



T.C.
MUŞ ALPARSLAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**HVAC SİSTEMLERİNİN MODELLENMESİ
VE AKILLI KONTROL YAKLAŞIMLARI
KULLANILARAK KONTROLÜ**

Elif ÇINAR

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Nükleer Enerji ve Enerji Sistemleri Anabilim
Dalı**

Temmuz-2024
MUŞ
Her Hakkı Saklıdır



T.C.
MUŞ ALPARSLAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**HVAC SİSTEMLERİNİN MODELLENMESİ
VE AKILLI KONTROL YAKLAŞIMLARI
KULLANILARAK KONTROLÜ**

Elif ÇINAR

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Nükleer Enerji ve Enerji Sistemleri Anabilim
Dalı**

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Tayfun ABUT

Jüri Üyesi: Doç. Dr. Erdem IŞIK

Jüri Üyesi: Dr. Öğr. Üyesi Tayfun ABUT

Jüri Üyesi: Dr. Öğr. Üyesi İhsan TUĞAL

Temmuz - 2024
MUŞ
Her Hakkı Saklıdır

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HVAC SİSTEMLERİNİN MODELLENMESİ VE AKILLI KONTROL YAKLAŞIMLARI KULLANILARAK KONTROLÜ

Elif ÇİNAR

Muş Alparslan Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Nükleer Enerji ve Enerji Sistemleri Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Tayfun ABUT

Isıtma, havalandırma ve iklimlendirme (HVAC) sistemleri taze hava, ısıtma, soğutma ihtiyacı ve nem kontrolünün hepsini veya birini sağlamak için yapılarda kullanılan ekipmanları, dağıtım ağlarını ve terminalleri ifade eder. HVAC sistemleri iç ortamlarda sıcaklığın ve hava kalitesinin istenen şartlarda olmasını sağlayan kontrol sistemleridir. Ayrıca hassas ortam koşulları gerektiren uygulamalarda daha da önem kazanmaktadır. Bu tez çalışmasında değişken debili iki zonlu HVAC sisteminin modellenmesi ve kontrolü gerçekleştirilmiştir. HVAC sistemi PID, LQR ve Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO) tabanlı Lineer Kuadratik Regülatör (LQR) ve Akıllı kontrol yöntemlerinden PSO tabanlı Bulanık Lineer Kuadratik Regülatör (FLQR) yöntemleri kullanılarak kontrol edilmiştir. İki farklı bölgenin sıcaklıkları ortam sıcaklığından yaklaşık 7 °C 'ye kadar düşürülmüştür. Yapılan benzetimler sonucunda elde edilen grafiksel ve sayısal veriler doğrultusunda önerilen kontrol algoritmaların birbirleriyle performans kriterleri kullanılarak kıyaslanmış ve irdelenmiştir. İki zonlu HVAC sistemine uygulanan yöntemler incelendiğinde her iki zon için en düşük sıcaklık hata performansı PSO - FLQR yöntemi ve MAE kriteri kullanılarak elde edilmiş (Zon 1 ve Zon 2 için) ve bu değerler sırasıyla 0.052 °C ve 0.034 °C'dir.

2024, 55 Sayfa

Anahtar Kelimeler: HVAC, Modelleme, PID, LQR, PSO-LQR, PSO-FLQR

ABSTRACT

MASTER THESIS

MODELING AND CONTROL OF HVAC SYSTEMS USING INTELLIGENT CONTROL APPROACHES

Elif ÇINAR

**Muş Alparslan University
Natural and Applied Science
Department of Nuclear Energy and Energy Systems**

Advisor: Assist. Prof. Dr. Tayfun ABUT

Heating, ventilation, and air conditioning (HVAC) systems refer to equipment, distribution networks, and terminals used in buildings to provide all or one of the fresh air, heating, cooling requirements, and humidity control. HVAC systems are control systems that ensure that the temperature and air quality are in desired conditions in indoor environments. It also gains more importance in applications that require sensitive environmental conditions. In this thesis study, modeling and controlling a variable flow rate two-zone HVAC system was carried out. The HVAC system was controlled using PID, LQR, and Particle Swarm Optimization (PSO) based Linear Quadratic Regulator (LQR) and PSO based Fuzzy Linear Quadratic Regulator (FLQR) methods, one of the intelligent control methods. The temperatures of two different zones were reduced to approximately 7 °C from ambient temperature. The proposed control algorithms were compared and examined using performance criteria in line with the graphical and numerical data obtained from the simulations. When the methods applied to the two-zone HVAC system are examined, the lowest temperature error performance for both zones is obtained using the PSO - FLQR method and MAE criterion (for Zone 1 and Zone 2) and these values are 0.052 °C and 0.034 °C, respectively.

2024, 55 Pages

Keywords: HVAC, Modeling, PID, LQR, PSO-LQR, PSO-FLQR

ÖN SÖZ

Teknolojinin gelişimiyle beraber HVAC sistemleri de buna paralel olarak gelişmiştir. İnsanların buldukları ortamları daha kaliteli olmasını sağlamak için HVAC sistemlerine ihtiyaç vardır. Bu sistemler sayesinde hem enerji tasarrufu sağlanacak hem de konforlu bir ortam oluşturulmuş olacaktır. HVAC sistemlerinin modellenmesi ve akıllı kontrol yöntemleri kullanılarak kontrolü gerçekleştirilmiş ve irdelenmiştir.

Yapmış olduğum çalışmalar sırasında hiçbir zaman yardımını esirgemeyen bilgisi ve donanımı ile bana madden ve manen destek olan, yol gösteren danışman hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Tayfun ABUT hocama, çalışmalarım esnasında ve tüm öğretim hayatım boyunca her an yanımda olan desteğini benden asla esirgemeyen canım annem ile babama ve varlıklarıyla hayatıma ve çalışmalarına anlam katan, mutluluk kaynaklarım canım kızlarım Irmak, Ela'ya ve canım eşime teşekkür ederim.

Elif ÇINAR
MUŞ-2024

İÇİNDEKİLER

ÖZET	viii
ABSTRACT.....	v
ÖN SÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER ve KISALTMALAR.....	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xi
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	3
3. MATERYAL ve YÖNTEM	8
3.1 Modelleme	8
3.2 HVAC Sisteminin Kontrolü.....	11
3.2.1 Oransal-İntegral-Türevsel (PID) Kontrol	11
3.2.2 Lineer Kuadratik Regülatör (LQR) Yöntemi.....	12
3.2.3 Bulanık Lineer Kuadratik Regülatör (FLQR).....	14
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI ve TARTIŞMA	18
4.1 PID	18
4.2 Lineer Kuadratik Regülatör (LQR).....	22
4.3 PSO tabanlı Lineer Kuadratik Regülatör (PSO-LQR).....	26
4.4. PSO tabanlı Bulanık Lineer Kuadratik Regülatör (PSO-FLQR).....	30
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	39
5.1 Sonuçlar	39
5.2 Öneriler	39
KAYNAKLAR	40
ÖZGEÇMİŞ	44

SİMGELER ve KISALTMALAR

Simge	Simge Adı	Birimi
A	: Alan	m ²
\dot{m}_{k_h}	: Fan kanaldaki havanın kütleli debisi	kg/s
$\dot{m}_{z_1h,gir}$: Zon ₁ mahal alanı içine giren havanın debisi	kg/s
$\dot{m}_{z_2h,gir}$: Zon ₂ mahal alanı içine giren havanın debisi	kg/s
$\dot{m}_{envh,gir}$: Fan kanalındaki fazla havanın emniyet valfinden dış ortama atılan havanın debisi	kg/s
$\dot{m}_{egh,çık}$: Zon mahal alanı içinden egzoz ile dış ortama	kg/s
Q	: Sistemin dış ortamdaki taşınım ve iletim ile aldığı ısı	J
W _{iş}	: Sistemde yapılan iş	J
$\dot{m}_{z_1h,gir}$ = \dot{m}_{z_h}	: Zon mahal alanı içine giren havanın debisi	kg/s
h_g	: Mahal alanı içine giren havanın özgül entalpi	J/kg
$h_ç$: Mahal alanı dışına çıkan havanın özgül entalpi	J/kg
U	: Sistemin iç enerjisi	J
C _v	: Sabit hacimde özgül ısı	kJ/kgK
C _p	: Sabit basınçta özgül ısı	kJ/kgK
T	: Mahal alan iç sıcaklık	°C
T _n	: Mahal alan içindeki anlık sıcaklık	°C
T _{n-1}	: Mahal alan içindeki bir döngüden önceki sıcaklık	°C
T _{sh,gir}	: Fan kanalından mahal alan içine giren soğuk hava sıcaklığı	°C
T _{dış}	: Dış ortam sıcaklığı	°C
$h_{dış}$: Mahal alan dış yüzey ısı taşınım katsayısı	J/m ² K
$h_{iç}$: Mahal alan iç yüzey ısı taşınım katsayısı	J/m ² K
k	: Isıl iletim katsayısı	J/mK
L ₁	: Mahal alan yüzey et kalınlığı	m
L ₂	: Mahal alan yüzey et kalınlığı	m
FLQR	: Bulanık Lineer Kuadratik Regülatör	
LQR	: Lineer Kuadratik Regülatör	
PSO	: Parçacık Sürü Optimizasyonu	
PID	: Orantısal-İntegral-Türevsel	

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1. İki zonlu HVAC Sisteminin Şematik Gösterimi	8
Şekil 3.2. PSO tabanlı LQR kontrol yönteminin blok diyagramı.....	14
Şekil 3.3. PSO tabanlı FLQR kontrol yönteminin blok diyagramı	15
Şekil 3.4. Giriş değerleri e ve e için tanımlanan PSO-FLQR üyelik fonksiyonları	16
Şekil 3.5. Çıkış değeri u için tanımlanan PSO-FLQR üyelik fonksiyonları	16
Şekil 4.1. Zon-1 bölgesi için PID yöntemi uygulandığında elde edilen a) Sıcaklık değişimi ve b) hata grafiği	19
Şekil 4.2. Zon-2 bölgesi için PID yöntemi uygulandığında elde edilen.....	20
a) Sıcaklık değişimi ve b) hata grafiği.....	20
Şekil 4.3. Zon-1 bölgesi için PID kontrol uygulandığında elde edilen damper açıklık değişimi.....	21
Şekil 4.4. Zon-2 bölgesi için PID kontrol uygulandığında elde edilen damper açıklık değişimi.....	22
Şekil 4.5. Zon-1 bölgesi için LQR yöntemi uygulandığında elde edilen a) Sıcaklık değişimi ve b) hata grafiği	23
Şekil 4.6. Zon-2 bölgesi için LQR yöntemi uygulandığında elde edilen a) Sıcaklık değişimi ve b) hata grafiği	24
Şekil 4.7. Zon-1 bölgesi için LQR kontrol yöntemi uygulandığında elde edilen damper açıklık değişimi.....	25
Şekil 4.8. Zon-2 bölgesi için LQR kontrol yöntemi uygulandığında elde edilen damper açıklık değişimi.....	25
Şekil 4.9. Zon-1 bölgesi için PSO- LQR yöntemi uygulandığında elde edilen a) Sıcaklık değişimi ve b) hata grafiği	27
Şekil 4.10. Zon-2 bölgesi için PSO- LQR yöntemi uygulandığında elde edilen a) Sıcaklık değişimi ve b) hata grafiği.....	28
Şekil 4.11 Zon-1 bölgesi için PSO-LQR yöntemi uygulandığında elde edilen damper açıklık değişimi.....	29
Şekil 4.12. Zon-2 bölgesi için PSO-LQR yöntemi uygulandığında elde edilen damper açıklık değişimi.....	30
Şekil 4.13. Zon-1 bölgesi için PSO- FLQR yöntemi uygulandığında elde edilen a) Sıcaklık değişimi ve b) hata grafiği.....	31
Şekil 4.14. Zon-2 bölgesi için PSO- FLQR yöntemi uygulandığında elde edilen a) Sıcaklık değişimi ve b) hata grafiği.....	32
Şekil 4.15. Zon-1 bölgesi için PSO-FLQR yöntemi uygulandığında elde edilen damper açıklık değişimi.....	33
Şekil 4.16. Zon-2 bölgesi için PSO-FLQR yöntemi uygulandığında elde edilen damper açıklık değişimi.....	34
Şekil 4.17. Zon-1 bölgesi için uygulanan kontrol yöntemlerinin sıcaklık değişimi karşılaştırma grafiği	35
Şekil 4.18. Zon-2 bölgesi için uygulanan kontrol yöntemlerin sıcaklık değişimi karşılaştırma grafiği	35
Şekil 4.19. Zon-1 bölgesi için uygulanan kontrol yöntemlerinin damper açıklık değişimi karşılaştırma grafiği	36
Şekil 4.20. Zon-2 bölgesi için uygulanan kontrol yöntemlerinin damper açıklık değişimi karşılaştırma grafiği	36

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Literatürde bulunan çalışmaların karşılaştırma tablosu.....	5
Çizelge 3.1. PSO-FLQR kontrol yönteminin üyelik fonksiyonlarının değerleri.....	17
Çizelge 3.2. PSO-FLQR kontrol yönteminin kural tablosu.....	17
Çizelge 4.1. Zon-1 Sıcaklık Hata ($^{\circ}\text{C}$).....	37
Çizelge 4.2. Zon-2 Sıcaklık Hata ($^{\circ}\text{C}$).....	37



1. GİRİŞ

Günümüzde hızla artan dünya nüfusu, yapılaşma ve teknoloji gelişimi enerji tüketimi talebini arttırmaktadır. Ancak giderek artan talep nedeniyle azalan sınırlı enerji kaynağı nedeniyle enerji kaynaklarının verimli ve kullanımı oldukça önemli bir hale gelmektedir. İklim değişikliği, küresel ısınma ve ozon tabakasının delinmesi gibi çevresel koşullar enerji kaynaklarının kullanımı ve tüketiminin önemini artırmaktadır. Binalarda tüketilen enerji, bir ülkede tüketilen toplam enerjinin büyük bir bölümünü kapsamaktadır. Binalarda tüketilen enerjinin toplam harcanan enerjiye oranı her geçen gün artmaktadır. Teknoloji geliştikçe insanoğlunun konfor alanının önemi de artmaktadır (Aereboe, 1995). İklimlendirme sistemleri sayesinde enerji tüketimi azalacağı için daha düşük maliyetler oluşacaktır (Mathews ve ark., 2001). Yapılan öngörülere göre enerji harcama yönelimi, ilerleyen yıllarda da artmayı sürdürecektir (Pérez-Lombard ve ark., 2008). Binalarda ve endüstriyel uygulamalarda enerji sarfiyatının yaklaşık %40'ı iklimlendirme sistemlerinde harcanmaktadır. İnsanların gerek yaşam alanı gerek endüstriyel uygulamalarda istenen hava kalitesini elde etmesi için ortamın konfor şartlarını (istenen sıcaklık, nem, temiz hava ve kirlilik vb.) kontrol etmesi gerekmektedir (Yılmaz, 2009). İnsanların çevre şartları daima iş yapabilme performanslarından etkilenmektedir. Bu nedenle insanoğlu daha konforlu bir yaşam alanı oluşturmaya çalışmaktadır.

