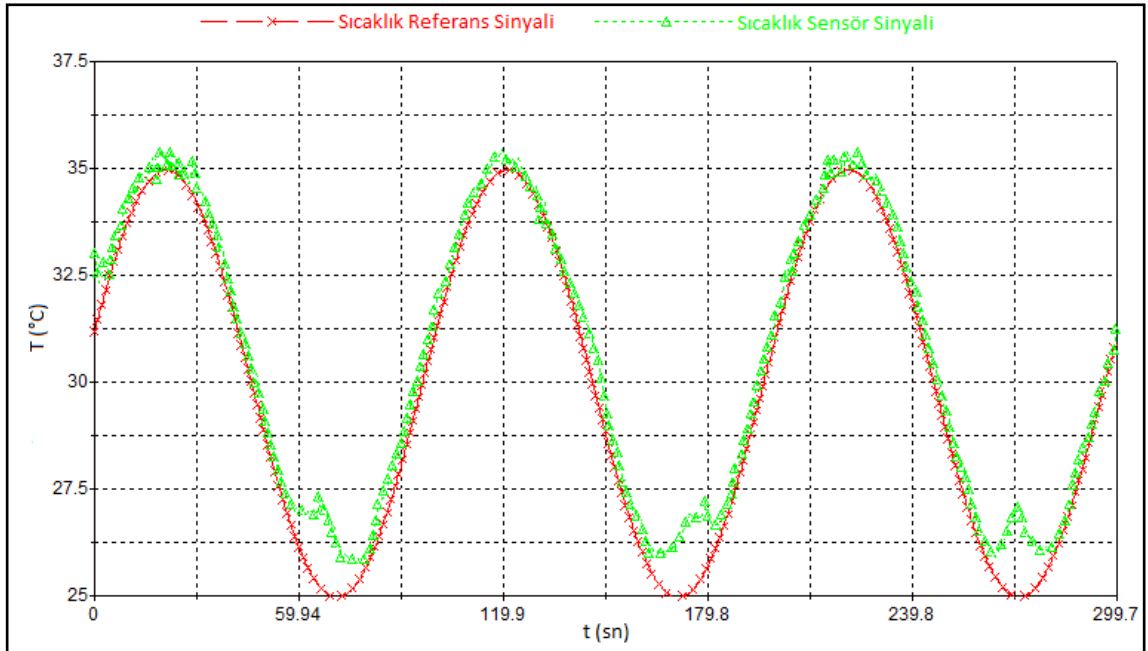
Şekil 4.14. Hava akımı ve sıcaklık sisteminin PI denetim organı ile basınç kontrolünde sinüs giriş sinyaline verdiği cevabın değişimi ($K_p = 60.500$, $K_i = 45.600$, $\varphi = 90^\circ$).



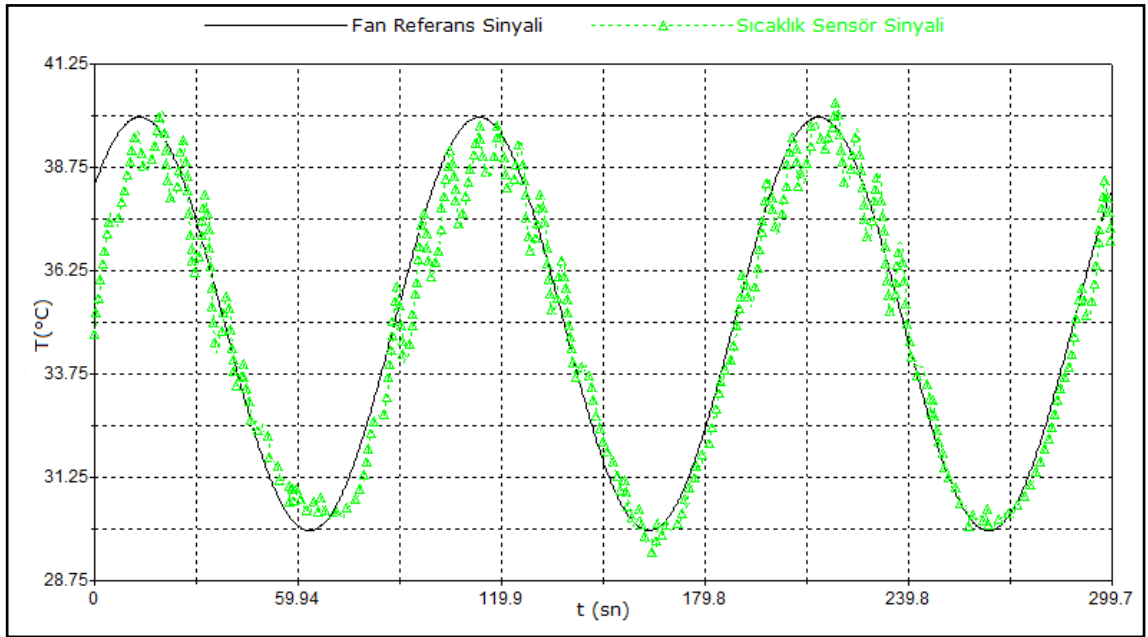
Şekil 4.15. Hava akımı ve sıcaklık sisteminin PI denetim organı ile basınç kontrolünde sinüs giriş sinyaline verdiği cevabın değişimi ($K_p = 60.500$, $K_i = 45.600$, $\varphi = 45^\circ$).



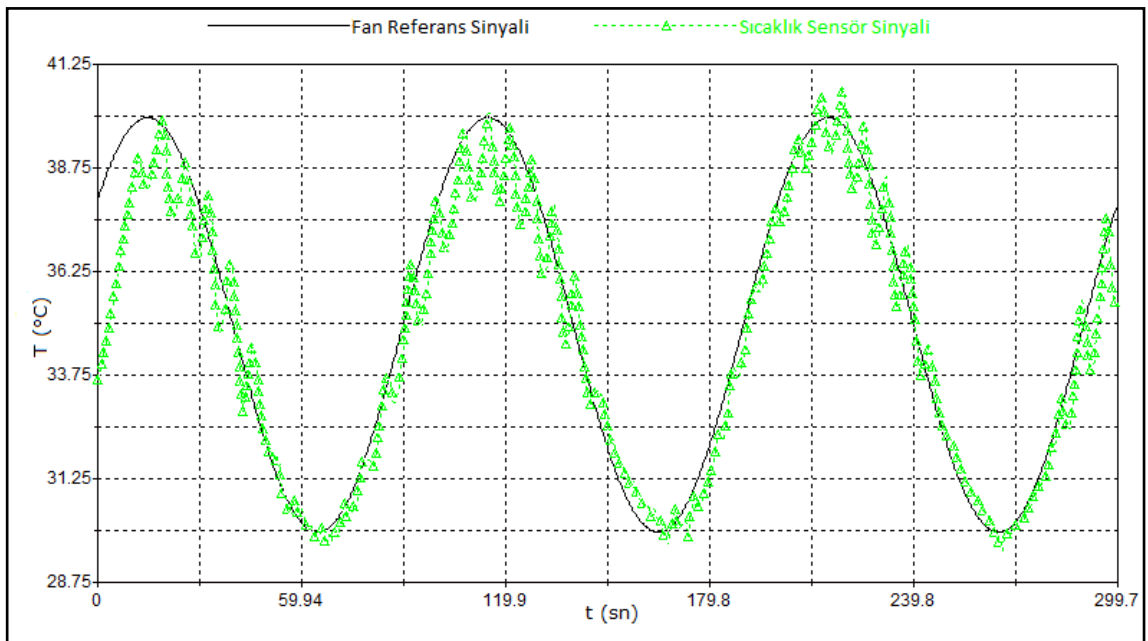
Şekil 4.16. Hava akımı ve sıcaklık sisteminin sabit basınçta kademeli sıcaklık kontrolünde sinüs giriş sinyaline verdiği cevabın değişimi ($K_p=30.900$, $K_i=15.660$, $K=20.750$, $\varphi=90^\circ$).



Şekil 4.17. Hava akımı ve sıcaklık sisteminin sabit basınçta kademeli sıcaklık kontrolünde sinüs giriş sinyaline verdiği cevabın değişimi ($K_p=30.900$, $K_i=15.660$, $K=20.750$, $\varphi=45^\circ$).



Şekil 4.18. Hava akımı ve sıcaklık sisteminin sabit ısıtıcı değerinde kademeli sıcaklık kontrolünde sinüs giriş sinyaline verdiği cevabın değişimi ($K_p = 14.400$, $K_i = 1.500$, $K = 1.750$, $\varphi = 90^\circ$).



Şekil 4.19. Hava akımı ve sıcaklık sisteminin sabit ısıtıcı değerinde kademeli sıcaklık kontrolünde sinüs giriş sinyaline verdiği cevabın değişimi ($K_p = 14.40$, $K_i = 1.500$, $K = 1.750$, $\varphi = 45^\circ$).

4.7. Deneysel Sıcaklık Kontrolü İle Simülasyon Sonuçlarının Karşılaştırılması

Hava akımı ve sıcaklık sisteminin MATLAB-Simulink'te oluşturulan modelinde, deney sisteminde yapılan sıcaklık kontrol deneylerinin simülasyonları yapılmış ve yukarıda verilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Deney sisteminde olduğu gibi manüel olarak belirlenen K_p , K_i , ve K_d parametreleri kullanılarak P, PI ve PID sıcaklık kontrolleri yapılmıştır. Kullanılan parametreler;

$$K_p = 3.371$$

$$K_i = 2.748$$

$$K_d = 1.799$$

şeklinde belirlenmiştir. Deney düzeneğinde kullanılan parametreler ise;