Ortamların taze ve temiz hava akışı, optimum sıcaklık ve nem koşullarının elde edilmesi ve aynı zamanda enerji tasarrufu sağlanması için ısıtma, havalandırma ve iklimlendirme (Heating Ventilating Air Condition-HVAC) sistemleri aktif olarak kullanılmaktadır. Enerjinin verimli kullanılabilmesi için HVAC sistemlerinin kullanımı daha önemli bir hale gelmektedir (Soyguder ve ark., 2009). HVAC sistemlerinin önemli görevlerinden biri de uygun ortam şartlarını sağlamaktır. Genel olarak insanlar zamanlarının çoğunu kapalı ortamlarda geçirdikleri için çevre ve ortam şartları insan sağlığı ile çalışma performansını etkilemektedir (Yu ve ark., 2009).

HVAC sistemlerinin modellenmesi ve kontrol edilmesi oldukça zordur. Çünkü sürekli değişen sıcaklık, nem ve hava akışı sistemlerin modellenmesi ve kontrolünü oldukça zorlaştırmaktadır. Bu sistemlerin kontrolünde temel hedef ısı konforu ve iç hava kalitesi sağlamak, enerji giderlerini ve çevresel kirliticileri en düşük düzeyde tutmaktır. HVAC sisteminin değişkenleri olan sıcaklık, hacim ve kontrol teknikleri üzerinde yapılan incelemelere göre; HVAC sistemlerinden yüksek verimin elde

edilmesi enerji tüketiminin en aza düşürülmesi ile sağlanabilir (Stanfort, 1998). Sistemlerin modellenmesinde klasik ve yapay zekâ tabanlı modellemeler kullanılmaktadır. Sistemlerin kontrolünde ise klasik kontrol yöntemleri ve yapay zekâ tabanlı kontrol yöntemleri kullanılmıştır. Bu kapsamda yapılan çalışmada HVAC sistemlerinin modelleme ve kontrol tekniklerinde kullanılan yöntemler araştırılmış ve irdelenmiştir.



2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

HVAC sistemlerinin modellenmesi ve kontrol edilmesi üzerine çok sayıda çalışmalar yapılmış ve yapılmaya devam edilmektedir. Lute ve Paassen yaptıkları çalışmalarda, optimal kontrol ile bir binanın iç sıcaklığı kontrolü sağlamaya ve çözüm bulmaya çalışmışlardır. Ayrıca binaya ısı sağlamayı ekonomik yönden en uygun şekilde kontrol edilmesi ve olması gereken sıcaklık değerini değişik kontrol yöntemleriyle önceden varsayacak bir denetim sistemi üzerine çalışmışlardır (Lute ve van Paassen, 1995). Asiedu ve ark. (2000) yaptıkları çalışmada havalandırma kanalları tasarlarken HVAC sisteminde en az maliyete ulaşabilmek amacıyla genetik algoritma yöntemini kullanmıştır. HVAC sistemlerinin dizayn ederken bu yöntem ekonomik açıdan verimli olmasını sağlamıştır. Ayrıca bu yaklaşım sayesinde esneklik, basitlik ve uzman bilgisinin algoritmaya kolay bir şekilde eklenebileceğinin mümkün olduğu saptanmıştır (Asiedu ve ark., 2000).

Bruant ve ark. (2001) yaptıkları çalışmada, ısı konfor şartlarını ve iç hava niteliğini bir denetim bölgesinde ihtiyacına uygun karşılayarak, enerji sarfiyatını minimum yapmak için bulanık mantık ve klasik aç-kapa kontrol yöntemlerini kıyaslamışlardır. Çalışma split klimayla donatılmış bir denetim bölgesinde uygulanmıştır. Bulanık denetleyicinin seçilme amacı hiyerarşik bir mimari için kurallar sayısını azaltmak ve sayesinde kural tekniklerini ilerletmektir. Yaptıkları çalışma neticesinde bulunan veriler klasik aç-kapa kontrol ısı konfor şartlarını ve iç hava niteliğini sağlayamamıştır. Ayrıca bulanık kontrol yönteminin kullanılmasıyla ısı konfor ve iç hava niteliği sağlanmış ve daha az enerji sarfiyatı olduğu tespit edilmiştir (Bruant ve ark., 2001).

Engdahl ve Svensson yaptıkları çalışmada, en iyi şekilde iklimlendirilmiş bir iç mekan sağlamak amacıyla enerjiyi istenilen düzeyde verimli kullanılan ve uzun süre kullanılabilen bir sistem tasarlamışlardır. Bu amaçla HVAC sisteminde bulunan basınç kontrollü bir değişken hava hacmi seçilerek çözüm işlemleri yapılmıştır. Ayrıca difüzörler arasındaki debi farkı dikkate alınıp hesaplanmış, temel denklemler oluşturulup basınç sensörü yerleştirilmiştir. Üst seviyedeki besleme hava debisi sayesinde ortamda çalışanların verimini artırma etkisi gözlemlenmiştir. % 100 dış hava kullanılarak besleme hava akışını artırmıştır. Farklı bölgelerde hava debisi değiştirmeyi sağlayarak diğer bölgeleri etkilemeden yapılabildiği gösterilmiştir. Fan gücü

gereksinimini ile ses düzeyini en aza indirmek için fan basıncının ayar değerlerini optimize etmiştir (Engdahl ve Svensson, 2003).

Yılmaz ve ark. (2005) yaptıkları çalışmada, değişen hava debili iklimlendirme sistemini bir ofis binası için modelleyip bu ofis binası üzerinde kontrol yöntemlerinin kıyaslanmıştır. Ofis binası için oluşturulan modelde tüm zonlar soğutucu ve nem alıcı serpantin, soğutma ünitesi, fan ve kanallar için denklemler elde edilip alt modeller meydana getirilmiştir. Ayrıca değişen hava debili iklimlendirme sisteminin tüm modeli oluşturulmuştur. Matlab/Simulink programında modellere ve kontrol sistemine göre blok diyagramları çizilmiştir. Damper açıklık oranı çalışmaları sonucunda sıcaklık nem değeri, enerji miktarı ve zonalardaki konfor koşullarının sağlanması ile bulunmuştur (Yılmaz ve ark., 2005).

Soygüder ve Alli yaptıkları çalışmada, iki farklı zonlu değişken hava debili bir HVAC sisteminin matematiksel modellemesi dış ortam ve referans sıcaklığını göz önünde bulundurarak kontrolü gerçekleştirmiştir. Burada dış ortam sıcaklığını referans sıcaklığına ulaşana kadar soğutulması amaçlanmıştır. Alt modeller oluşturulup zonlara ait taşınım ve iletim ile oluşan ısı kayıplara, soğutma ünitesinin, fan ve kanalların ısı transfer denklemleri bulunmuştur. Damper açıklık oranlarının hesaplanmasıyla zonalardaki hava debileri, sıcaklık değerleri ayrıca konfor koşullarının oluşmasını sağlamıştır. Kontrol yöntemi olarak bulanık mantık ile PID kontrol ile değişken hava debili HVAC sisteminin sayısal benzetimi Matlab/Simulink paket programı kullanılarak yapılmıştır. Bulanık mantık kontrolü ile elde edilen grafikler damper açıklık oranlarıyla istenilen referans sıcaklık değerlerine daha çabuk bir şekilde ulaştığı gözlenmiştir. Modelin PID kontrolde damper açıklık oranları ve istenilen sıcaklık değerine bulanık mantık kontrolüne göre daha fazla hata görülmüştür (Soygüder ve Alli, 2008).

Şengirgin ve Pulat (2011) , tek bölgeli bir ısıtma – havalandırma sisteminin istenilen ısı değerlere ulaşılması ve modellenmesinin zamana göre değişimi irdelemiştir. Aç – kapa kontrol yöntemi ile geri dönüş havası ve dış ortam sıcaklığının sistemin kontrolü üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Aç – kapa kontrol yöntemi ile denetimi yapılan sistemin sayısal benzetimi Matlab/Simulink'te yapılmıştır. Enerjiyi verimli ve tasarruflu kullanmamızı sağlayan dönüş havasıdır. Ancak olması gereken değeri geçmesi iç havanın niteliğini etkilemektedir (Şengirgin ve Pulat, 2011).

Yiğit ve ark. (2013) yaptığı çalışmada, ortamın sıcaklığını 5°C düşürebilmek için HVAC sisteminde bulanık mantık ve klasik aç-kapa yöntemleri kullanarak kontrolü sağlamaktır. İklimlendirilmiş ortamın sıcaklıkla değişimi zamana bağlı olarak ve ortama

gönderilen enerji miktarının havayı soğutmasını sağlamak için zamana göre değişimi araştırılmıştır. Sonuç olarak elde edilen verilere bakılacak olursa konfor şartları sağlanması ayrıca enerji tasarrufu bakımından bulanık mantık kontrolünün aç-kapa kontrole göre daha elverişli olduğu gözlenmiştir (Yiğit ve ark., 2013).

Özbek ve Eker yaptıkları çalışmada, HVAC sisteminde kontrol edilen alanın, değişiklik gösteren ısı yükleri ile sistemi etkileyen olumsuzlukları aralıksız bir şekilde olması gereken uygun durumda tutmak için model tabanlı öngörülü kontrol yöntemini kullanmıştır. Sisteme ait denge denklemleri oluşturulmuştur. Ayrıca matematiksel modellemesinden yararlanarak sistemin ilerleyen zamanda nasıl davranacağını ve en uygun kontrol şekli olan modele dayalı öngörülü kontrolü amaçlanmıştır (Özbek ve Eker, 2015). Aşağıda çizelgede literatürde verilen çalışmaların bir özeti sunulmuştur. Çalışmaların literatüre ana katkıları ve avantajları gösterilmiştir.

Çizelge 2.1. Literatürde bulunan çalışmaların karşılaştırma tablosu

Referanslar	Önerilen kontrol yöntemleri	Sonuçlar/Avantajlar
Karkamaz, 1998	Sonlu farkla yaklaşım metodu	Sayısal model, ısıtma ve soğutma serpantinlerinin kısa vadeli performansını analiz edebilmiştir.
Wang ve ark., 2000	Santrifüj soğutma gruplarının mekanik modeli	Chiller dinamiğinin HVAC sistem üzerinde kontrol performansı belirlenmiştir.
Browne ve Bansal, 2002	Termal kapasitans yaklaşımı	Buhar sıkıştırırmalı sıvı soğutucuların benzetim modeli tahminleri $\pm\%10$ aralığında bulunmuştur.
Wang ve Hihara, 2003	Eşdeğer kuru termometre sıcaklık yöntemi	Bobin yüzeyleri üzerindeki soğutma moduna ilişkin tahminler doğru elde edilmiştir.
Kulkarni ve Hong, 2004	İki konumlu ve PI kontrol yöntemleri	Termal konfor açısından PI kontrolü iki konumlu kontrolden çok daha iyi performansa sahip olduğu görülmüştür.
Yao ve ark., 2004	Klasik kontrol teorisi	Bazı durumlarda bobinlerin dinamik ısı transferinde analiz edilirken benzetimde hatalar meydana gelmiştir.
Lei ve Zaheeruddin, 2005	Kütle ve enerji dengesi ilkelerine dayalı model	Soğutma modeli için belirli bir çalışma frekansında mümkün olan minimum valf konumu bulunmuştur.
Chu ve ark., 2005	En Az Entalpi Tahmincisi (LEE) yöntemi	Uygulanan yöntem sonucunda amaçlanan termal konfor sağlanmıştır.
Ruano ve ark., 2006	Radyal tabanlı sinir ağları kullanılarak kontrol	Enerji tüketimini azaltan iyi bir iç mekan sıcaklığı elde edilmiştir.
Nassif ve ark., 2008	Genetik algoritma vasıtasıyla kendi model parametreleri ayarlayan HVAC modeli	Ölçülen ve tahmin edilen sonuçların doğruluğunu yöntem düzeltildiği sonucuna varılmıştır.
Zhang ve ark., 2009	Kısmi farklılaşma denklemi (PDE)	Model soğutma geçişlerini makul bir şekilde tahmin etmiştir. Ancak sıkıştırma işleminin politropik ve statik olduğunu varsayarak