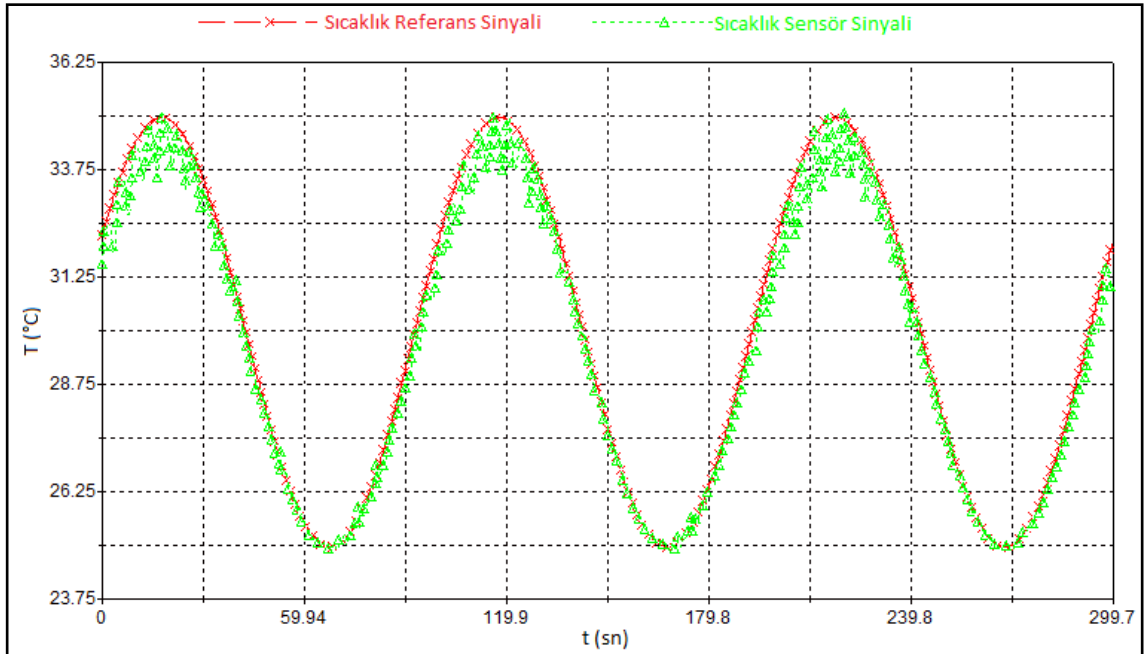
$$K_p = 60.000$$

$$K_i = 45.880$$

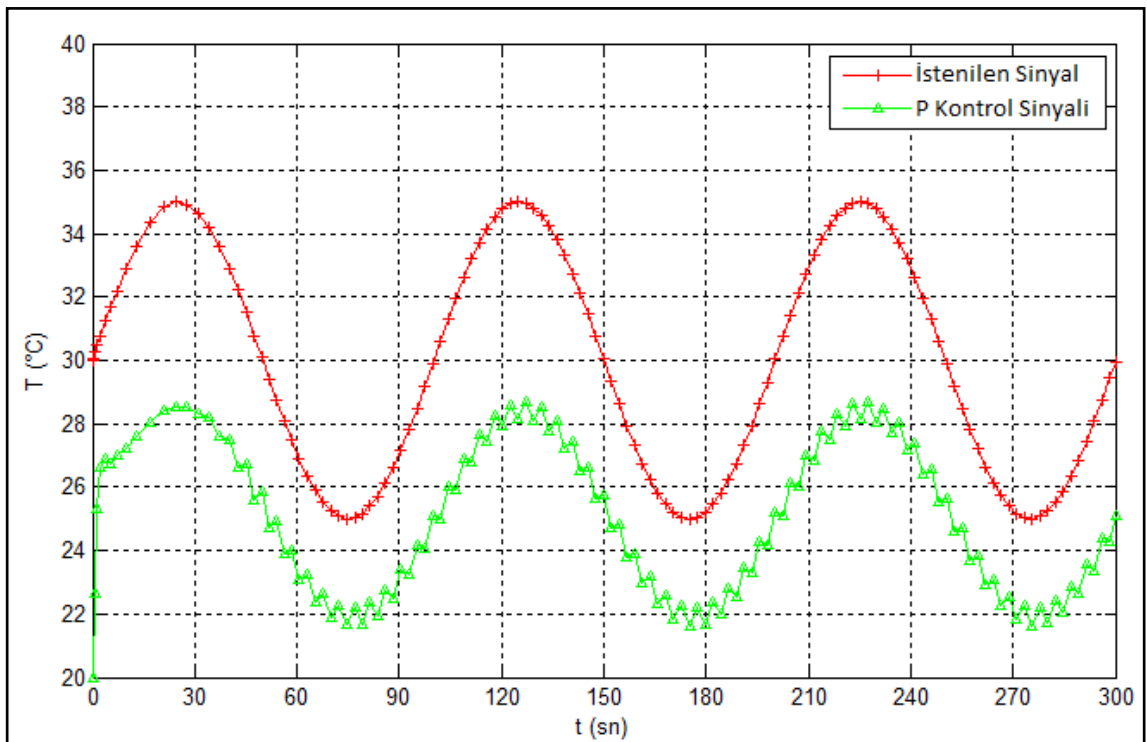
$$K_d = 25.940$$

şeklindeydi. Sonuçları incelediğimiz zaman, deneysel P kontrolde (Şekil 4.20(a)) sistemin çok kısa sürede istenilen cevabı yakalamakta ancak tepe noktalarında salınımlar görülmekte iken simülasyon sonuçlarında (Şekil 4.20(b)) kontrolün sağlanamadığı görülmektedir. PI kontrolde integral etkinin, deneysel veride (Şekil 4.21(a)) cevabın yerleşme zamanını, salınımları ve maksimum aşma miktarını arttırdığı, simülasyonda (Şekil 4.21(b)) ise kontrolü sağladığı ve yerleşme zamanının düşük olduğu görülmektedir. PID kontrolde ise türevsel etki deney sonucunda (Şekil 4.22(a)) maksimum aşma miktarını ve salınımları azaltmakta ancak yerleşme zamanını arttırmakta, simülasyonda ise (Şekil 4.22(b)) aynı şekilde maksimum aşma miktarını ve salınımları azaltmakta ancak yerleşme zamanını arttırmamaktadır.

(a)

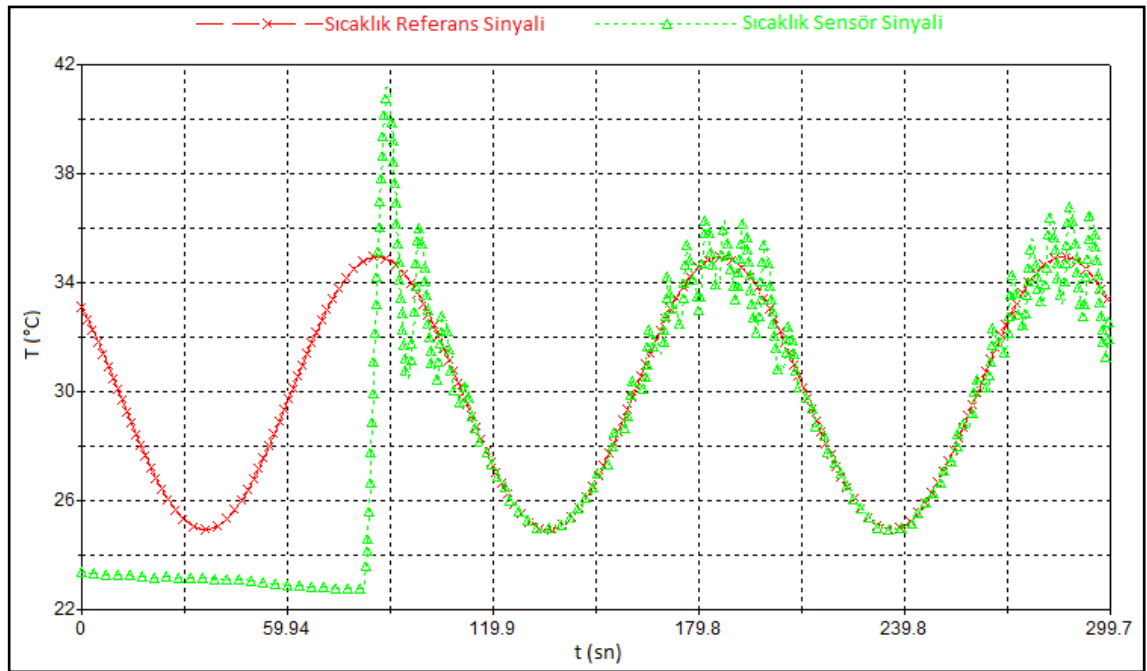


(b)

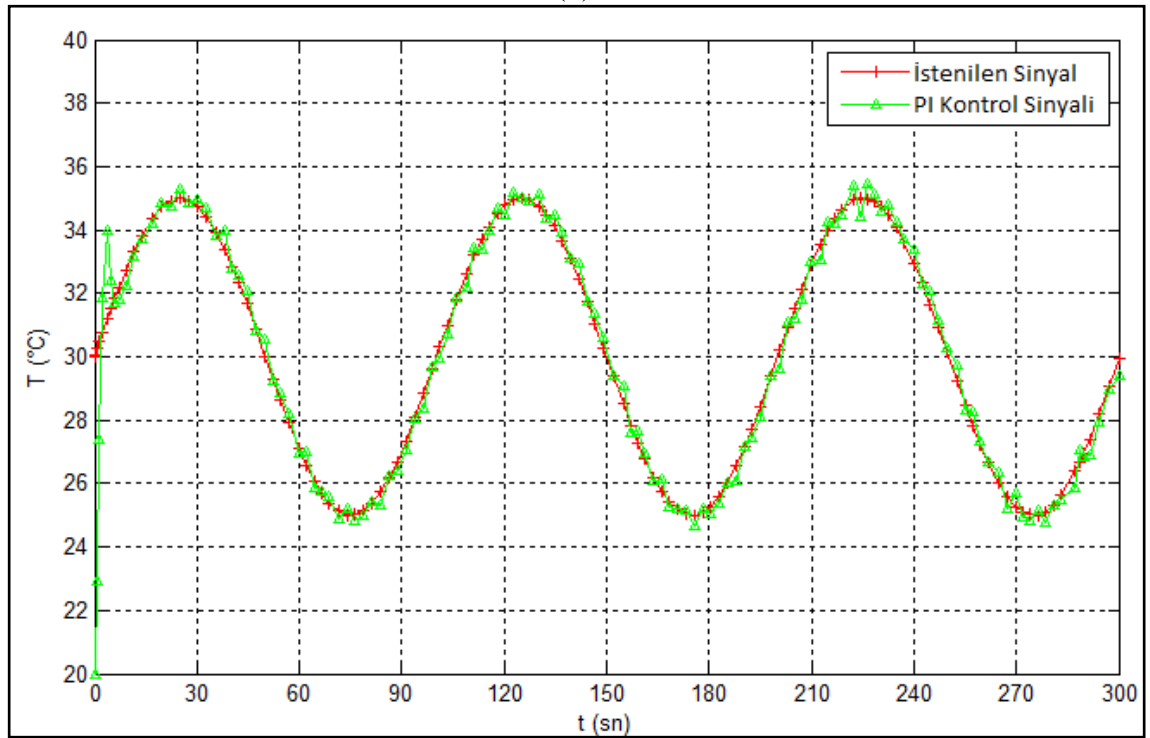


Şekil 4.20. P denetim organı ile sıcaklık kontrolünde (a) Hava akımı ve sıcaklık sisteminin sinüs giriş sinyaline verdiği cevabın değişimi ($K_p = 60.000$) (b) Simulink modelin sinüs giriş sinyaline verdiği cevabın değişimi ($K_p = 3.371$)

(a)

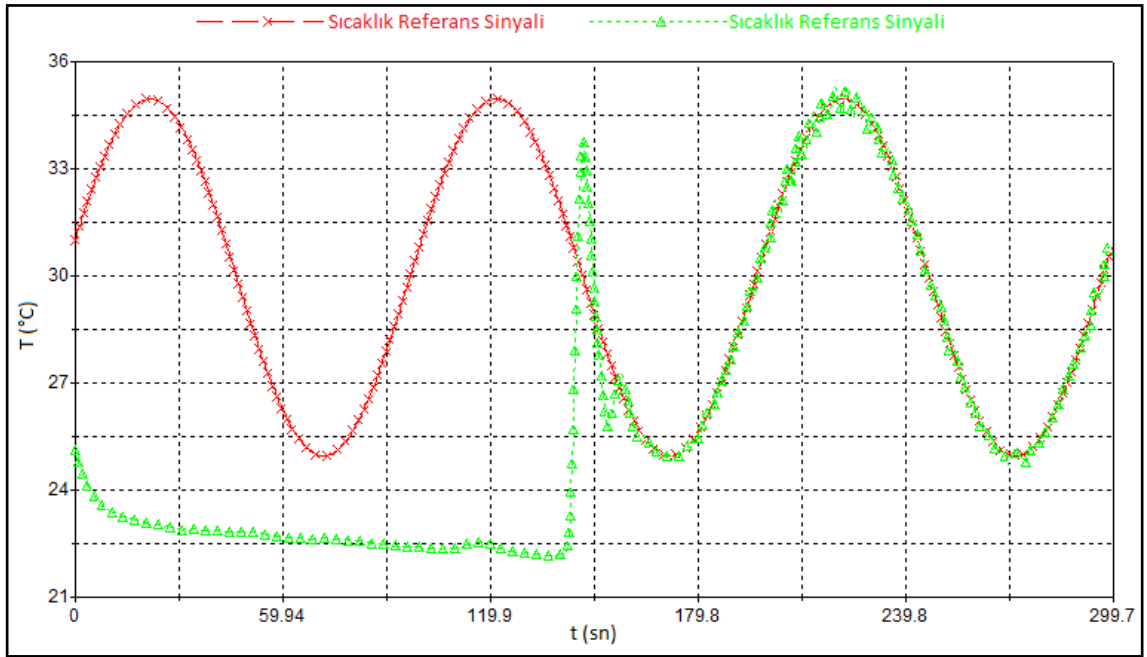


(b)

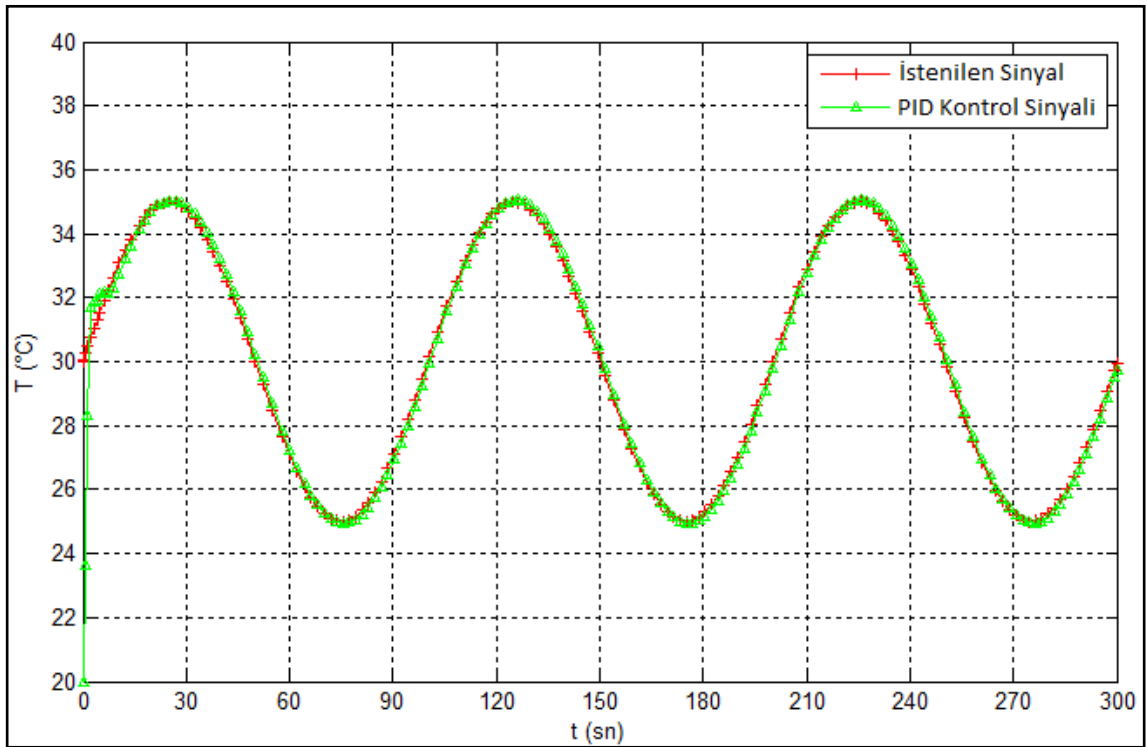


Şekil 4.21. PI denetim organı ile sıcaklık kontrolünde (a) Hava akımı ve sıcaklık sisteminin sinüs giriş sinyaline verdiği cevabın değişimi ($K_p = 60.000$ $K_i = 45.880$) (b) Simulink modelin sinüs giriş sinyaline verdiği cevabın değişimi ($K_p = 3.371$ $K_i = 2.748$).

(a)



(b)



Şekil 4.22. PID denetim organı ile sıcaklık kontrolünde (a) Hava akımı ve sıcaklık sisteminin sinüs giriş sinyaline cevabın değişimi ($K_p = 60.00$, $K_i = 45.88$, $K_d = 25.94$) (b) Simulink modelin sinüs giriş sinyaline cevabın değişimi ($K_p = 3.371$, $K_i = 2.748$, $K_d = 1.799$).

4.8. Deneysel Basınç Kontrolü İle Simülasyon Sonuçlarının Karşılaştırılması

Deneysel sistemde, manüel olarak belirlenen K_p ve K_i parametreleri kullanılarak P ve PI basınç kontrolleri yapılmıştır. Kullanılan parametreler;

$$K_p = 60.500$$

$$K_i = 45.600$$

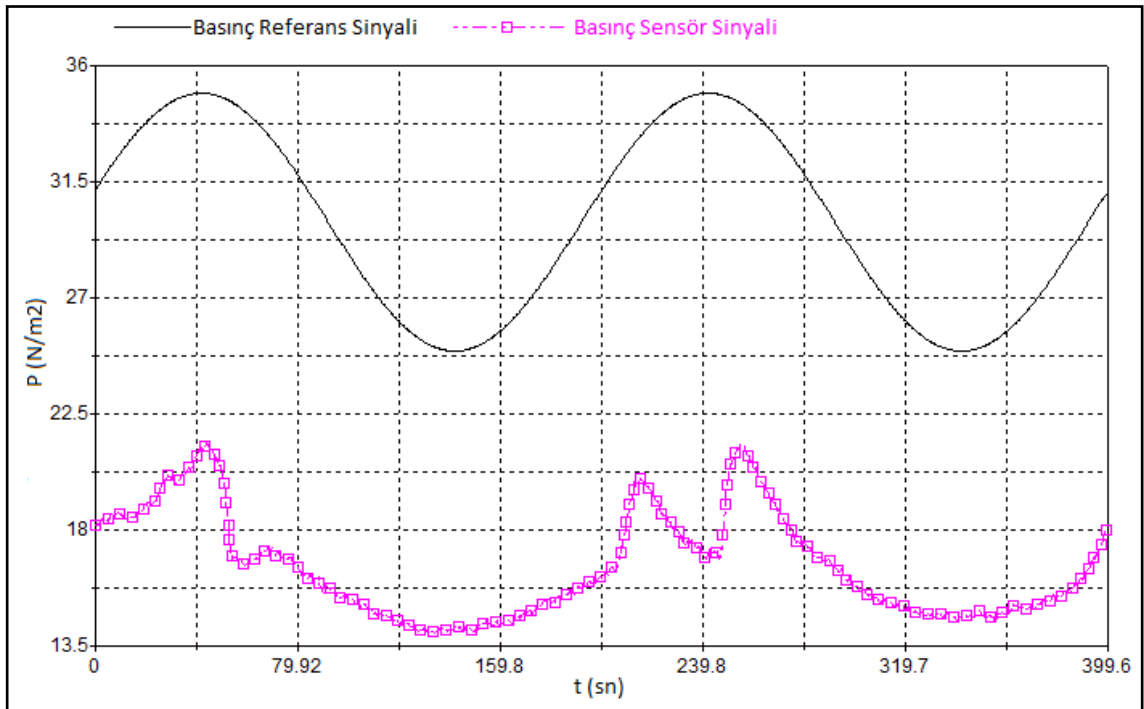
şeklinde belirlenmiştir. SIMULINK'te kullanılan parametreler ise;

$$K_p = 2.707$$

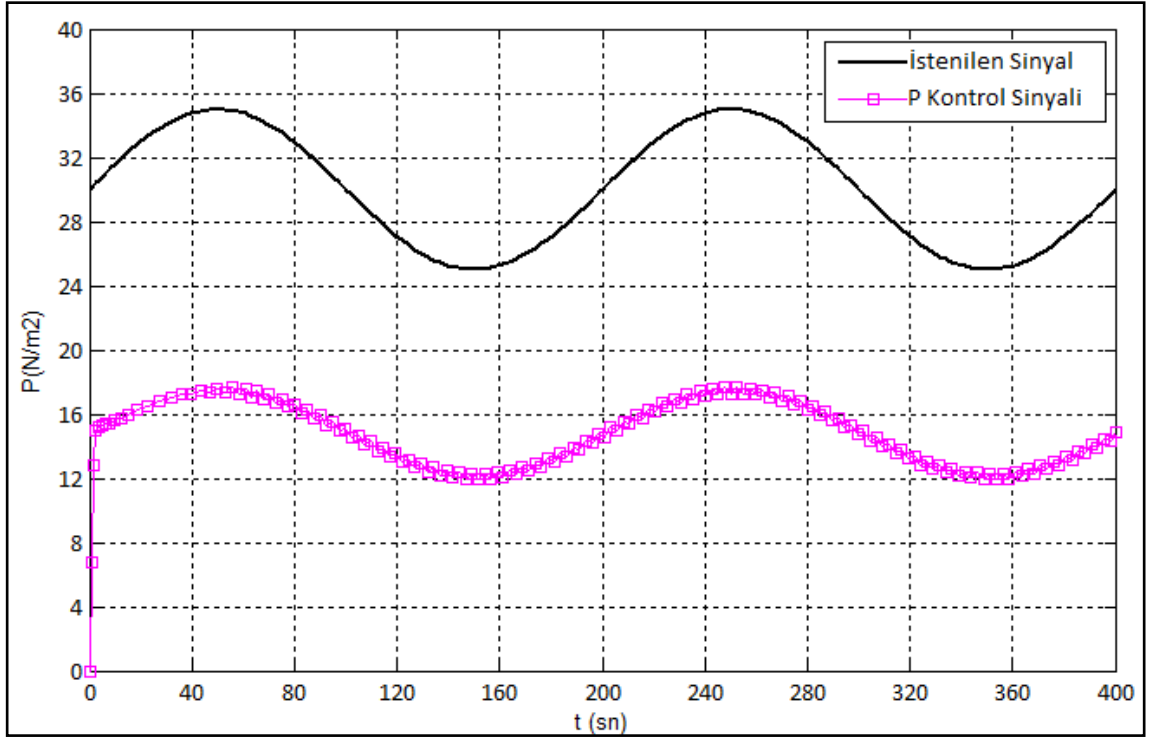
$$K_i = 2.500$$

olarak belirlenmiştir. Sonuçlar karşılaştırıldığı zaman deneysel P basınç kontrolünde (Şekil 4.23(a)) sistemin istenilen değeri yakalayamadığı ve tepe noktalarında ani düşmelerin meydana geldiği, simülasyon sonuçlarının da (Şekil 4.23(b)) hemen hemen deneysel sonuçlarla örtüştüğü görülmektedir. PI kontrolde sistemin (Şekil 4.24(a)) istenilen değeri takip ettiği, tepe noktalarında düşüşlerin olduğu, kontrolün yerleşme zamanının çok düşük olduğu, simülasyonda ise (Şekil 4.24(b)) maksimum aşmanın ve yerleşme süresinin deney sonucuna göre daha fazla olduğu ancak salınımların daha az olduğu görülmüştür.