		kompresörün dinamiklerini gözden kaçırmıştır.
Ghiaus ve Hazyuk, 2010	Model tahminli programlama (MPP) ve termal denge kullanılarak model geliştirme	Performansını etkileyen nem iletimi dikkate alınmadığı için modelin eksik olduğu görülmüştür.
Platt ve ark., 2010	Adaptif HVAC modeli	Modelleme ve tahmin sonuçları, tahmin süresi ne kadar kısa olursa, iç mekân sıcaklığı tahmininin o kadar doğru yapılabileceğini göstermiştir.
Goyal ve ark., 2011	Direnç Kapasitans (RC) ağlarına sahip bir model geliştirme	Model, bölge sıcaklıklarını yalnızca iletim modeline göre daha doğru bir şekilde tahmin etmiştir.
Nassif ve ark., 2011	Genetik algoritma	Çalışmalar sonucunda HVAC sisteminde %16 miktarda enerji tasarrufu yapılabileceği gösterilmiştir.
Privara ve ark., 2011	Tahmine dayalı kontrol yöntemi	Enerjide %17-24 oranında tasarruf sağlanmıştır.
Oldewurtel ve ark., 2012	Model Öngörülü Kontrol Yöntemi	Kontrolündeki hava tahminin belirsizlik kararlarını doğrudan tahmin ettiği gözlemlenmiştir.
Ferreira ve ark., 2012	Sinir ağları tabanlı tahmine dayalı kontrol	Yaklaşık olarak %50 enerji tasarrufu sağlandı.
Garnier ve ark., 2014	Tahmine dayalı kontrol yöntemi	Enerji verimliliği ve termal konforda iyileşme görülmüştür.
Afram ve Janabi-Sharifi, 2015	Açma-kapama kontrol yöntemi	Geliştirilen model yüksek doğrulukla elde edildi ve çıktı değişimlerini hassas bir şekilde tahmin ettiği görülmüştür.
Huang ve ark., 2015	Yapay sinir ağı model tabanlı kontrol yöntemi	Tek bölgeci modele göre daha doğru tahmin sonuçları elde edilmiştir.
Barrett ve Linder, 2015	Takviyeli öğrenme tabanlı kontrol yöntemi	Enerji kaybını önleme ve termal konfor sağlanmıştır.
Attaran ve ark., 2016	Epsilon kısıtlaması-RBF sinir ağına dayalı yeni bir optimizasyon algoritması ile PID kontrol yöntemi	Konforunu sağlandığı enerji tüketimini azaltıldığı gözlemlenmiştir.
Wei ve ark., 2017	Derin Q ağları ile öğrenme tabanlı kontrol yöntemi	Termal konfor sağlama ve enerji tasarrufu elde edilmiştir.
Homod, 2018	Hibrit katmanlı kontrol algoritması ile bulanık çıkarım yöntemi	Çalışmalar sonucunda enerji tasarrufuna elverişli olduğu gözlemlenmiştir.
Zhang ve ark., 2019	Model tabanlı takviyeli öğrenme	Enerji tüketimini azaltılmış ve termal rahatlık sağlanmıştır.
Chen ve ark., 2019	Tahmine dayalı pekiştirmeli öğrenme kontrol yöntemi	Termal konfor sağlama ve enerji tasarrufu sağlanmıştır.
Ding ve ark., 2019	Derin Q ağları tabanlı kontrol yöntemi	Termal rahatlık sağlandı ve iç mekânın hava kalitesini konfor şartlarına uygun hale getirilmiştir.
Gao ve ark., 2020	Takviyeli öğrenme tabanlı kontrol yöntemi	Enerji kaybını önlemektedir ve termal konfor sağlanmıştır.
Brandi ve ark., 2020	Derin takviyeli öğrenme tabanlı kontrol yöntemi	Enerji tüketimini azaltılmış ve termal konfor sağlanmıştır
Rahimpour ve ark., 2020	Kural tabanlı yaklaşık dinamik programlama (ADP) yöntemi	Termal konfor sağlanmıştır.
Kou ve ark., 2021	Veriye dayalı sinir ağları ile kontrol	Enerji maliyetini düşürülmüş ve termal konfor sağlanmıştır
Du ve ark., 2021	Derin takviyeli öğrenme tabanlı kontrol yöntemi	Enerji maliyetini en aza indirilmiş ve termal konfor sağlanmıştır.

Li ve Du, 2023	Derin takviyeli öğrenme tabanlı kontrol yöntemi	Termal konfor ve enerji tasarrufu sağlanmıştır.
----------------	---	---

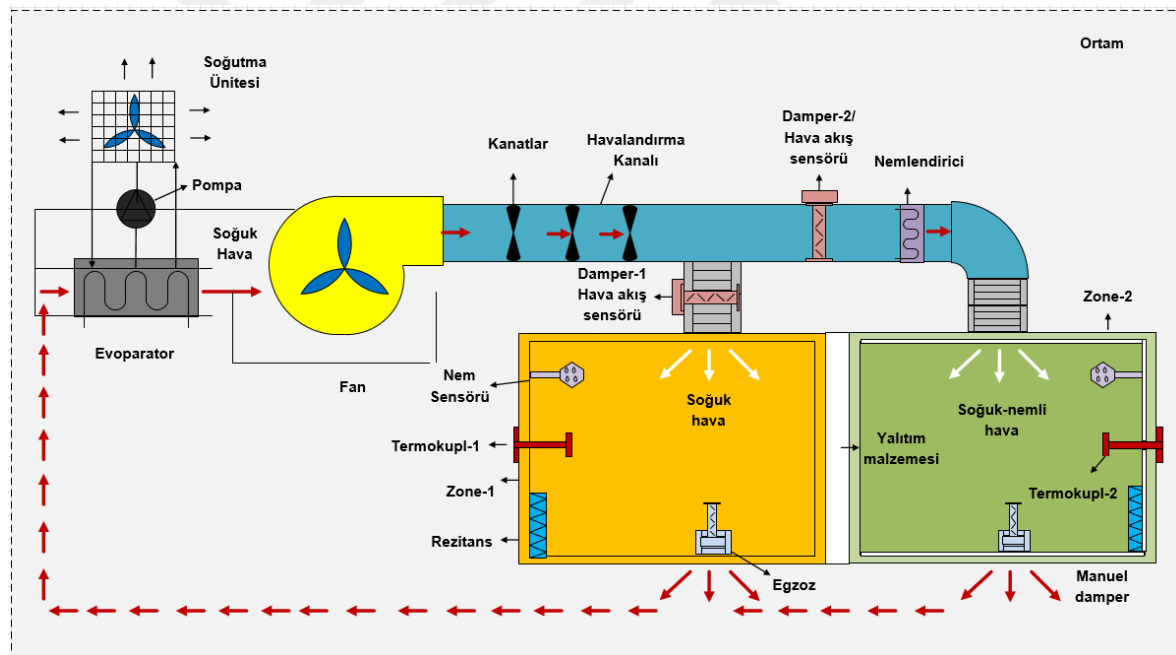


3. MATERYAL ve YÖNTEM

Bu bölümde HVAC sisteminin modellenmesi ve kontrolü için önerilen ve uygulanan kontrol yöntemlerinin tasarımı verilecektir.

3.1 Modelleme

HVAC sistemlerinin benzetim ortamında kontrolü için model denklemleri gerekmektedir. Bu sistemlerin modellenmesi sırasında sürekli değişen sıcaklık, nem ve hava akışı sistemlerin modellenmesini oldukça zorlaştırmaktadır. Bundan dolayı model denklemleri elde edilirken bazı kabuller yapılmıştır. Anlık hava hız değişimlerinin basınca etkisi, bölgenin egzoz dışında hava çıkışının olmadığı, hava akışının homojen olduğu, zon içerisine giren hava miktarı ve çıkan hava miktarının eşit olduğu kabulleri yapılarak sistem modellenmiştir. İki zonlu HVAC sisteminin şematik gösterimi Şekil 3.1’de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. İki zonlu HVAC Sisteminin Şematik Gösterimi

HVAC sistemi soğutulan zon alanları, buharlaştırıcı (evaporatör), soğutma ünitesi, fan, kanallar, damper motorları, kanatlar, termokupllar, nem sensörleri ve rezitanslardan meydana gelmektedir. Her bir zon mahali 0.5 m^3 hacimde olacak şekilde tasarlanmıştır. Zone-1 alanının tüm yüzeyleri yalıtım malzemesi (strafor) ile kaplanmış Zone-2 alanında ise bu uygulama gerçekleştirilmemiştir. Bu tip tasarımın amacı, farklı özelliklere sahip iki bölge için referans sıcaklıklarını elde etmek amacıyla kararlı durum farklarını net bir şekilde görmek ve belirlemektir.

Her iki zon bölgesine besleme fanı bulunan ana kanaldan soğutulmuş hava transferi gerçekleştirilmektedir. Her iki zonun sıcaklık kontrolleri önerilen kontrolörler tarafından damper açıklık oranları düzenlenerek sıcaklık kontrolleri gerçekleştirilmektedir. Hava besleme fanı önce buharlaştırıcıdan elde edilen 7 °C havayı absorbe etmekte ve ardından her iki zona göndermektedir.

Soğutma ünitesinden absorbe edilen havanın kütleli debisi (\dot{m}_{kh}) değişmez çünkü besleme fanı sabit devirde çalışmaktadır. Ancak bölgelere giren havanın kütleli debisi bölgelerin sıcaklıklarına bağlı olarak değişmektedir. Zonlara giriş kütleli hava debileri $\dot{m}_{z1h,gir}$ ve $\dot{m}_{z2h,gir}$ 'nin sürekli değişimleri, kontrol çıkış sinyallerine bağlı olarak zon-kanal girişlerindeki damperlerin açıklık oranlarının kontrolleriyle gerçekleştirilmektedir. HVAC sisteminin süreklilik denklemi aşağıda verilen denklem 3.1'deki gibi oluşturulmaktadır.

$$\dot{m}_{kh} = \dot{m}_{z1h,gir} + \dot{m}_{z2h,gir} + \dot{m}_{emvçık} \quad (3.1)$$

Süreklilik denkleminde (denklem 3.1) verilen $\dot{m}_{emvçık}$ zonlardan gelen fazla havayı tahliye eden emniyet valfine aittir. Bölgelerin değişken girişli kütleli hava debileri damper motorları tarafından sağlanmaktadır.

Girişten bu yana bölgelerin akış hızlarında herhangi bir değişiklik olmadığı varsayıldığından akış hızı çıkış akış hızına eşittir. Bu nedenle süreklilik denklemini şu şekilde yazabiliriz:

Zon içerisine giren hava miktarı ve çıkan hava miktarının eşit olduğu dolayısıyla hava miktarında değişme olmadığı kabulü dikkate alınarak süreklilik denklemi aşağıdaki şekilde elde edilebilir (denklem 3.2).

$$\dot{m}_{z_h,gir} = \dot{m}_{eghçık} = \dot{m}_{zh} \quad (3.2)$$

Termodinamiğin birinci yasasına göre iç enerji denklemi (denklem 3.3a) şu şekilde ifade edilebilir:

$$Q - W_{i\dot{s}} + \sum U_g - \sum U_{\dot{c}} = \frac{du}{dt} \quad (3.3a)$$

$$\sum U_g = \sum \dot{m}_{zh,gir} \cdot h_g \quad (3.3b)$$

$$\sum U_{\dot{c}} = \sum \dot{m}_{eghçık} \cdot h_{\dot{c}} \quad (3.3c)$$

$$Q - W_{i\dot{s}} + \sum \dot{m}_{zh,gir} \cdot h_g - \sum \dot{m}_{egh,\dot{c}ik} \cdot h_{\dot{c}} = \frac{du}{dt} \quad (3.3d)$$

burada u ısının zamana bağılı değişimini temsil etmektedir. Sistemde herhangi bir iş yapılmadığı kabul edilirse denklem 3.3a aşağıdaki formda yeniden yazılabilir.

İç enerjinin zamanla değişimi

$$\frac{du}{dt} = (m_{zh} \cdot C_v) \cdot \frac{dT}{dt} \quad (3.4a)$$

$$Q + \dot{m}_{zh} \cdot (h_g - h_{\dot{c}}) = \frac{du}{dt} = \frac{(m_{zh} \cdot C_v) \cdot (T_{n-1} - T_n)}{dt} \quad (3.4b)$$

$$h_g = C_p \cdot (T_{du}) \quad (3.4c)$$

$$h_{\dot{c}} = C_p \cdot (T_{du}) \quad (3.4d)$$

$$h_g - h_{\dot{c}} = C_p \cdot (T_{sh,gir} - T_n) \quad (3.4e)$$

(3.4b) nolu denklem yeniden düzenlendiğinde 3.5 ve 3.6 nolu denklemler elde edilir.

$$Q + \dot{m}_{zh} \cdot C_p \cdot (T_{sh,gir} - T_n) = \frac{m_{zh} \cdot C_v \cdot (T_{n-1} - T_n)}{dt} \quad (3.5)$$

$$Q + \dot{m}_{zh} \cdot C_p \cdot (T_{sh,gir} - T_n) = m_{zh} \cdot C_v \cdot \frac{du}{dt} \quad (3.6)$$

burada T anlık sıcaklık değişimini temsil eder. Dış ortamdan sistemin içine taşınım ve iletim ile oluşan ısı denklemini şu şekilde ifade edilebilir:

$$R = \frac{L}{A \cdot k} \quad (3.7)$$

$$Q = \frac{T_{du} - T_n}{R_{es}} = \frac{T_{dış} - T_n}{\frac{1}{h_{dış,A}} + \frac{L_1}{k_1 \cdot A} + \frac{L_2}{k_2 \cdot A} + \frac{1}{h_{iç,A}}} \quad (3.8)$$

Mahal modelinin son haldeki birinci mertebeden diferansiyel ısı denklemini aşağıdaki gibi oluşturulabilir:

$$\frac{dT}{dt} = \frac{Q + \dot{m}_{zh} \cdot C_p \cdot (T_{sh,gir} - T_n)}{m_{zh} \cdot C_v} \quad (3.9)$$

3.2 HVAC Sisteminin Kontrolü

HVAC sistemlerinde kullanılan kontrol yöntemleriyle kontrol edilen birimin konfor koşullarında bozulmaya yol açmaksızın kullanılan enerjinin kullanımında avantajlar sağlayabilir. HVAC sistemlerinde en uygun kontrol; sistemin sıcaklık ve basınç değerlerini otomatik kumanda ile ihtiyaca göre ayarlamak, kullanılmayan ortamları ısıtma ve soğutma düzenine sokarak konfor şartlarını sağlamak aynı zamanda sınırlı enerji kullanımını ayarlamaktır (Yakut ve ark., 2002). HVAC sistemlerinde kullanılan kontrol yöntemleriyle konfor koşullarını bozmadan enerji tasarrufu sağlanabilir. Kontrolün temel amacı sürekli değişen şartlara rağmen sürekli istenilen şartlarda tutulmasıdır (Koru, 2000).