(a)

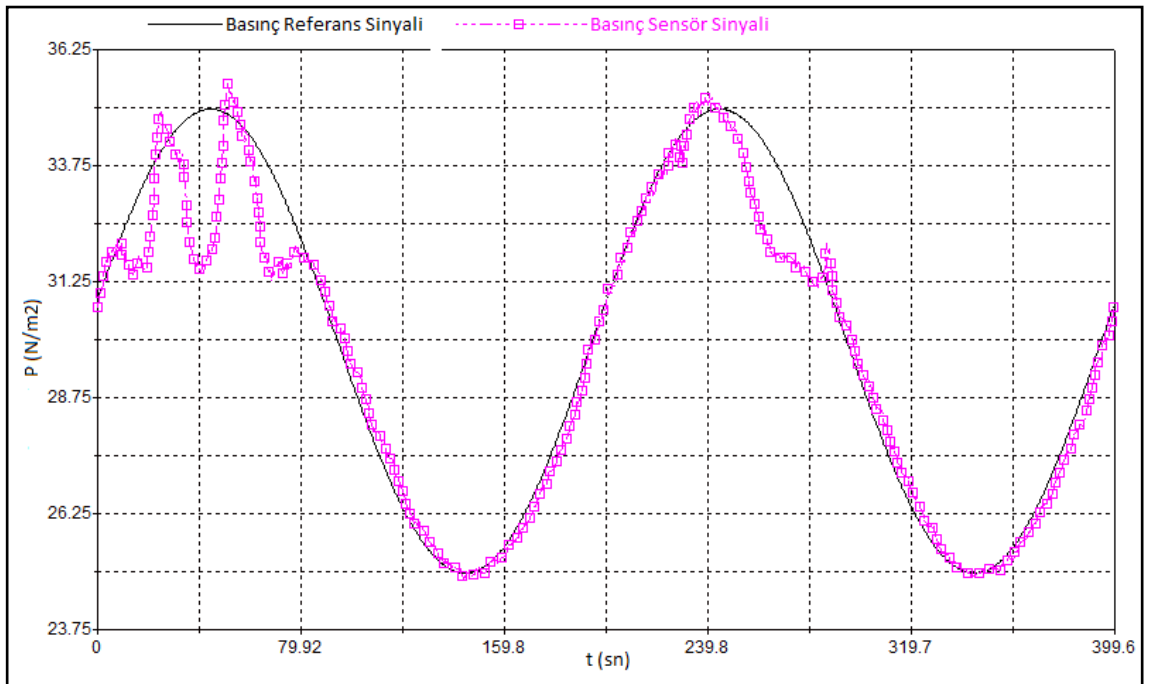


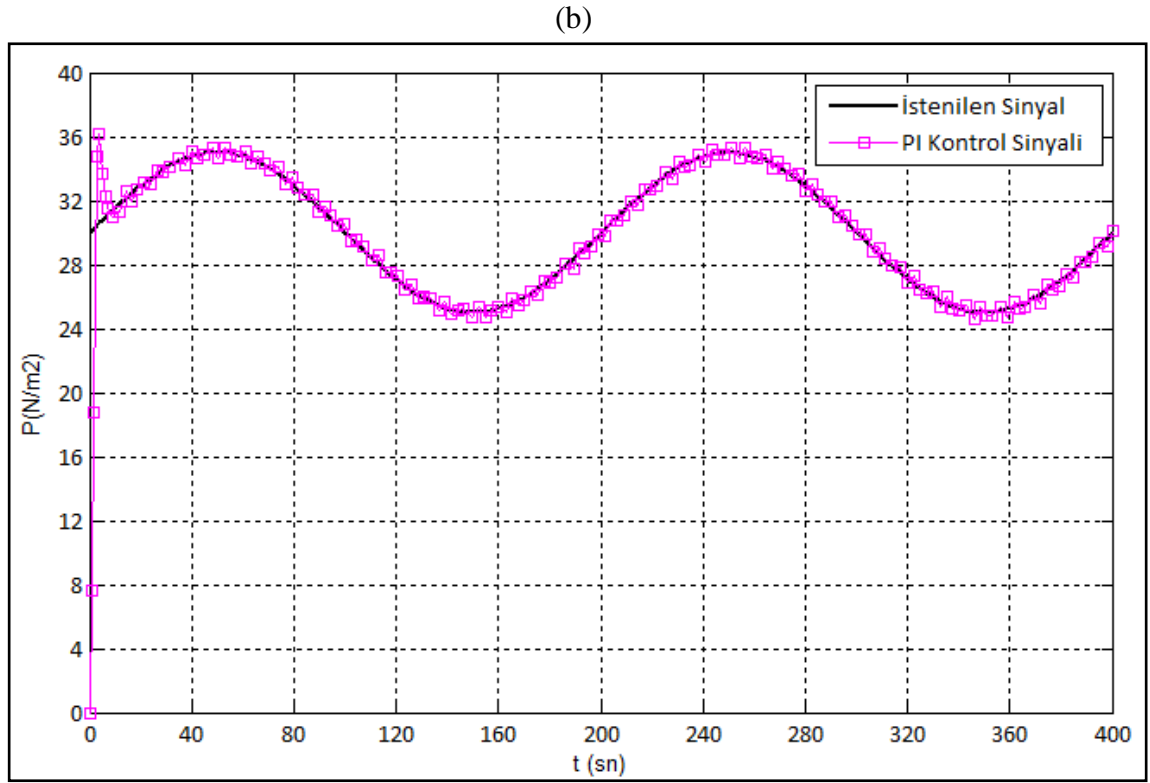
(b)



Şekil 4.23. P denetim organı ile basınç kontrolünde (a) Hava akımı ve sıcaklık Sisteminin sinüs giriş sinyaline cevabının değişimi ($K_p = 60.500$) (b) Simulink modelin sinüs giriş sinyaline cevabının değişimi ($K_p = 2.707$)

(a)





Şekil 4.24. PI denetim organı ile basınç kontrolünde (a) Hava akımı ve sıcaklık sisteminin sinüs giriş sinyaline cevabının değişimi ($K_p = 60.500$, $K_i = 45.600$) (b) Simulink modelin sinüs giriş sinyaline cevabının değişimi ($K_p = 2.707$ $K_i = 2.500$)

4.9. Isıtıcı Kontrollü Kademeli Kontrol Deneysel Sıcaklık Kontrolü İle Simülasyon Sonuçlarının Karşılaştırılması

Deney sisteminde sabit basınçta kademeli sıcaklık kontrolde birincil ve ikincil kontrol elemanının parametreleri,

$$K_p = 30.900$$

$$K_i = 15.660$$

$$K = 50.750$$

olarak belirlenmişti. SIMULINK'te ise;

$$K_p = 2.839$$

$$K_i = 2.083$$

$$K = 0.700$$

belirlenmiştir. Sonuçlar karşılaştırıldığı zaman deney sonuçları (Şekil 4.25(a)) ve simülasyonların (Şekil 4.25(b)) birbirine yakın olduğu görülmüştür. Ancak

simülasyonda ikincil kontrol elemanının değerinin yükseltilmesi kontrolde salınımları arttırmaktadır.

4.10. Fan Kontrollü Kademeli Kontrol Deneysel Sıcaklık Kontrolü İle Simülasyon Sonuçlarının Karşılaştırılması

Sabit ısıtıcı değerinde kademeli sıcaklık kontrolde birincil ve ikincil kontrol elemanının parametreleri,

$$K_p = 64.400$$

$$K_i = 41.500$$

$$K = 30.750$$

olarak belirlenmişti. SİMULİNK'te ise;

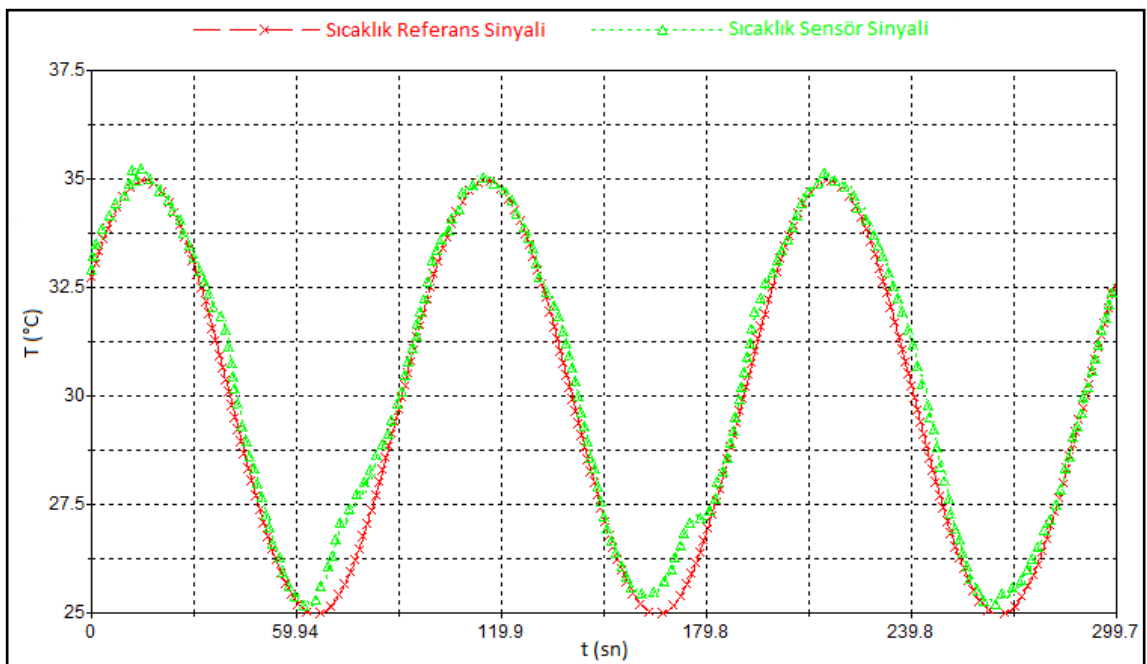
$$K_p = 12.025$$

$$K_i = 1.606$$

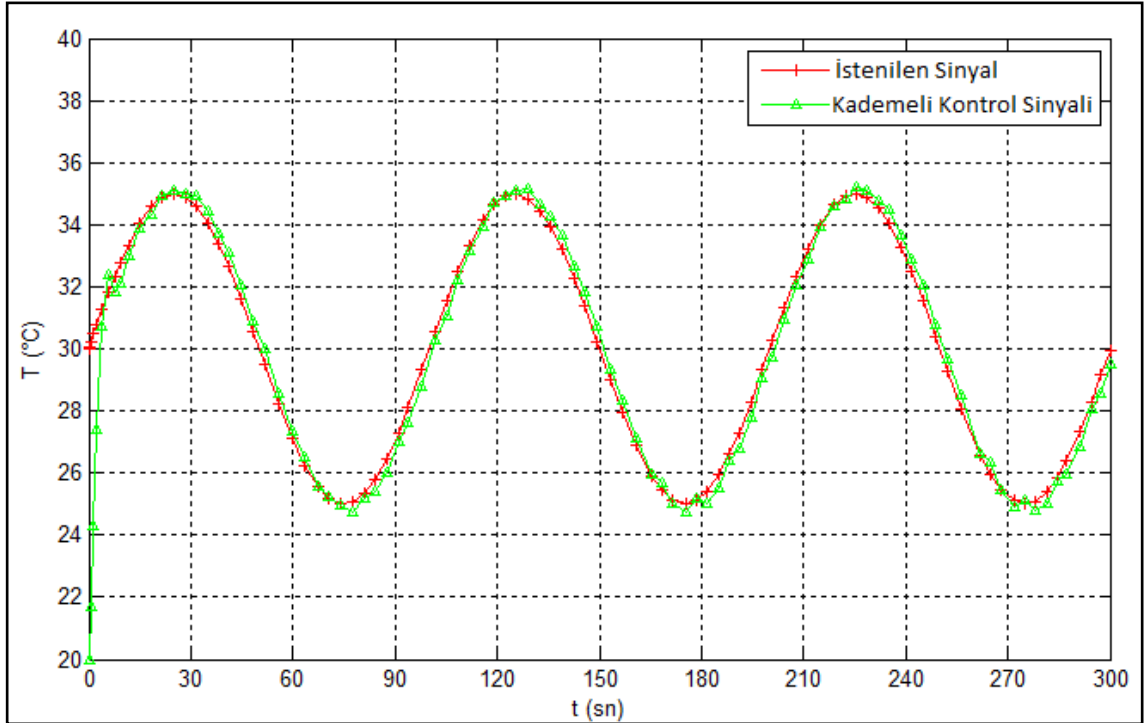
$$K = 2.280$$

olarak belirlendiği zaman, yapılan deney (Şekil 4.26(a)) ve simülasyon (Şekil 4.27(b)) sonuçlarına göre deney sisteminde sıcaklık kontrolünün tam olarak sağlanamadığı, yerleşme zamanının düşük olmasına rağmen salınımın çok olduğu, simülasyonda ise kontrolün sağlandığı, salınımın az olduğu görülmüştür.

(a)

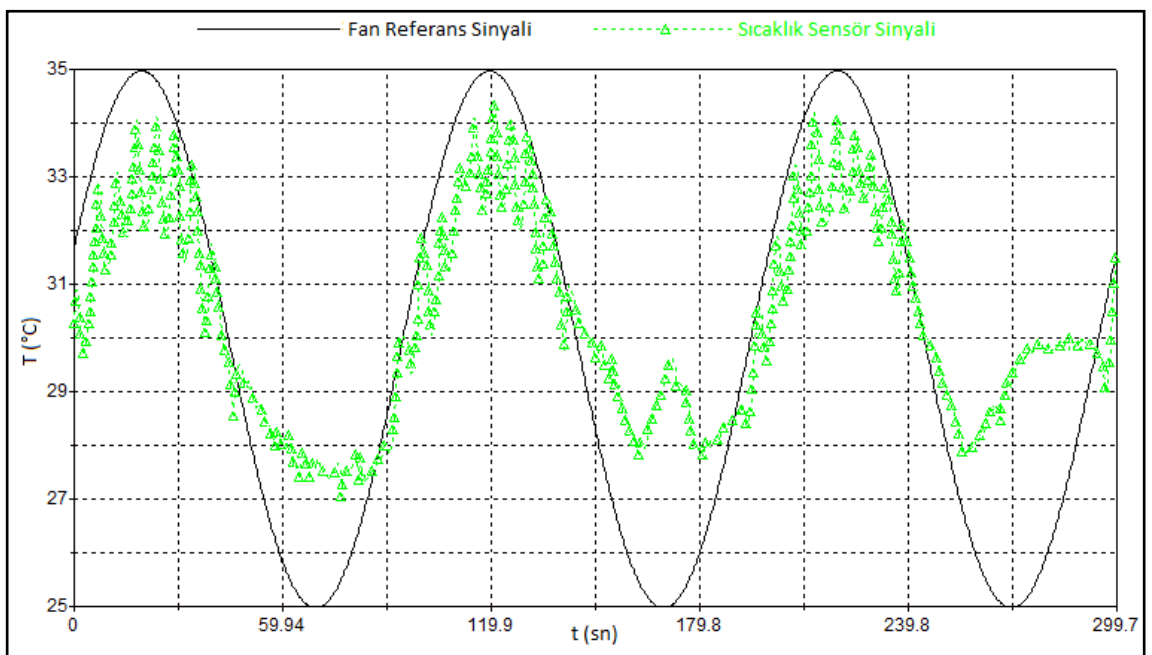


(b)

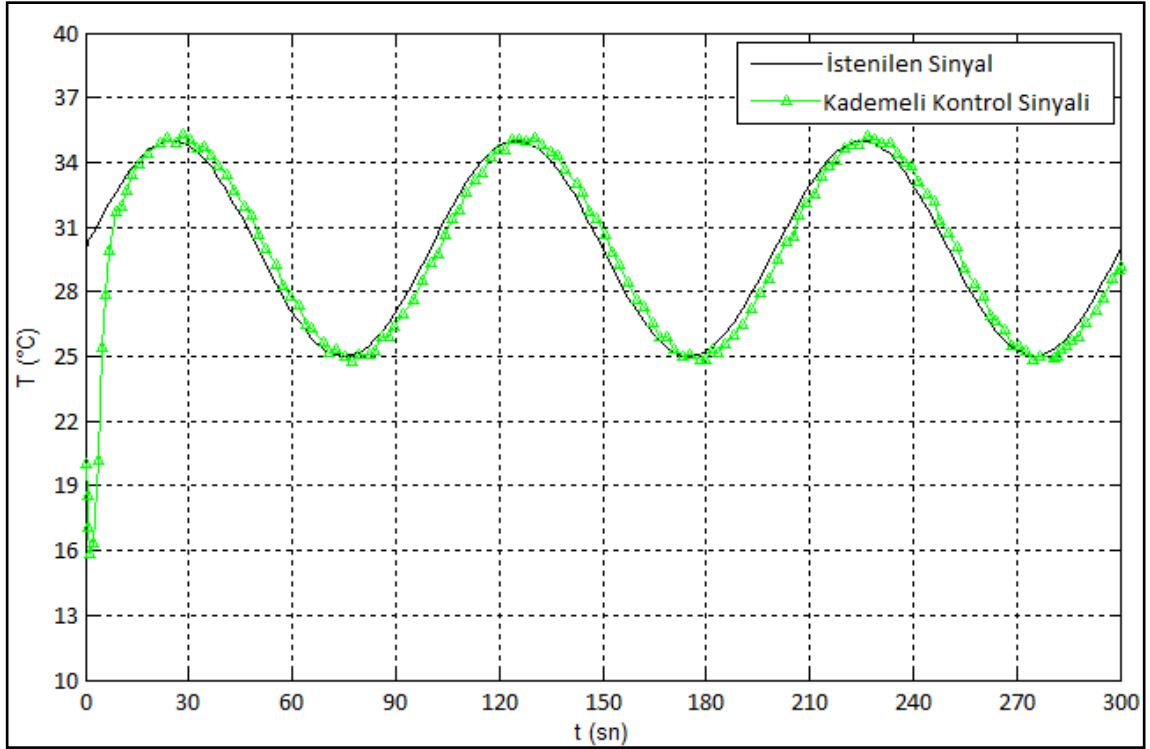


Şekil 4.25.Sabit basınçta kademeli sıcaklık kontrolünde (a) Hava akımı ve sıcaklık sisteminin sinüs giriş sinyaline cevabının değişimi ($K_p = 60.50$, $K_i = 45.60$, $K = 50.750$) (b) Simulink modelin sinüs giriş sinyaline cevabının değişimi ($K_p = 2.839$, $K_i = 2.083$, $K = 0.700$)

(a)



(b)



Şekil 4.26. Sabit ısıtıcı değerinde kademeli sıcaklık kontrolünde (a) Hava akımı ve sıcaklık sisteminin sinüs giriş sinyaline cevabın değişimi ($K_p = 64.40$, $K_i = 41.500$, $K = 30.750$) (b) Simulink modelin sinüs giriş sinyaline cevabının değişimi ($K_p = 12.025$, $K_i = 1.606$, $K = 2.280$)

4.11. Sıcaklık ve Basınç Kontrollerinde Hava Giriş Açısının Simülasyon Sonuçlarına Etkisi

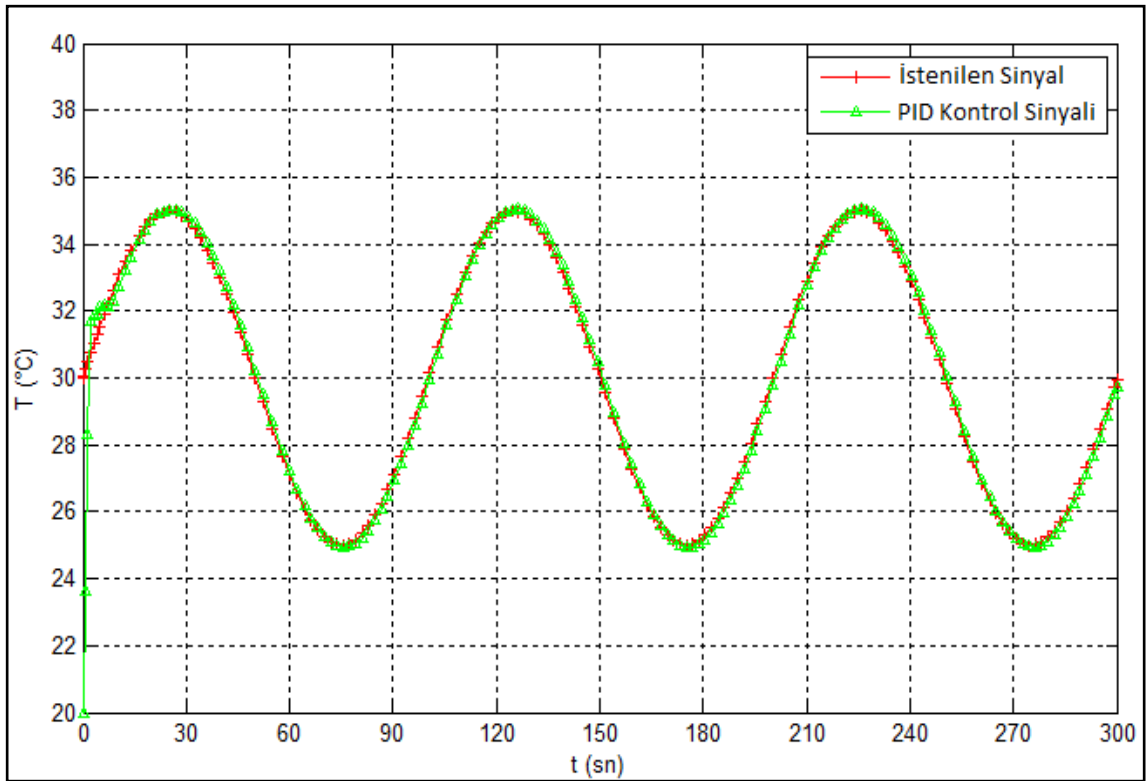
Hava akımı ve sıcaklık sisteminde Sistemden alınan kontrol sonuçları incelendiği zaman, bozucu etkinin yani hava giriş açısının 45° 'ye düşürülmesinin,

- PID sıcaklık kontrolünde yerleştirme zamanını arttırdığı ve salınımlara neden olduğu,
- PI basınç kontrolünde kontrolü tamamen bozduğu ve kalıcı hataya neden olduğu,
- Sabit basınçta kademeli sıcaklık kontrolünde yerleşme zamanına etki etmediği ve çok az salınıma neden olduğu,
- Sabit ısıtıcı kademeli sıcaklık kontrolünde ise salınımlarda artışa neden olduğu ve kontrolün sinüs dalgasının alt değerlerini yakalayamadığı görülmüştü.