Otomatik kontrol elemanları tarafından HVAC sistemleri içerisinde bulunan hava, su, buhar ve çeşitli akışları çoğunlukla ayarlanır. Valfler HVAC sisteminde buhar ve su akışını dengede tutan kontrol aletleridir. Damperler ise hava akışını düzenleyip dengelemeye çalışır. HVAC sistemlerinde kontrol yöntemlerinden alt kontrollerle istenilen kontrol sistemleri belirli başlıklarla oluşturulabilir. Alt kontrollerden anlaşılması gereken sistemi kontrol eden alt parçacıkları kontrol altına almak ve bunların diğer parçacıklarla irtibatını sağlayıp kontrollerini yapmaktır (Yakut ve ark., 2002).

Kontrolör tasarlanırken bir önceki bölümde sistemin benzetim ortamında kontrolü için model denklemleri hazır hale getirilmiştir. Sistemin kontrolündeki amaç, kontrolörlerin konforu arttırarak minimum hata değeri elde edilen bir kontrolör tasarlamaktır. HVAC sistemi için tasarlanan bu kontrolörlerin amacı iki zonlu bölgelerin hedeflenen sıcaklık değerlerini elde edilmesidir. HVAC sistemi PID, Lineer Kuadratik Regulator (LQR) ve PSO tabanlı Lineer Kuadratik Regulator (PSO-LQR) ve PSO tabanlı Bulanık Lineer Kuadratik Regulator (PSO-FLQR) kontrol yöntemleri kullanılarak kontrol edilmiştir.

3.2.1 Oransal-İntegral-Türevsel (PID) Kontrol

Birçok uygulamada kullanılan eski bir yöntem olmasına rağmen hala iyi bir performans gösteren PID (Proportional-Integral-Derivative) kontrol yönteminin matematiksel eşitliği 3.10 nolu denklemde verilmiştir. John G. Ziegler ve Nathaniel B. Nichols tarafından ileri sürülen Ziegler-Nichols yöntemi kullanılarak PID kontrol katsayılarının elde edildi(Ziegler ve Nichols, 1942).

Bu yöntem içerisinde de kapalı çevrim kontrol tipi kullanıldı. Denklem 3.10'da verilen kontrol yönteminde K_p oransal kazanç, K_i integral kazanç, K_d türevsel kazancı göstermektedir.

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t) + K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (3.10)$$

3.2.2 Lineer Kuadratik Regülatör (LQR) Yöntemi

Bir sistemin kontrolü sırasında ortada bulunan en önemli problem çeşitli ekonomik ve güvenlik kısıtlamaları altında belirlenen performans indeksini minimize eden optimal kontrol yasasını belirlemektir. Bir sistemin kontrolü sırasında ortada bulunan en önemli problem belirlenen performans indeksini minimize eden optimal kontrol yasasını belirlemektir. Lineer Kuadratik Regülatör (LQR) kontrol yöntemi optimal kontrol yöntemlerinden biridir ve bu yöntem sistemin durum-uzay modeli kullanan bir yöntemdir (Anderson ve Moore, 2007). Tam durum geri besleme tipinde bir denetleyicidir. Optimum kontrolün ana hedefi, bir sistemin bazı fiziksel kısıtlamaları karşılmasına ve aynı zamanda seçilen bir performans kriterini veya maliyet fonksiyonunu aşırıya çıkarmasına (maksimize etmek veya en aza indirmek) sebep olacak kontrol sinyallerini elde etmektir. LQR kontrol yöntemi basit, optimal ve sağlam olduğundan yaygın olarak kullanılmaktadır. (Abut, 2016)

$u = -K * x$, LQR kontrol yönteminin giriş şeklidir. K geri besleme kontrol girişi, x ise sistemin durumlarını göstermektedir. Durum-uzay denklemleri kullanılarak elde edilen aşağıdaki maliyet fonksiyonunu minimize edecek şekilde bir kontrol girişi seçilir.

$$J = \frac{1}{2} \int_0^t (x^T(t)Qx + u^T Ru) dt \quad (3.11)$$

Kontrolün hedefi kuadratik performans endeksinin integralini en aza indirmektir. Q ve R matrisleri ağırlık matrislerini göstermektedir. Q pozitif yarı tanımlı simetrik matris ve R ise pozitif tanımlı bir matrisdir ($Q \geq 0, R > 0$). Optimal kontrolde u kontrol vektörü x ise sistemin durumlarını göstermekte 3.11 nolu denklem hem $x(t)$ 'ye hem de $u(t)$ 'ye göre kuadrattır. Optimum geri besleme girişi K aşağıdaki denklem kullanılarak elde edilmiştir.

$$K = R^{-1}B^T P \quad (3.12)$$

Burada B sistemin giriş matrisinin göstermektedir. P pozitif tanımlı matrisin değeri Riccati denklemi yardımıyla elde edilmiştir. Burada A durum matrisini göstermektedir.

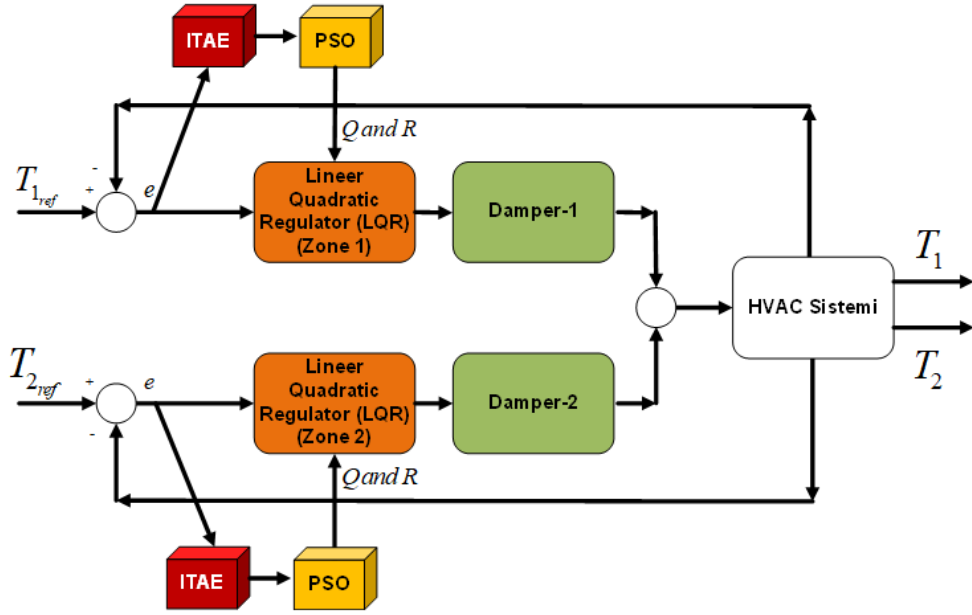
$$A^T P + PA - PBR^{-1}B^T P + Q = 0 \quad (3.13)$$

LQR kontrol yönteminde kritik öneme sahip Q ve R matrislerinin nasıl optimize edileceğine dair çeşitli çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada LQR kontrol yönteminin Q ve R parametrelerinin elde edilmesinde Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO) algoritması kullanılmıştır. Sürü tabanlı meta-sezgisel optimizasyon yöntemlerinden olan PSO algoritmasının tercih edilmiştir (Eberhart ve Kennedy, 1995; Poli ve ark., 2007).

LQR kontrol yönteminin parametrelerinin PSO için amaç fonksiyonu olarak zaman ağırlıklı mutlak hatasının integrali (ITAE) kullanılmıştır. PSO algoritmasında parçacık sayısı 30 ve iterasyon sayısı 100 olarak alınmıştır.

$$G = ITAE_{T_{zone_1}} + ITAE_{T_{zone_2}} = \int_0^t t |e_{T_{zone_1}}| dt + \int_0^t t |e_{T_{zone_2}}| dt \quad (3.14)$$

$e_{T_{zone_1}}$ zon-1, 1. Bölgenin sıcaklık kontrol hatasını ve $e_{T_{zone_2}}$ zon-2 ise 2. bölgenin sıcaklık kontrol hatasını göstermektedir. Çalışma süresi t ile gösterilmiştir. Şekil 3. 2'de PSO tabanlı LQR kontrol yönteminin blok diyagramı gösterilmiştir.



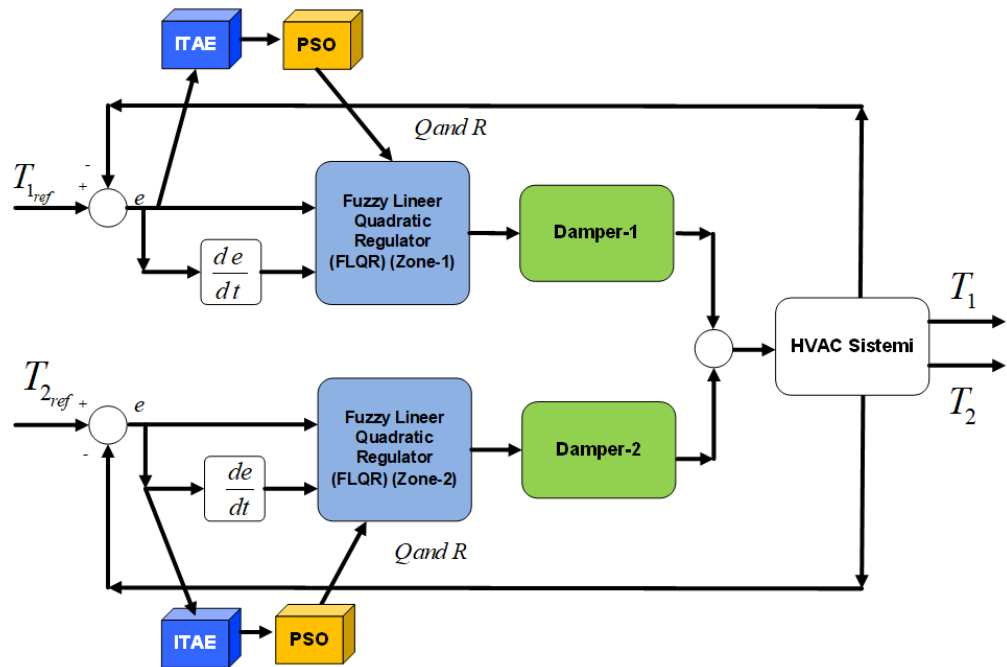
Şekil 3.2. PSO tabanlı LQR kontrol yönteminin blok diyagramı

3.2.3 Bulanık Lineer Kuadratik Regülatör (FLQR)

Bulanık mantık algoritması Zadeh tarafından önerilen ve beş aşamadan oluşan bir yöntemdir. İlk aşamada girdi değişkenlerini bulanık bir kümeye dönüştürüldüğü bulanıklaştırma, ikinci aşamada kural tabloları, üyelik fonksiyonları ve kural tabanı oluşmaktadır (Zadeh, 1988). Bu kural tabanı sistem hakkında bilgi sahibi uzman kişilerin sözel ifadelerinden elde edilen bir grup IF-THEN kurallarından oluşmaktadır (Abut ve Soyguder, 2022; Abut ve Salkim, 2023). Üçüncü aşama Çıkarım mekanizması, bu kuralların sistem üzerindeki çıkarım sürecini yürütür ve bulanık çıktılar verir. Dördüncü aşama olan veri tabanında bulanık kümelerin üyelik fonksiyonlarını ve tanım kümesini tanımlamaktadır. Son aşama olan Durulaştırma kısmında bir bulanık kümeyi çıktı için net bir değere dönüştürülmektedir (Soyguder ve ark., 2009; Soyguder ve Alli, 2010; Abut ve Soyguder, 2019).

HVAC sisteminin kontrolü için önerilen bir diğer yöntem olan Bulanık Lineer Kuadratik Regulator (FLQR) kontrol yöntemi, Lineer Kuadratik Regulator (LQR) ve Bulanık Mantık kontrol yöntemlerinin avantajlı yönlerinin bir araya getirilip kullanıldığı bir kontrol yöntemidir. LQR kontrol yönteminin performansını etkileyen Q ve R matrislerinin bulanık mantık ile elde edilmesi, değişken sıcaklık değerlerine bağlı olarak önerilen yöntemin (FLQR) dinamik bir yapıya dönüşmesine neden olmakta ve böylelikle sistemin değişken şartlara karşı performansını artırarak yöntemin gerçeğe yakın performans sergilemesi hedeflenmiştir. Hata (e) ve hatanın türevini (\dot{e}) girdi olarak kullanan FLQR denetleyicisi durum geri besleme kazanç ifadelerini değiştirmek için bulanık denetleyici kurallarını kullanmaktadır.