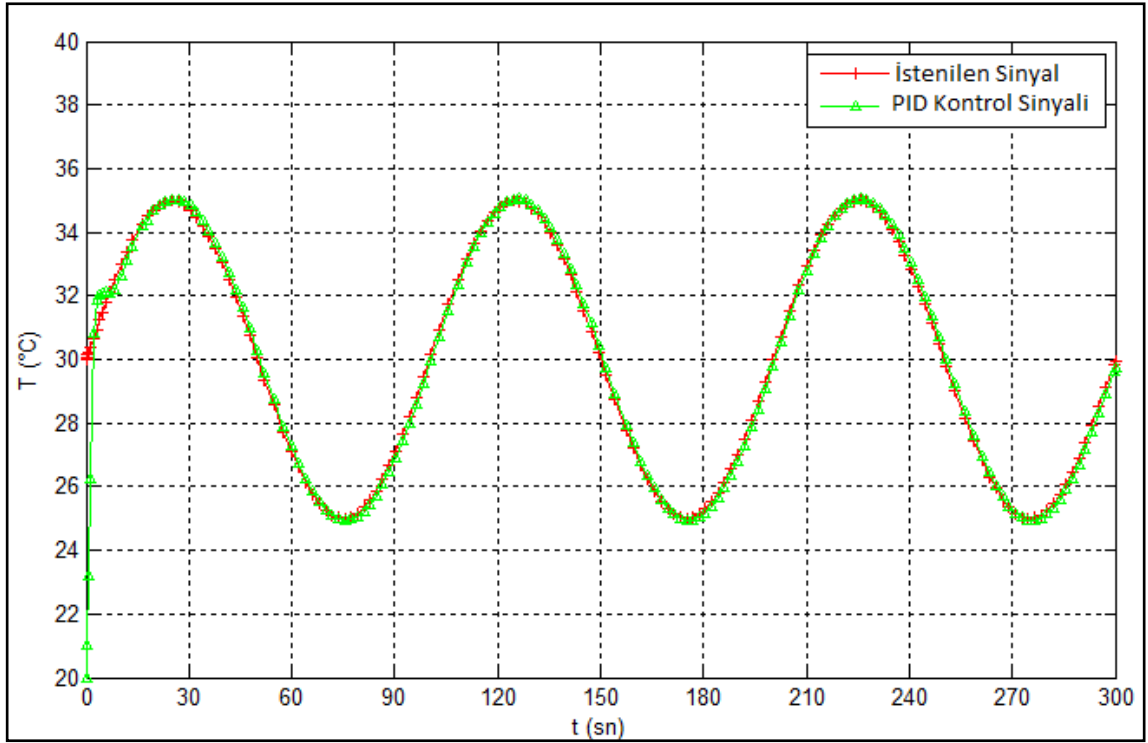
Sistemin SIMULINK modelinde hava giriş açısının değeri 45° 'ye düşürüldüğü zaman ise,

- PID sıcaklık kontrolünde yerleşme zamanında ve maksimum aşmada minimumda olsa bir artışa neden olduğu,
- PI basınç kontrolde deney sonucunun tam tersine kontrolde bir bozulmaya neden olmadığı ancak maksimum aşma miktarının arttırdığı
- Sabit basınçta kademeli sıcaklık kontrolünde minimumda olsa maksimum aşmada ve yerleşme zamanında artışa neden olduğu
- Sabit ısıtıcıli kademeli sıcaklık kontrolünde ise aynı şekilde maksimum aşma ve yerleşme zamanında çok az bir artışa neden olduğu görülmüştür.

(a)

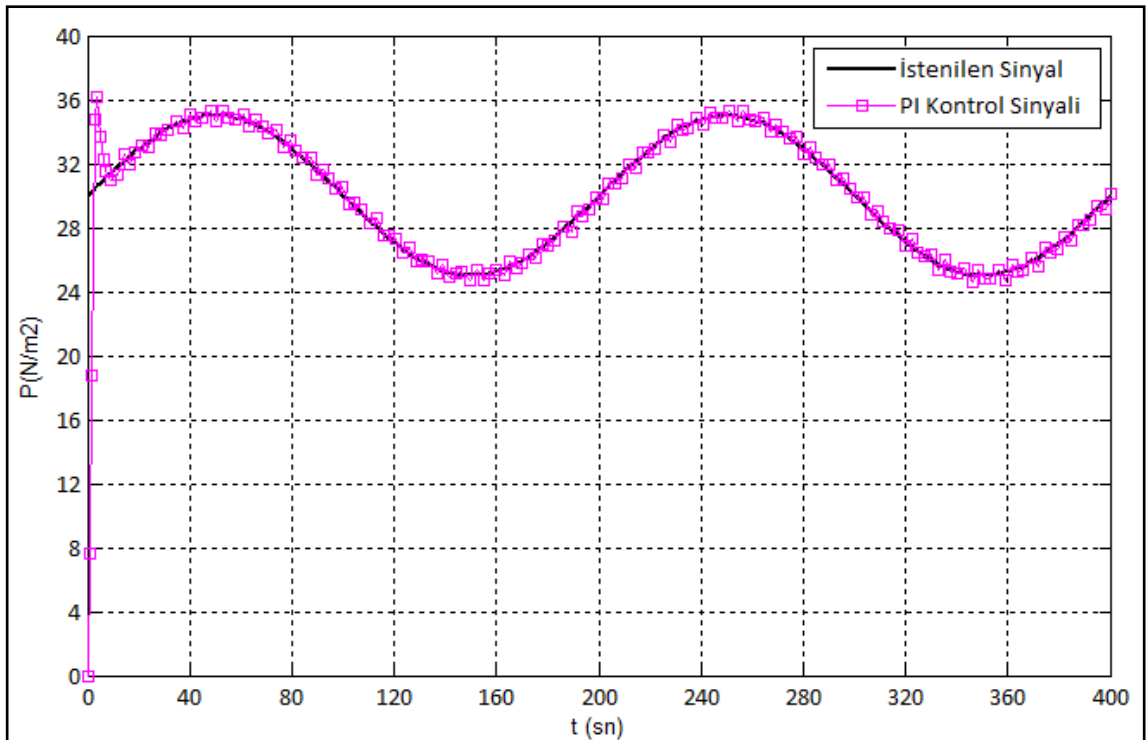


(b)

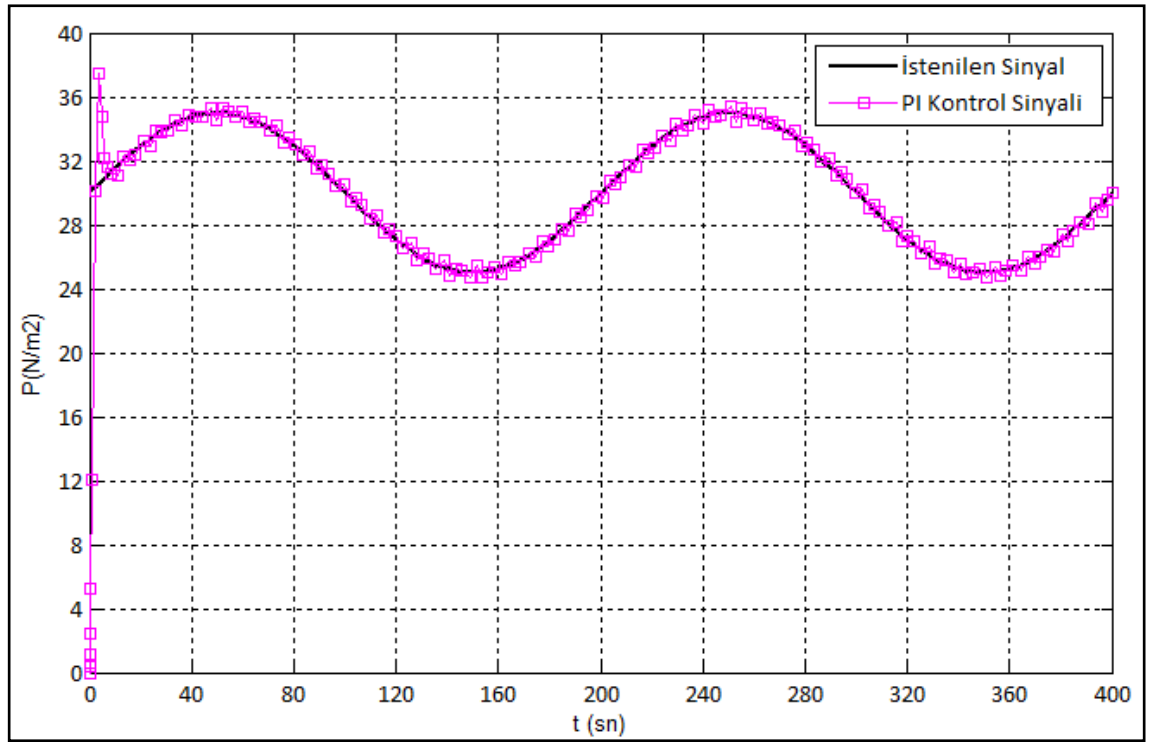


Şekil 4.27. PID denetim organı ile sıcaklık kontrolünde simulink modelin sinüs giriş sinyaline cevabının değişimi (a) $K_p = 3.371$, $K_i = 2.748$, $K_d = 1.799$ $\varphi = 90^\circ$ (b) $K_p = 3.371$, $K_i = 2.748$, $K_d = 1.799$, $\varphi = 45^\circ$.