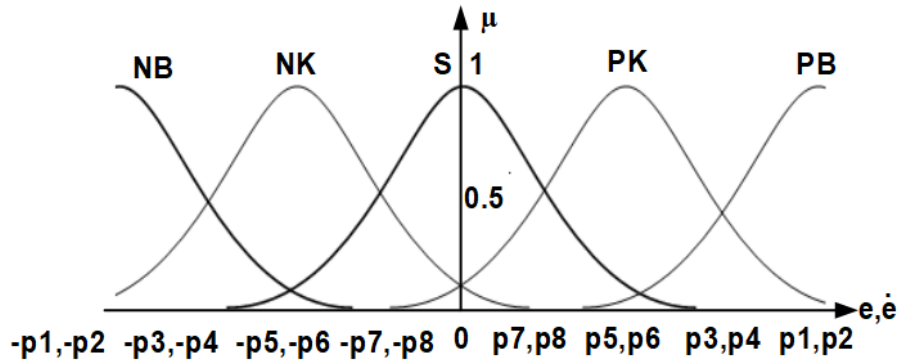
FLQR kontrol algoritmasının üyelik fonksiyonlarının sınır değerleri Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO) algoritması kullanılarak elde edilmiştir. PSO için amaç fonksiyonu olarak zaman ağırlıklı mutlak hatasının integrali (ITAE) belirlenmiştir. PSO algoritmasında parçacık sayısı 30 ve iterasyon sayısı 100 olarak alınmıştır. Şekil 3.3'te PSO tabanlı FLQR kontrol yönteminin blok diyagramı verilmiştir.



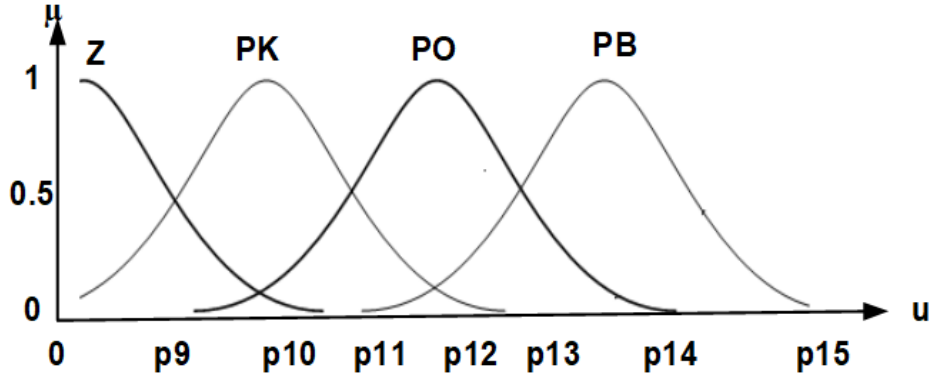
Şekil 3.3. PSO tabanlı FLQR kontrol yönteminin blok diyagramı

Kontrolör, hatayı (e) ve hataların değişim oranını (\dot{e}) giriş değeri olarak kullanmaktadır. PSO-FLQR kontrol yönteminde Mamdani methodu ve gauss tipi üyelik fonksiyonları kullanılmıştır. PSO-FLQR için oluşturulan üyelik fonksiyonları ve kural tablosu aşağıda verilmiştir. Şekil 3.4 'te sistemin giriş değerleri e ve \dot{e} için tanımlanan üyelik fonksiyonları ve sınır değerleri gösterilmiştir. Şekil 3.5'te çıkış

değerleri (sıcaklık değerleri) için tanımlanan üyelik fonksiyonları ve sınır değerleri gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Giriş değerleri e ve \dot{e} için tanımlanan PSO-FLQR üyelik fonksiyonları



Şekil 3.5. Çıkış değeri u için tanımlanan PSO-FLQR üyelik fonksiyonları

Çizelge 3.1’de PSO-FLQR kontrol yönteminde kullanılan üyelik fonksiyonlarının PSO algoritmasıyla optimize edilmiş sınır değerleri verilmiştir. Çizelge 3.2’te PSO-FLQR kontrol yöntemi için oluşturulan kural tablosu verilmiştir. Çizelgede bulanık kontrol değişkenleri e, \dot{e}, u sırasıyla hata, hata değişimi ve u ifadesini göstermektedir. Çizelgede verilen NB, NK, S, Z, PK, PO, PB sırasıyla Negatif Büyük, Negatif Küçük, Sıfır, Pozitif Küçük, Pozitif Orta, Pozitif Büyük ifadelerini göstermektedir.

Çizelge 3.1. PSO-FLQR kontrol yönteminin üyelik fonksiyonlarının değerleri

p_1	p_2	p_3	p_4	p_5	p_6	p_7	p_8
1	0.8	0.71	0.64	0.47	0.39	0.24	0.18
p_9	p_{10}	p_{11}	p_{12}	p_{13}	p_{14}	p_{15}	
0.31	0.42	0.57	0.63	0.72	0.84	1	

Çizelge 3.2. PSO-FLQR kontrol yönteminin kural tablosu

u	NB	NK	S	PK	PB
NB	NB	NB	PK	PB	NK
NK	NK	PO	S	NK	PB
S	S	NK	PO	PB	PM
PK	PO	NB	PB	PK	PB
PB	PB	PB	NB	PK	PB

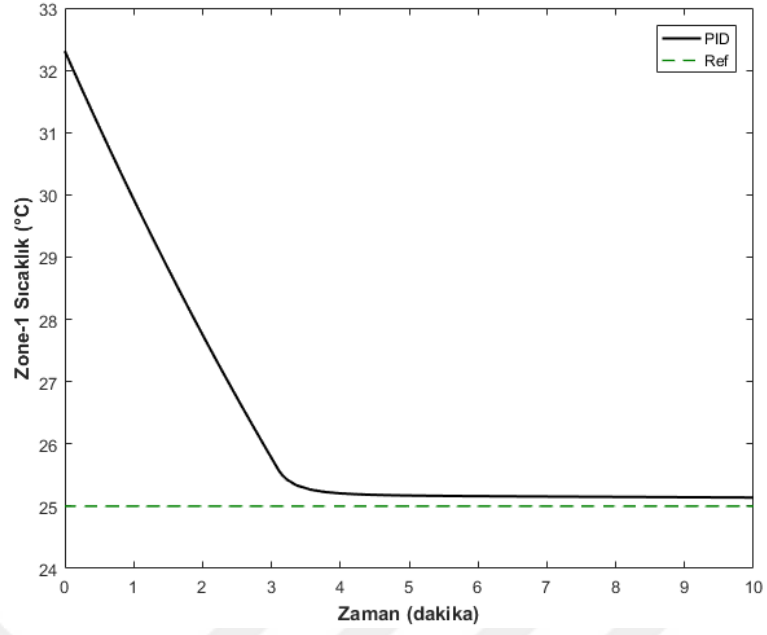
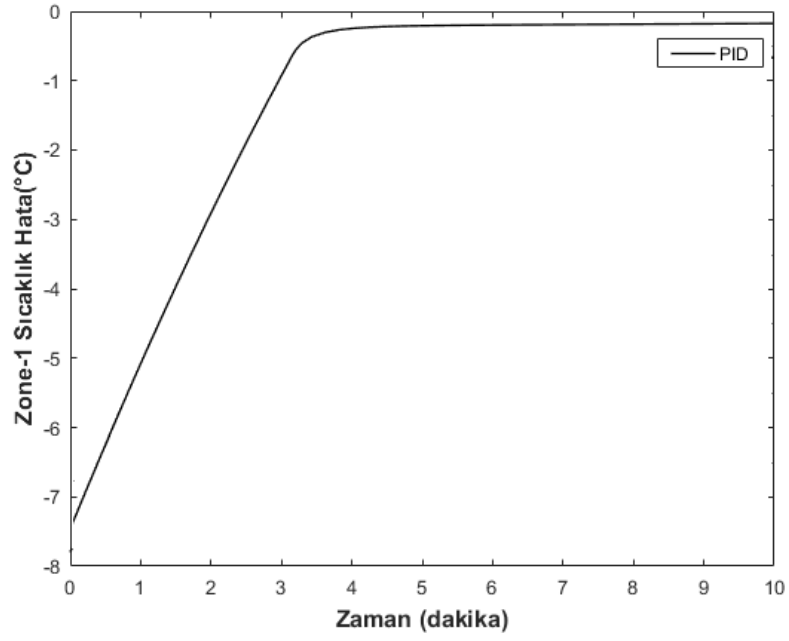
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI ve TARTIŞMA

Bu çalışmada iki farklı zonlu HVAC sisteminin kontrolü gerçekleştirilmiştir. HVAC sisteminin model denklemleri ve kontrol yöntemleri kullanılarak elde edilen sonuçlar bu kısımda verilecektir. HVAC sistemi PID, Lineer Kuadratik Regülatör (LQR) ve PSO tabanlı Lineer Kuadratik Regülatör (PSO-LQR) ve PSO tabanlı Bulanık Lineer Kuadratik Regülatör (PSO-FLQR) kontrol yöntemleri kullanılarak kontrol edilmiştir. Elde edilen sonuçlar sayısal ve grafiksel olarak verilecektir.

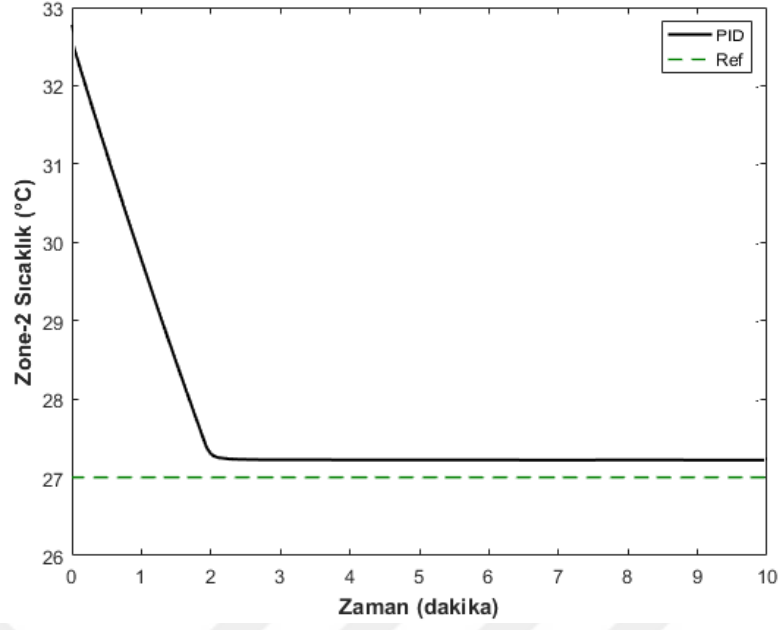
İki farklı sıcaklık değerine sahip iki zonlu HVAC sisteminin kontrolü gerçekleştirilmiştir. Ortam sıcaklık değeri, meteoroloji verileri göz önünde bulundurularak Muş il merkezi Ağustos ayının ilk haftası (1-7 Ağustos günleri) en yüksek ortalama sıcaklık değeri 32.2 °C olarak alınmıştır. İki zondan oluşan bu bölgede, buharlaştırıcı sabit debi ile 5 °C ile alınan havayı değişken debi ile zonlara iletmektedir. Zon girişlerinde bulunan klapeler sıcaklık değişimlerine bağlı olarak 0° ile 90° arasında değişim göstererek ortama giren hava debisinin ayarlanmasını sağlamaktadır. Klapenin başlangıç konumu olan 90° 'de ise hava girişinin olmadığı 0° 'de ise içeriye maksimum hava girişinin olduğu kabul edilmiştir. Ortam, Zon 1 ve Zon 2 bölgesinin iç sıcaklık değeri 32.2 °C olarak alınmıştır. Zon 1 ve Zon 2 bölgesinin referans iç sıcaklık değerleri sırasıyla 25 °C ve 27 °C olarak alınmıştır ve bu bölgeler belirtilen sıcaklık değerlerine kadar soğutulmuştur. Damper açıklık oranını etkileyen klapelerin kanal kesitleri oranı 0.05 m² olarak alınmıştır. Benzetim süresi 10 dakika olarak belirlenmiştir.

4.1 PID

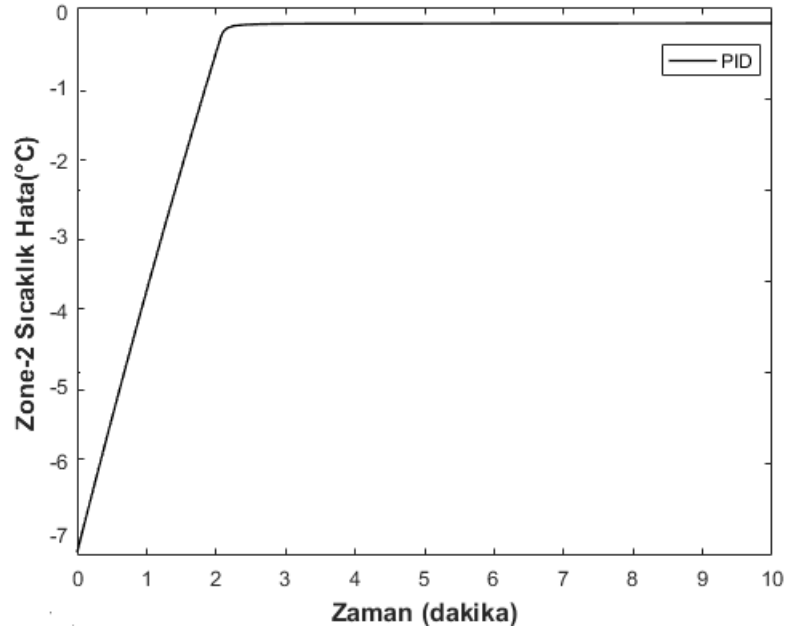
HVAC sisteminin kontrolünde kullanılan ilk yöntem olan PID kontrol yöntemi ile elde edilen sonuçlar verilmiştir. Yöntemin uygulanması sonucu elde edilen Zon 1 sıcaklık değişimi ve sıcaklık hata grafiği Şekil 4.1a ve Şekil 4.1b'de verilmiştir. Benzer şekilde Zon 2 sıcaklık değişimi ve sıcaklık hata grafiği Şekil 4.2a ve Şekil 4.2b'de verilmiştir.

**a)****b)**

Şekil 4.1. Zon-1 bölgesi için PID yöntemi uygulandığında elde edilen a) Sıcaklık değişimi ve b) hata grafiği



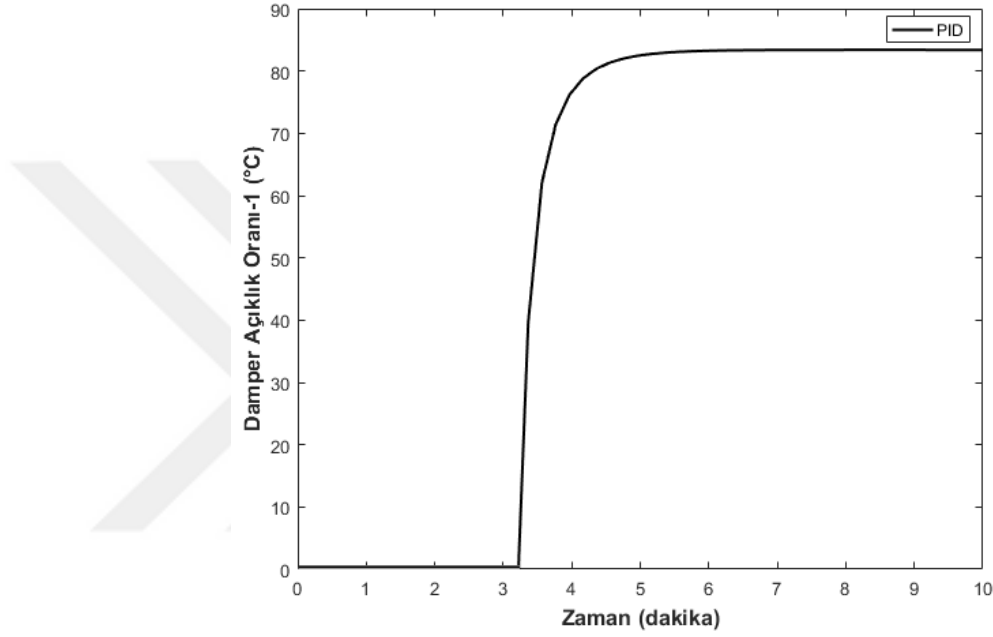
a)



b)

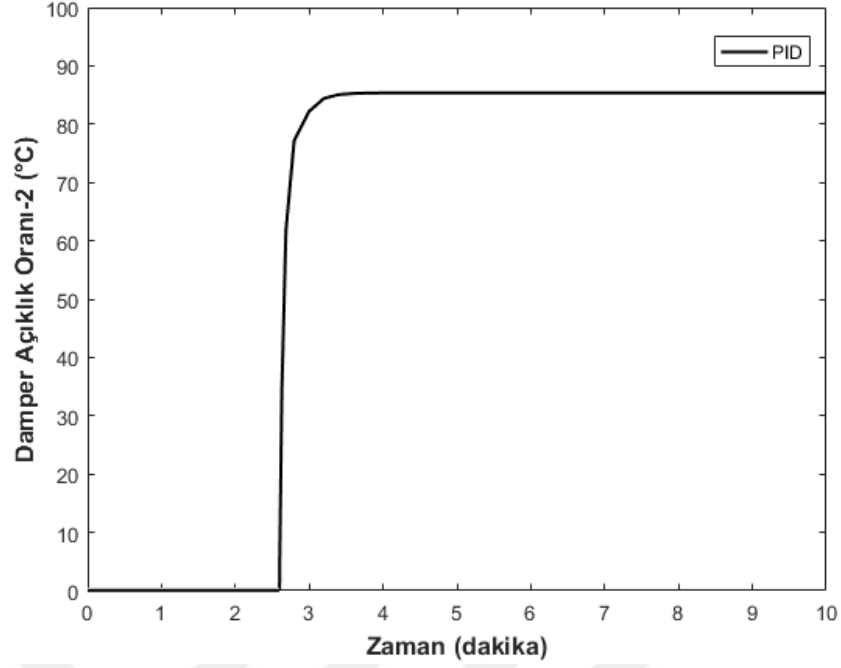
Şekil 4.2. Zon-2 bölgesi için PID yöntemi uygulandığında elde edilen
a) Sıcaklık değişimi ve b) hata grafiği

PID kontrol yöntemiyle yapılan çalışmalar sonucu elde edilen Zon-1 ve Zon-2 mahal sıcaklık grafiklerinde görüldüğü üzere, uygulanan yöntem ile ortam sıcaklık değerlerinin istenilen referans sıcaklık değerlerine yaklaştığı fakat arzu edilen sonuçların elde edilemediği görülmektedir. Ayrıca PID yönteminde hem sürekli rejim hatasının olduğu hem de geçici rejim süresinin uzun olduğu görülmektedir. HVAC sistemine uygulanan PID kontrol yönteminin sonucu elde edilen Zon 1 ve Zon 2 için damper açıklık oranı değişimleri grafikleri Şekil 4.3 ve Şekil 4.4'te verilmiştir.



Şekil 4.3. Zon-1 bölgesi için PID kontrol uygulandığında elde edilen damper açıklık değişimi

Klapenin tamamen açık olduğu 0° deki konumu kanaldan soğuk havanın geçtiğini göstermektedir. Zon-1 bölgesinin sıcaklığı girilen sıcaklık değerine yaklaşmaya başladığı an klapenin kapanmaya başladığı Şekil 4.3'de görülmektedir.

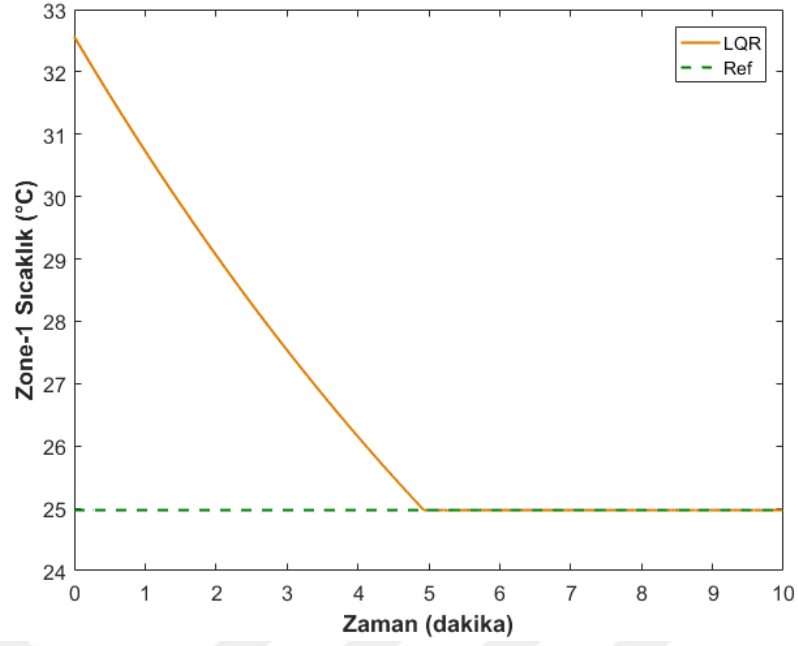


Şekil 4.4. Zon-2 bölgesi için PID kontrol uygulandığında elde edilen damper açıklık değişimi

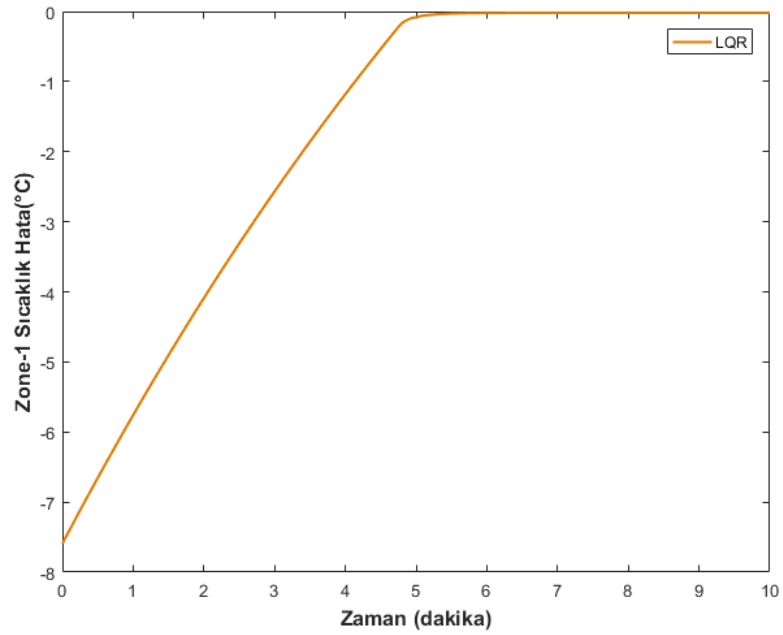
Zon-2 mahal bölgesi için istenilen referans sıcaklık değeri 27°C 'dir. İç sıcaklığı $32,2^{\circ}\text{C}$ 'dir. Şekilde görüldüğü üzere Zon-2 mahal bölgesinin ortam sıcaklığı referans sıcaklık değerini yakaladığı zaman Zon-2'e ait klapenin kapanmaya başladığı görülmektedir ancak arzu edilen sonuca ulaşamamıştır.

4.2 Lineer Kuadratik Regülatör (LQR)

HVAC sisteminin kontrolünde kullanılan ilk yöntem olan LQR kontrol yönteminin modellenen sisteme uyarlanması sonucu elde edilen sonuçlar verilmiştir. Yöntemin uygulanması sonucu elde edilen Zon 1 sıcaklık değişimi ve sıcaklık hata grafiği Şekil 4.5a ve Şekil 4.5b'de verilmiştir. Benzer şekilde Zon 2 sıcaklık değişimi ve sıcaklık hata grafiği Şekil 4.6a ve Şekil 4.6b'de verilmiştir.



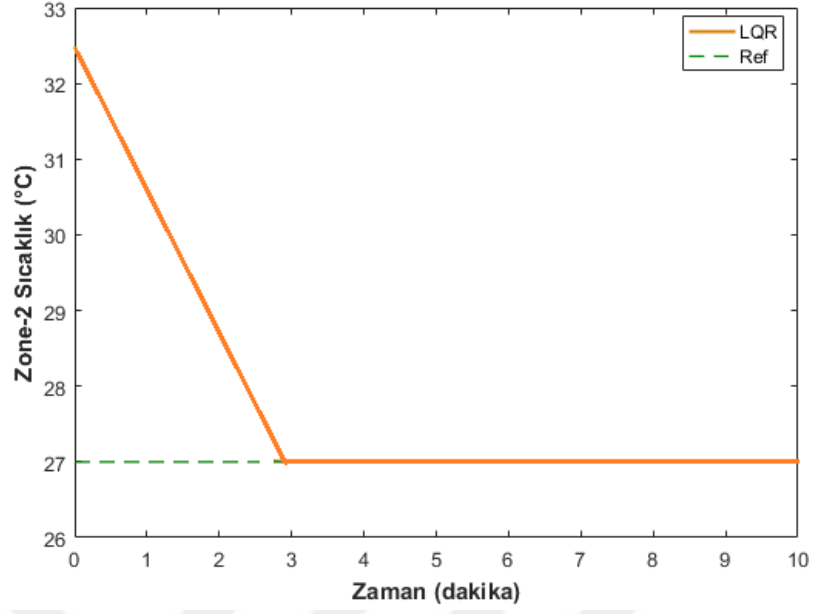
a)



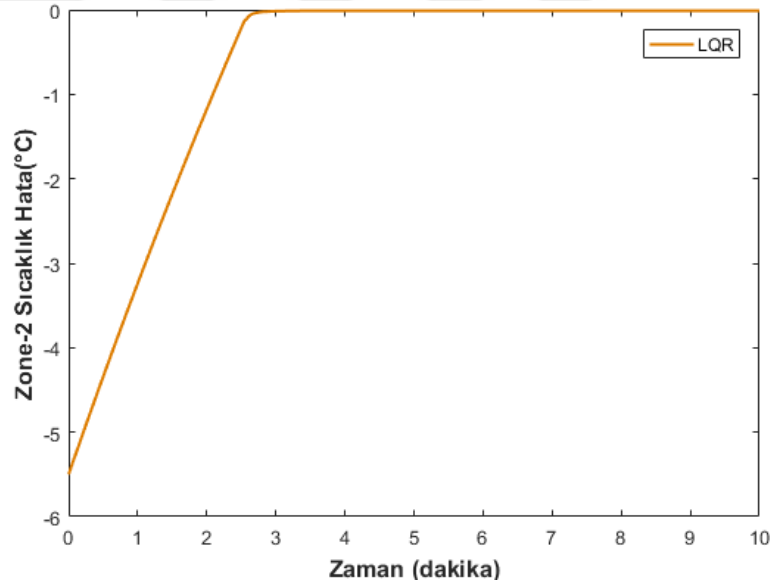
b)

Şekil 4.5. Zon-1 bölgesi için LQR yöntemi uygulandığında elde edilen **a)** Sıcaklık değişimi ve **b)** hata grafiği

LQR kontrol yönteminin sisteme uygulanması sonucu elde edilen ortam sıcaklığından istenilen sıcaklık değerine yaklaşık 5.5 dakikaya yakın bir süre de ulaşılmıştır (Şekil 4.5a ve Şekil 4.5b'de). Ayrıca Zon-1 bölgesi toplam yaklaşık 5.5 dakikada gibi bir hatayla kararlı hale geldiği gözlemlenmiştir.