(a)

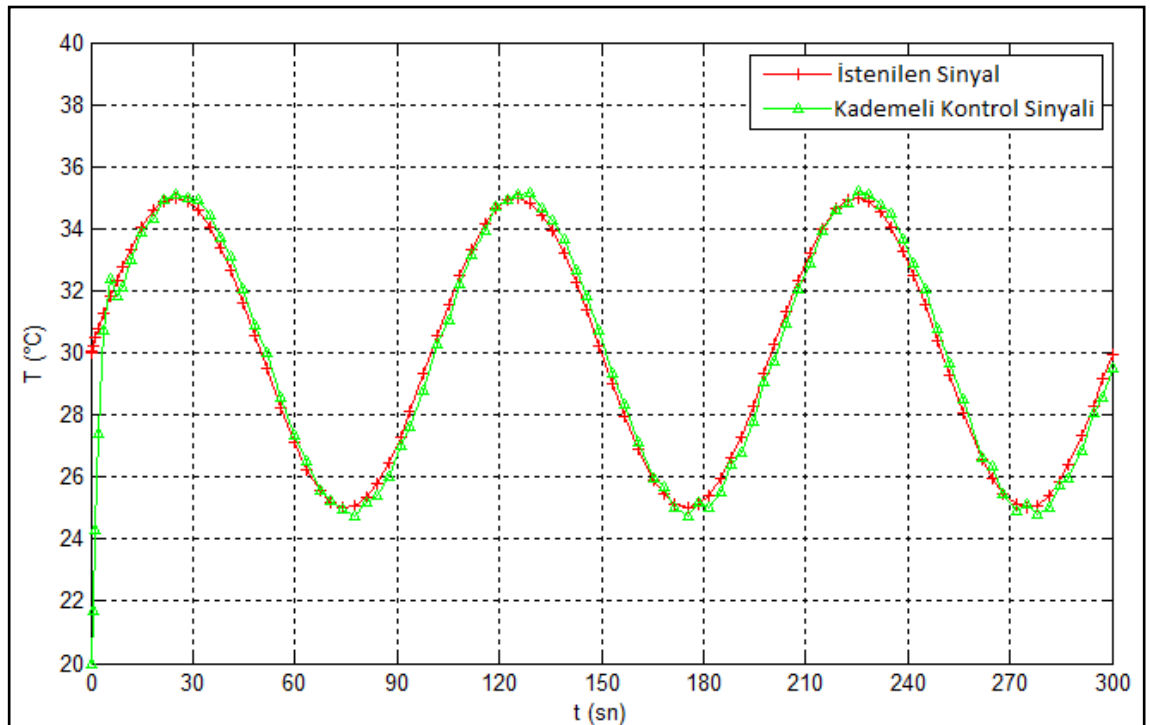


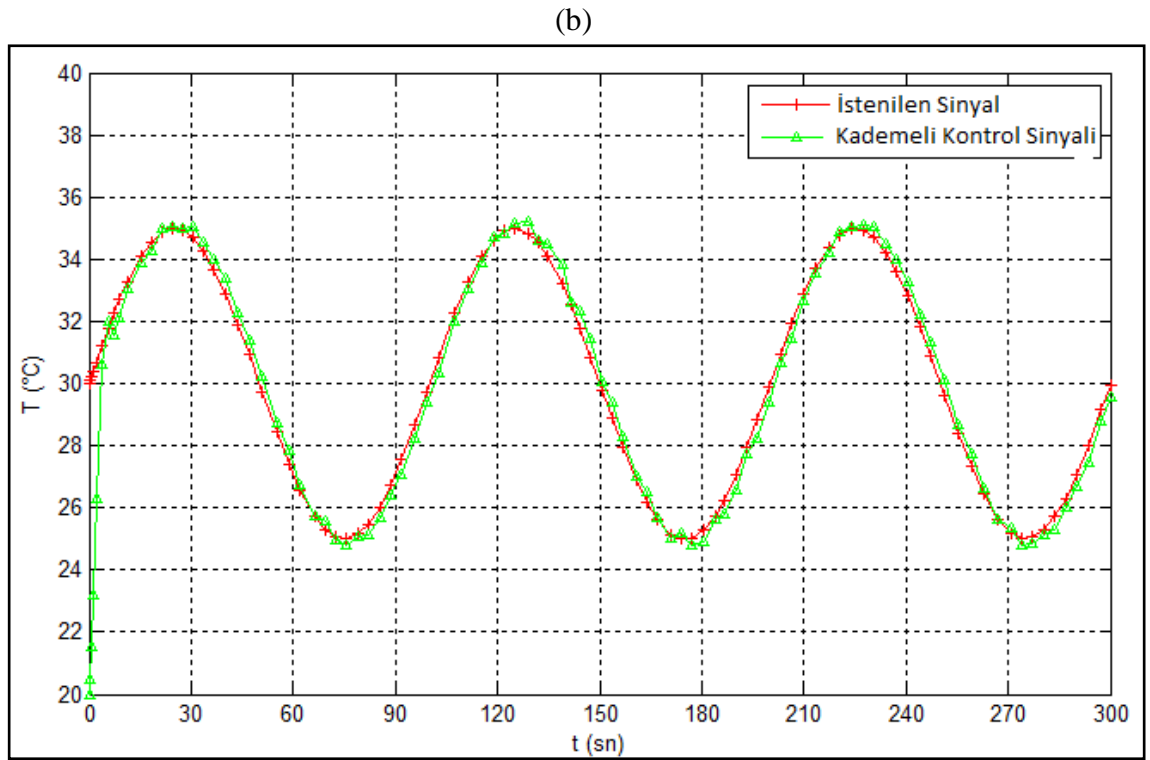
(b)



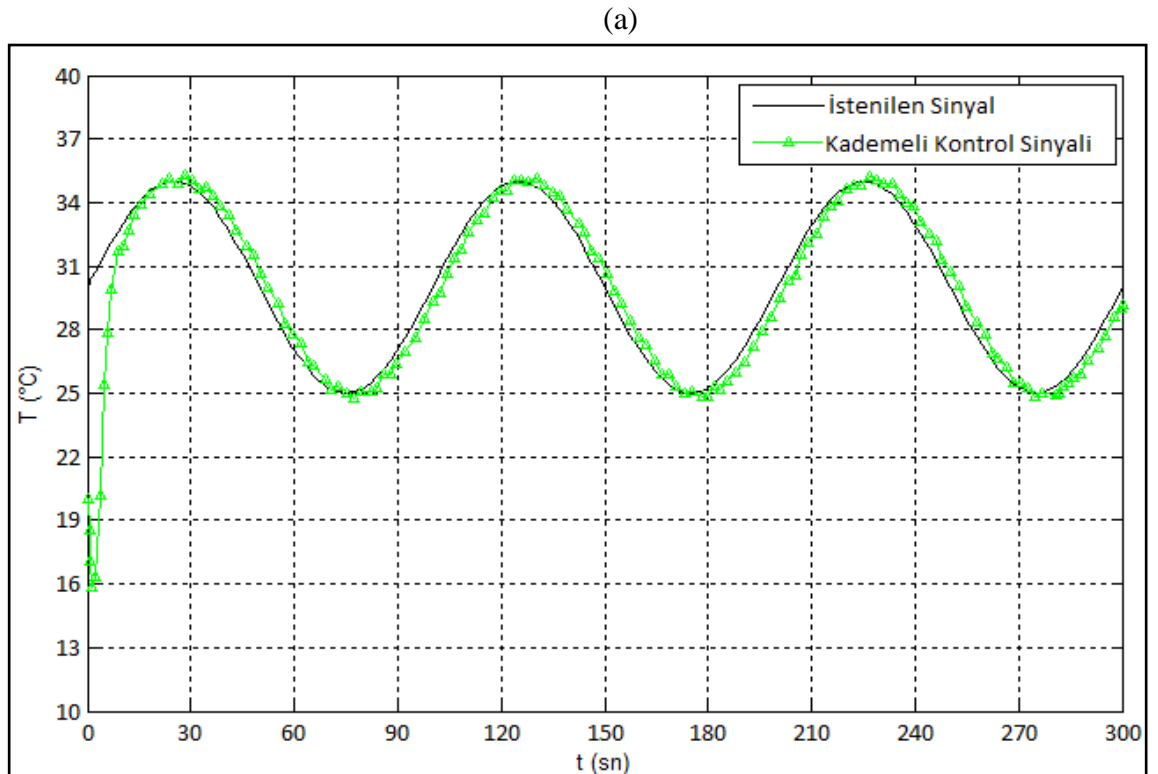
Şekil 4.28. PI denetim organı ile basınç kontrolünde simulink modelin sinüs giriş sinyaline cevabının değişimi (a) $K_p = 2.707$, $K_i = 2.500$, $\varphi = 90^\circ$
 (b) $K_p = 2.707$, $K_i = 2.500$, $\varphi = 45^\circ$.

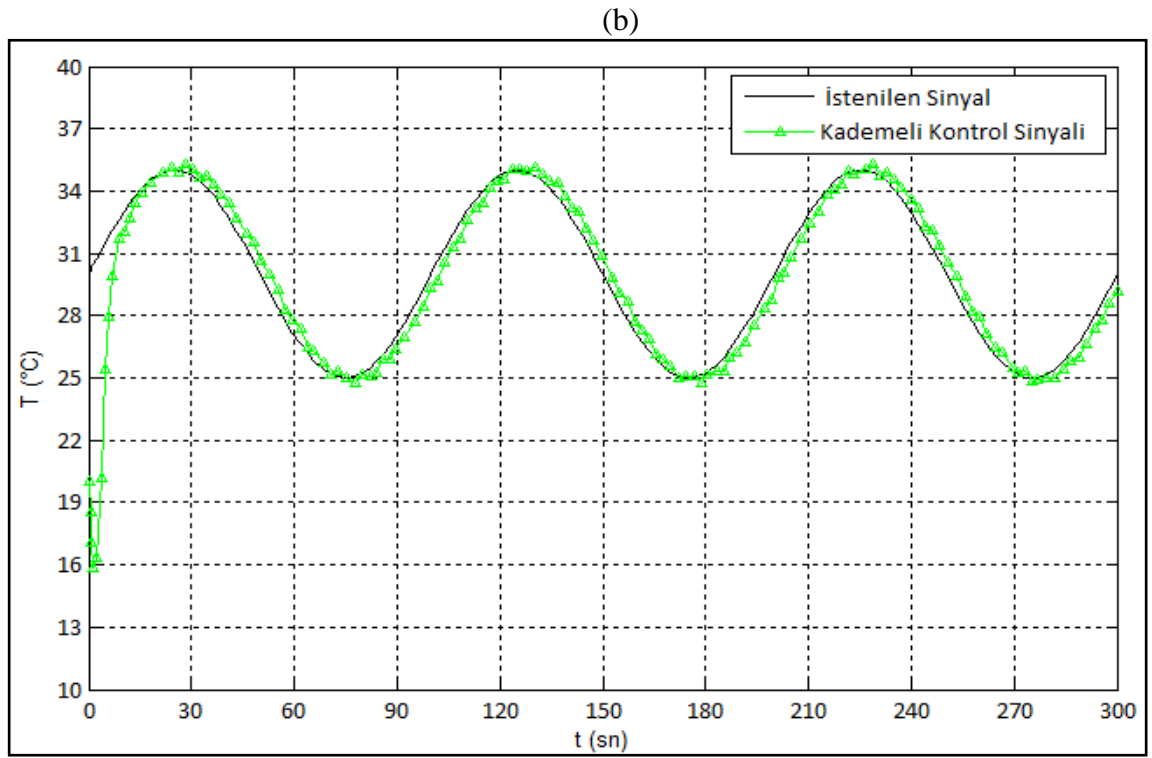
(a)





Şekil 4.29. Sabit basınçta kademeli sıcaklık kontrolünde simulink modelin sinüs giriş sinyaline cevabının değişimi (a) $K_p = 2.839$, $K_i = 2.083$, $K = 0.700$ $\phi = 90^\circ$ (b) $K_p = 2.839$, $K_i = 2.083$, $K = 0.700$, $\phi = 90^\circ$.