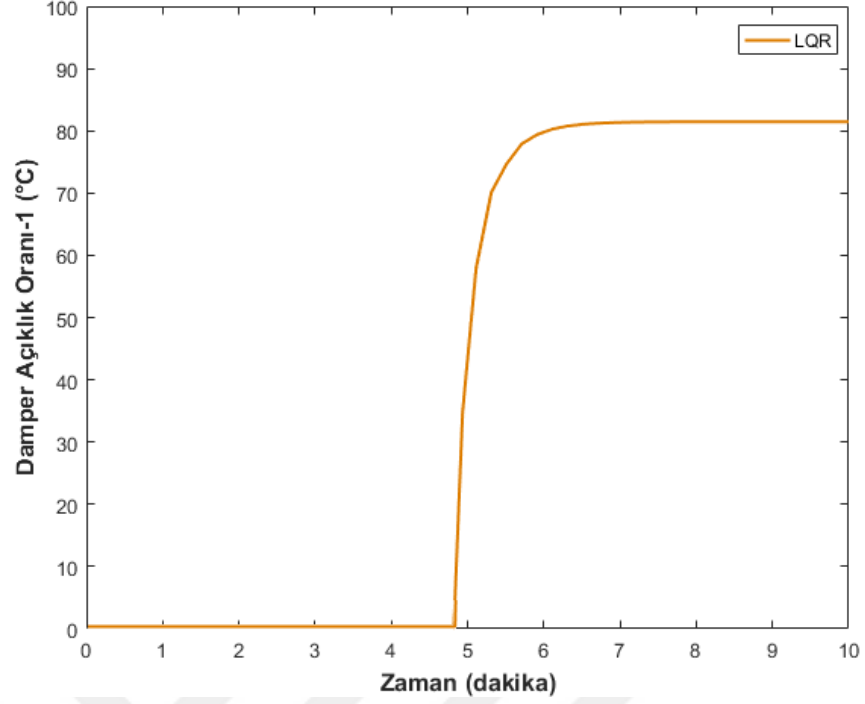
a)



b)

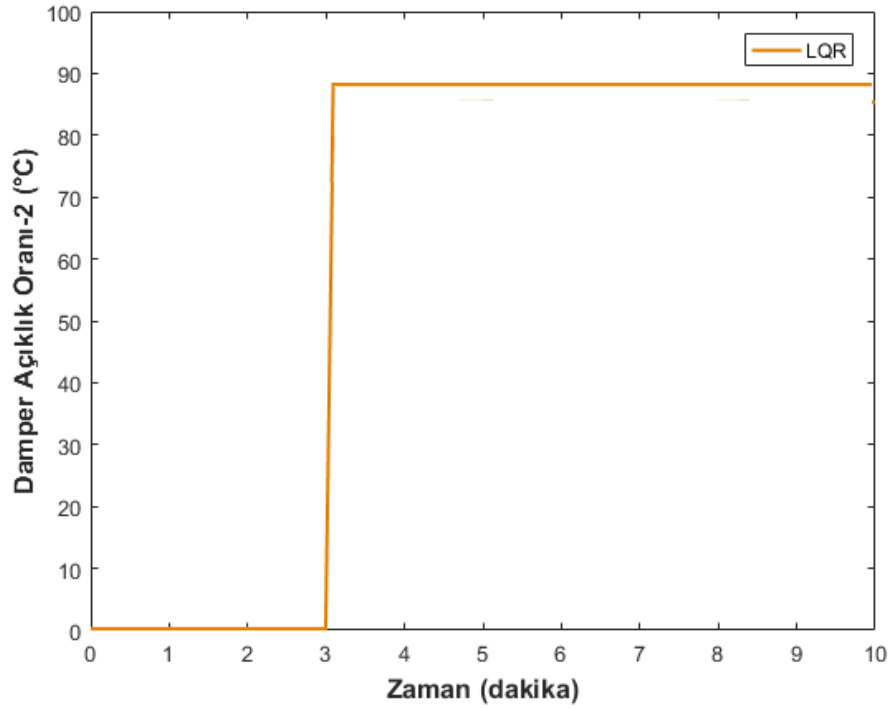
Şekil 4.6. Zon-2 bölgesi için LQR yöntemi uygulandığında elde edilen **a)** Sıcaklık değişimi ve **b)** hata grafiği

LQR kontrol yönteminin sisteme uygulanması sonucu Zon 2 ortam sıcaklığından istenilen sıcaklık değerine yaklaşık 3 dakikaya yakın bir süre de ulaşılmıştır (Şekil 4.6a ve Şekil 4.6b'de). Ayrıca Zon-2 mahal bölgesi yaklaşık 3 dakikada gibi bir hatayla kararlı hale geldiği gözlemlenmiştir. HVAC sistemine uygulanan LQR kontrol yönteminin sonucu elde edilen Zon 1 ve Zon 2 için damper açıklık oranı değişimi grafikleri Şekil 4.7 ve Şekil 4.8'de verilmiştir.



Şekil 4.7. Zon-1 bölgesi için LQR kontrol yöntemi uygulandığında elde edilen damper açıklık değişimi

Şekilde görüldüğü üzere (Şekil 4.7) Zon-1 mahal bölgesinin ortam sıcaklığı referans sıcaklık değerini yakaladığı zaman olan 4.8 dakikadan sonra Zon-1'e ait klapenin kapanmaya başladığı görülmektedir.

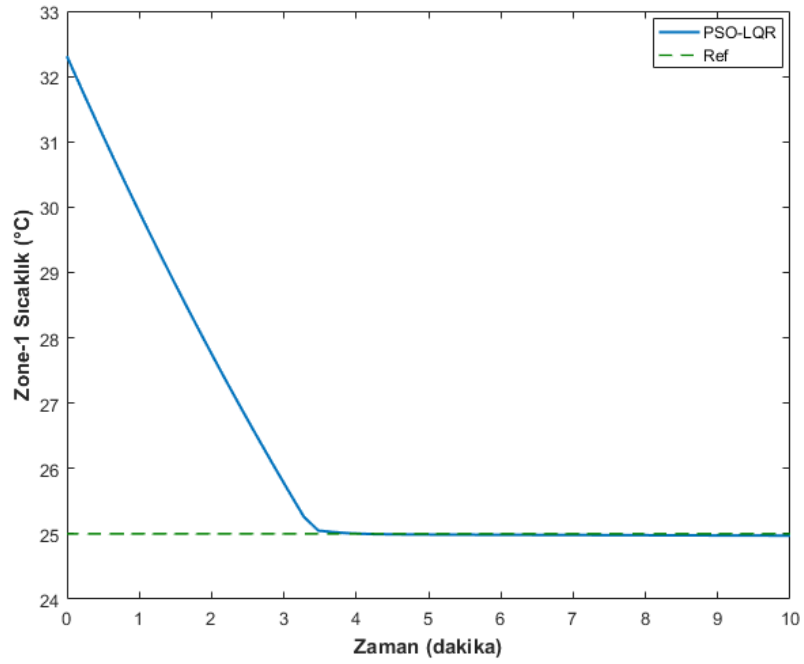


Şekil 4.8. Zon-2 bölgesi için LQR kontrol yöntemi uygulandığında elde edilen damper açıklık değişimi

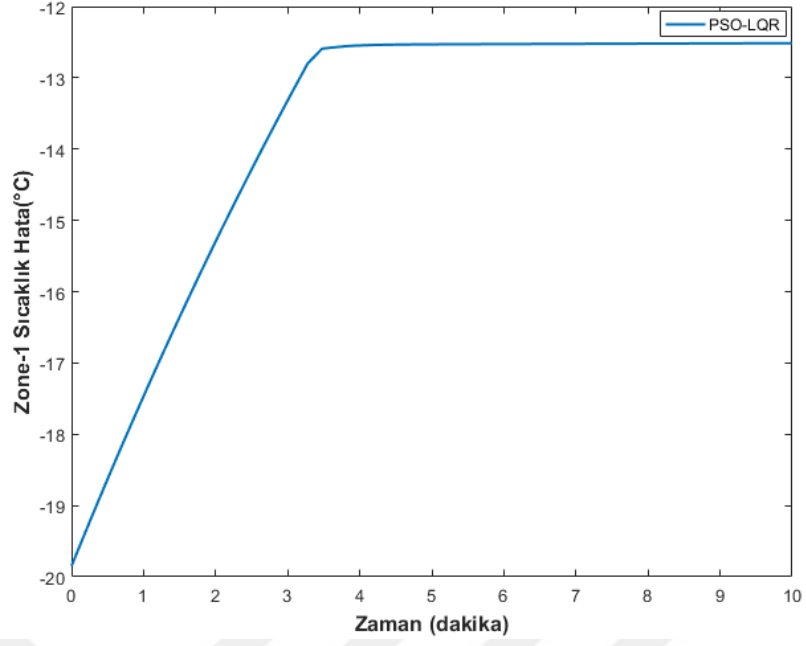
Zon-2 mahal bölgesinin ortam sıcaklığı referans sıcaklık değerini yakaladığı zaman olan yaklaşık 3 dakikadan sonra Zon-2'e ait klapenin kapanmaya başladığı görülmektedir.

4.3 PSO tabanlı Linear Kuadratik Regülatör (PSO-LQR)

HVAC sistemine uygulanan üçüncü kontrol yöntemi olan PSO tabanlı LQR kontrol yöntemi ile elde edilen sonuçlar bu kısımda verilecektir. HVAC sistemine PSO-LQR kontrol yönteminin uygulanması sonucu elde edilen Zone 1 sıcaklık değişimi ve sıcaklık hata grafiği Şekil 4.9a ve Şekil 4.9b'de verilmiştir. Benzer şekilde Zon 2 sıcaklık değişimi ve sıcaklık hata grafiği Şekil 4.10a ve Şekil 4.10b'de verilmiştir.



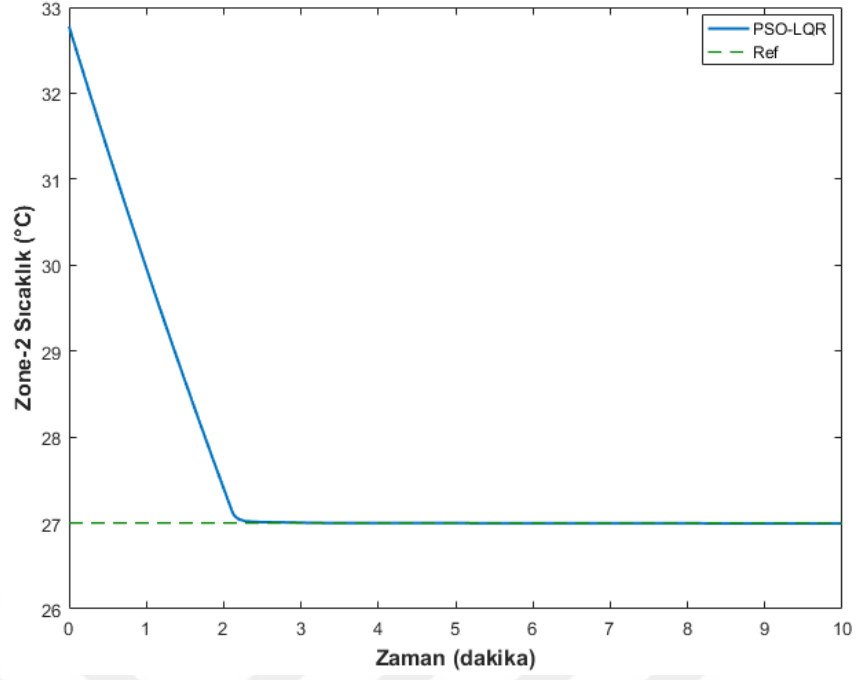
a)



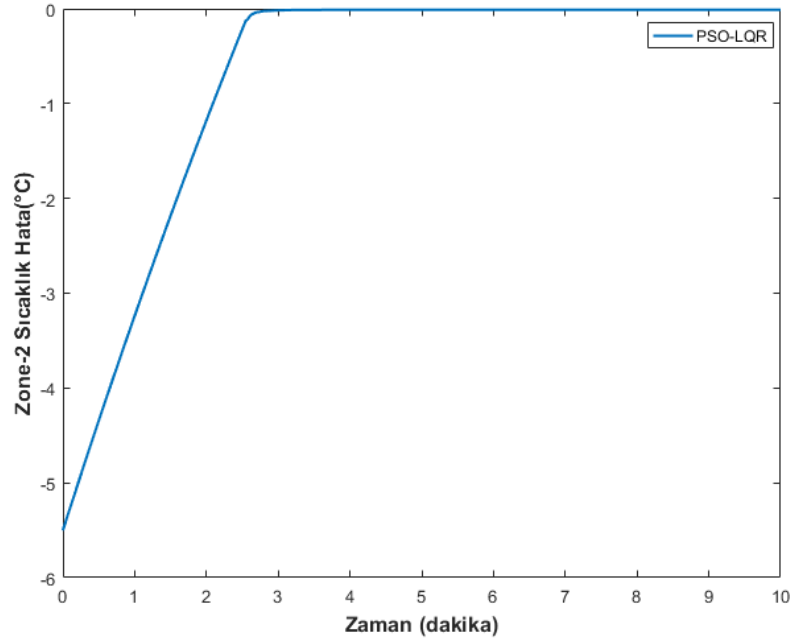
b)

Şekil 4.9. Zon-1 bölgesi için PSO- LQR yöntemi uygulandığında elde edilen **a)** Sıcaklık değişimi ve **b)** hata grafiği