Şekil 4.30. Sabit ısıtıcı değerinde kademeli sıcaklık kontrolünde simulink modelin sinüs giriş sinyaline cevabının değişimi (a) $K_p = 12.025$, $K_i = 1.606$, $K = 2.280$, $\varphi = 90^{\circ}$ (b) $K_p = 12.025$, $K_i = 1.606$, $K = 2.280$, $\varphi = 45^{\circ}$.

5. BÖLÜM

TARTIŞMA, SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada; günümüz endüstriyel sektörlerde uygulanan, ısıtma ve soğutma sistemlerinin prototipi üzerinde, LTR 701 kontrollü hava akımı ve sıcaklık sisteminin hava akış hızı ve sıcaklık kontrolü, standart geri beslemeli PI, PD, PID denetim organları ile kontrol edilmiştir. Diğer taraftan enerji tasarrufu ve en optimum ısıtma-soğutma yapılabilmesi için besleme borusu hattı içinde bulunan açılabilir konumu değişen, kelebeğin açılabilir konumları değiştirilerek kontrol edilmiştir. Ayrıca sistemin teorik modeli yardımıyla Matlab-SİMULİNK toolboxında simülasyon olarak aynı denetim organları ile basınç etkisi ve sıcaklık değişimi de kontrol edilmiştir. Bununla birlikte titreşim vb. bozucu etkisinde sistemin kararlılığı test edilmiştir. Yapılan çalışmalar neticesinde şu sonuçlar elde edilmiştir;

- Deneysel P, PI, ve PID sıcaklık kontrol sonuçlarına göre P kontrolde yerleşme zamanının ve maksimum aşmanın az olduğu ancak salınımların fazla olduğu, integral etkinin maksimum aşmayı ve yerleşme zamanının arttırdığı, türevsel etkinin ise maksimum aşmayı azalttığı saptanmış, uygun parametrelerin bir araya getirilmesi ile yapılacak PID kontrolün iyi sonuç verdiği görülmüştür.
- Deneysel P ve PI basınç kontrol sonuçlarına göre, oransal etkinin tek olarak kullanılması basınç kontrolünün başarısız olmasına, integral etkiyle beraber yapılan PI kontrolün ise istenilen kontrol sonucunu sağladığı görülmüştür. Basınç kontrolünde türevsel etki gürültü nedeniyle kullanılmamıştır.
- Kademeli sıcaklık kontrollerine bakıldığı zaman, sabit basınçta kademeli sıcaklık kontrolünün sabit ısıtıcı değerinde kademeli sıcaklık kontrolüne göre daha iyi sonuç verdiği görülmüştür. Bunun nedeni olarak sıcaklık kontrolünde, ısıtıcının kontrolünün fanın kontrolüne göre daha kolay olmasının olduğu öngörülmüştür.

- Yapılan simülasyon sonuçları deneysel sonuçlarla karşılaştırıldığı zaman, P sıcaklık kontrolünde kontrol sonuçlarının uyuşmadığı, PI ve PID sıcaklık kontrol sonuçlarında ise yerleşme zamanının deneysel sonuçlarda daha yüksek olduğu görülmüştür. P ve PI basınç kontrol sonuçları ise örtüşmekte, ancak deneysel sonuçlarda görülen salınımlar simülasyonlarda görülmemektedir. Sabit basınçta kademeli sıcaklık kontrol sonuçları birbiriyle uyuşurken, sabit ısıtıcı değerinde kademeli sıcaklık kontrol değerlerinin ise uyuşmadığı görülmüştür. Deneysel sonuçlarla simülasyon sonuçları arasındaki en önemli fark ise kullanılan kontrol parametrelerinin birbirine oldukça uzak değerlerde olmalarıdır. Bu uyuşmazlıkların nedenlerine bakacak olursak basınç ve sıcaklık değerleri ortam şartlarından etkilenen değerlerdir. Basınç kontrolünde meydana gelen salınımların nedeni boru içindeki akışın lineer olmaması, akış şartlarının sürekli değişmesidir. Akış şartlarının değişmesi ve sistemin matematiksel modelinin tam olarak çıkarılamaması nedeniyle kullanılan parametrelerde farklılık göstermektedir. Matematiksel model üzerinde gösterilecek bozucu etkilerle bu fark giderilebilecektir.
- Sistemin hava giriş açısının 90° 'den 45° 'ye düşürülmesiyle oluşan bozucu etki, kontrol sonuçlarında değişikliklere neden olmuştur. Buda kontrol parametrelerinin yeniden ayarlanması ihtiyacını ortaya çıkarmıştır.

Sonuçlarda göstermiştir ki; standart geri beslemeli denetim organı sistemi bazen iyi kontrol etmesine rağmen bozucu etkide çok etkili olamamaktadır. Bundan dolayı standart denetim organları yerine adaptiv yapıya sahip olan yapay zekâ teknikleri ileriki çalışmalarda uygulanabilir.

KAYNAKLAR

1. ELWE, Operating Manuel of Controlled Air Mass and Temperature System with Actuators and Sensors LTR701. ELWE, Germany, 27 s.
2. Köse, S., 2006. Değişken Hızlı Rüzgar Türbinlerinin Nonlineer Kontrolü. İstanbul Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 70 s.
3. Uzmay, i., Sarıkaya, H., Yılmaz, M., Yıldırım, Ş., 2000. Otomatik Kontrol. Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Kayseri, 127 s.
4. Benjamin C. K., 2002. Otomatik Kontrol Sistemleri. Çev.: Prof. Dr. Atilla Bir, Literatür Yayınları, İstanbul, 933 s.
5. Yersel, M.A., 2007. PID Yönteminin PLC’de Yazılarak Gerçeklenmesi: Çift Cidarlı Reaktör Tank Sıcaklık Kontrolü Örneği. Yıldız Teknik Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 62 s.
6. Üstebay, D., 2007. A New PI And PID Control Design Method And Its Application To Active Queue Management Of TCP Flows. Bilkent Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 47 s..
7. Akçalı, D., 2001. Otomatik Kontrol. Nobel Yayınevi, Adana, 220 s.
8. Esim, E., 2010. Süspansiyon Sistemlerinin PID ile Kontrolü. Erciyes Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Kayseri, 75 s.
9. Savaşçıhabeş, A., 2008. Yapay Zeka Yöntemleri Kullanılarak PID Denetleyici Parametrelerinin Belirlenmesi. Erciyes Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Kayseri, 83 s.
10. Yıkan, F., 2005. Dayanıklı PID Kontrolör Tasarım Metotlarının Araştırılması Ve Geliştirilmesi. İnönü Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Malatya, 135 s.
11. Yurdakul, S.S., Eker, İ., 2010. Kendinden Ayarlamalı PID Kontrol Deneysel Uygulamaları,(Websayfası:http://www.emo.org.tr/ekler/a0585da677a3c11_ek.pdf), (Erişim tarihi: Mart 2011)
12. Mok, H. S., Kim, G.T., Park, M.H., Rhew, H.W., 1988. PI Controller gains tuning of the pressure control system by open-loop frequency response. **IEEE**, **88**, 557-561.
13. Ünal, M., 2008. PID Kontrolörün Karınca Kolonisi/Genetik Algoritma Tabanlı Optimizasyonu ve Gunt RT 532 Basınç Prosesinin Kontrolü. Marmara Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 125 s.

14. Kayacan, E., 2006. Grey Prediction Based Control Based Control Of A Non-linear Liquid Level System Using PID Type Fuzzy Controller. Boğaziçi Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 66 s.
15. Bolat, Y., 2006. Matlab-Simulink+PIC Tabanlı Bulanık Mantık Denetleyici Tasarımı ve Gerçek Zamanlı Sıcaklık Kontrolü Uygulaması. Marmara Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 82 s.
16. Akgül, H.N., 2006. Bulanık Mantık Yardımıyla Doğal Havalandırma Yapılan Bir Serada Sıcaklık ve Bağıl Nem Kontrolünün Modellenmesi. Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Çanakkale, 45 s.
17. İzgi, Y., 2007. Eğitim Amaçlı Bir İklimlendirme Odasının Yapay Zeka Teknikleri İle Modellenmesi ve Kontrolü. Marmara Üniversitesi, Doktora Tezi, İstanbul, 87 s.
18. Arıkan, O., 2009. Elektrikli İşlem Fırınlarının Modellenmesi ve Sıcaklık Kontrolü. Tobb Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 234 s.
19. Haugen, F., Fjeldalen, E., Dunia, R., Edgar, T.F., 2007. Demonstrating PID Control Principles Using An Air Heater And LabVIEW. Telemark University, Norway, 38 s.
20. Maida, A., Diaf, M., Corriou, J.P., 2008. Optimal linear PI fuzzy controller design of a heat exchanger, **Chemical Engineering And Processing**, **47**, 938-945.
21. Yükselten, M.S., 2010. PID Controller Design For Asymmetrical Temperature Control. Boğaziçi Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 86 s.
22. Zaheer-uddin, M., Tudoroiu, N., 2004. Neuro-PID tracking control of a discharge air temperature system. **Energy Conversion and Management**, **45**, 2405-2415.
23. Soyguder, S., Karaköse, M., Alli, H., 2009. Design and simulation of self-tuning PID-type fuzzy adaptive control for an expert HVAC system. **Expert Systems with Applications**, **96**, 4566-4573.
24. PID controller. (Web sayfası: http://en.wikipedia.org/wiki/PID_controller), (Erişim tarihi: Şubat 2011).
25. Bağış, A., 2008. Otomatik Kontrol Ders Notları, ders 9: PID Kontrol. Erciyes Üniversitesi, Kayseri.
26. Arifoğlu, U., Kubat, C., 2003. MATLAB ve Mühendislik Uygulamaları, Alfa Basım Yayın Dağıtım, İstanbul, 702 s.

27. HUMUSOFT, 2006. MF 624 Multifunction I/O Card User's Manuel. Humusoft, Czech Republic, 32 s.
28. Bi, Q., Cai, W., Wang, Q., Hang, C., Lee, E., Sun, Y., Liu, K., Zhang, Y., Zou, B., 2000. Advanced controller auto-tuning and its application in HVAC systems. **Control Engineering Practice**, **8**, 633-644.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı, Soyadı: Abdullah GÖÇER

Uyruğu: Türkiye (TC)

Doğum Tarihi ve Yeri: 23 Ocak 1984, Ereğli

Medeni Durumu: Bekâr

Tel: +90 354 212 242 1001-2143

Fax: +90 354 212 242 1005

email: abdullah.gocer@bozok.edu.tr

Yazışma Adresi: Bozok Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi

Makine Mühendisliği Bölümü YOZGAT

EĞİTİM

Derece	Kurum	Mezuniyet Tarihi
Yüksek Lisans	EÜ Fen Bilimleri Enstitüsü	2011
Lisans	EÜ Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü	2007
Lise	Ereğli Anadolu Lisesi, Konya	2002

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görev
2009- Halen	Bozok Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü	Araştırma Görevlisi

YABANCI DİL

İngilizce