PSO - LQR yönteminin sisteme uygulanması sonucu istenilen sıcaklık değerine PID ve LQR kontrol yöntemlerine göre daha kısa bir süre olan yaklaşık 4 dakikaya yakın bir süre de ulaşıldığı görülmektedir (Şekil 4.9a ve Şekil 4.9b'de). Ayrıca Zon 1 bölgesi toplam yaklaşık 4 dakika gibi bir yerleşme süresine sahiptir.



a)

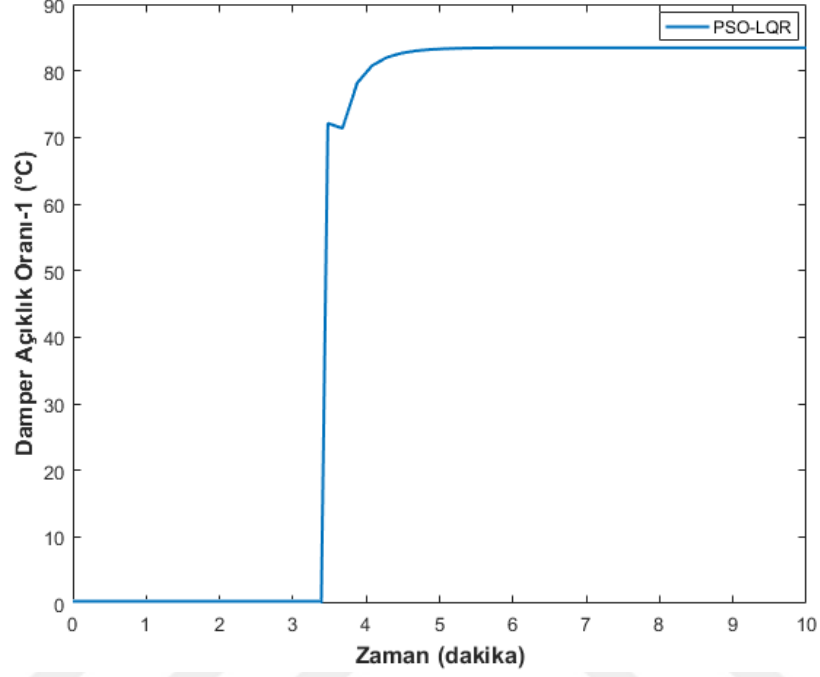


b)

Şekil 4.10. Zon-2 bölgesi için PSO- LQR yöntemi uygulandığında elde edilen a) Sıcaklık değişimi ve b) hata grafiği

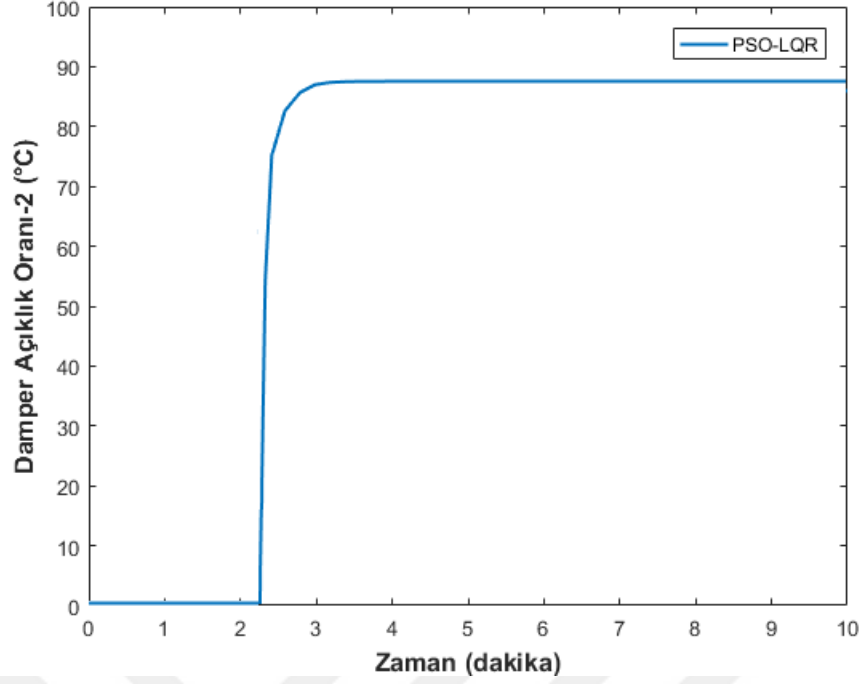
PSO - LQR kontrol yönteminin sisteme uygulanması sonucu Zon-2 ortam sıcaklığından istenilen sıcaklık değerine yaklaşık 2.6 dakikaya yakın bir süre de

ulaşmıştır (Şekil 4.10 a ve b’de). Ayrıca Zon-2 mahal bölgesi yaklaşık 2.6 dakika gibi bir hatayla kararlı hale geldiği gözlemlenmiştir. HVAC sistemine uygulanan PSO-LQR kontrol yönteminin sonucu elde edilen Zon 1 ve Zon 2 için damper açıklık oranı değişimi grafikleri Şekil 4.11 ve Şekil 4.12’de verilmiştir.



Şekil 4.11 Zon-1 bölgesi için PSO-LQR yöntemi uygulandığında elde edilen damper açıklık değişimi

Şekilde görüldüğü üzere (Şekil 4.11) Zon-1 mahal bölgesinin ortam sıcaklığı referans sıcaklık değerini yakaladığı zaman olan 4 dakikadan sonra Zon-1 ‘e ait klapanın kapanmaya başladığı görülmektedir.

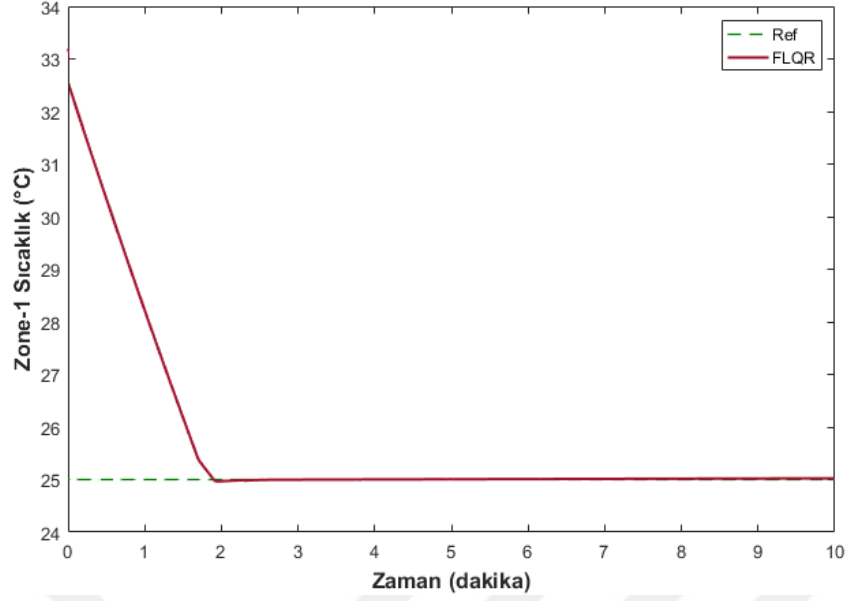


Şekil 4.12. Zon-2 bölgesi için PSO-LQR yöntemi uygulandığında elde edilen dampir açıklık değişimi

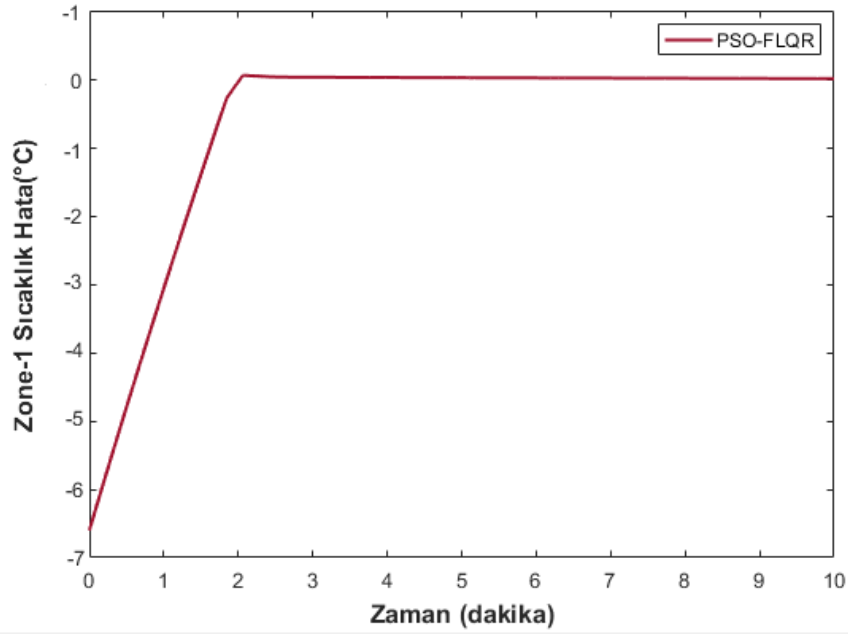
Zon-2 mahal bölgesinin ortam sıcaklığı referans sıcaklık değerini yakaladığı zaman olan yaklaşık 2.6 dakikadan sonra Zon-2'e ait klapenin kapanmaya başladığı görülmektedir (Şekil 4.12).

4.4. PSO tabanlı Bulanık Lineer Kuadratik Regülatör (PSO-FLQR)

HVAC sistemine uygulanan son yöntem olan PSO-FLQR kontrol yöntemi ile elde edilen sonuçlar verilecektir. HVAC sistemine uygulanan PSO-FLQR kontrol yönteminin sonucu elde edilen Zon 1 sıcaklık değişimi ve sıcaklık hata grafiği Şekil 4.13a ve Şekil 4.13b'de verilmiştir. Benzer şekilde Zon 2 sıcaklık değişimi ve sıcaklık hata grafiği Şekil 4.14 a ve Şekil 4.14b'de verilmiştir.



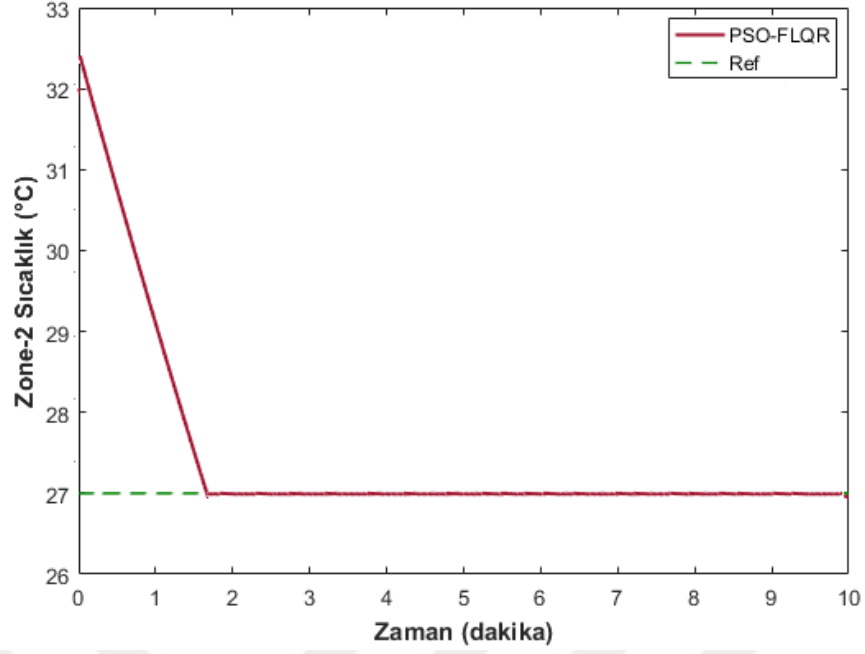
a)



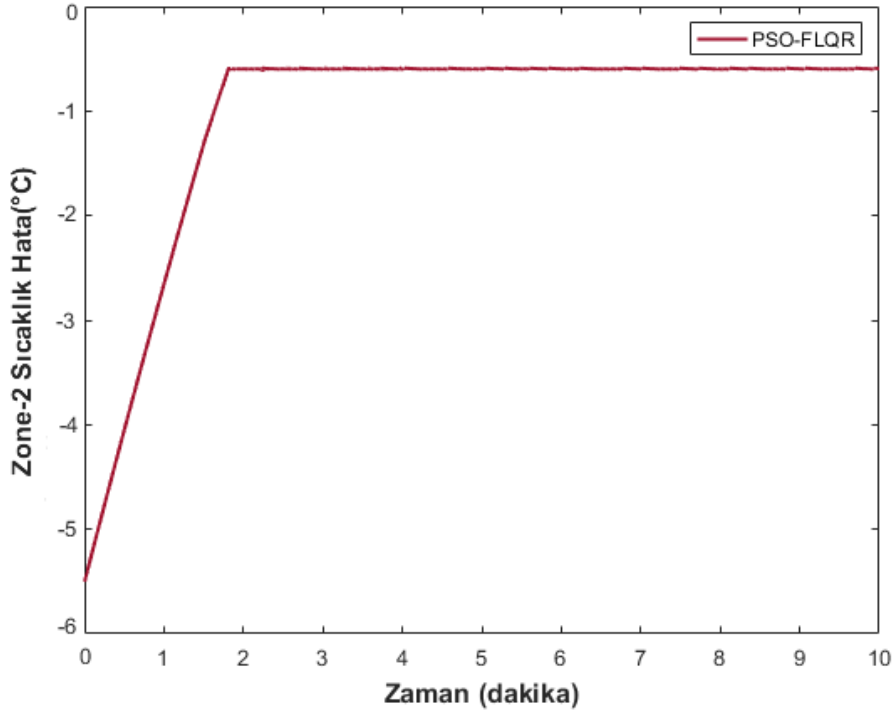
b)

Şekil 4.13. Zon-1 bölgesi için PSO- FLQR yöntemi uygulandığında elde edilen **a)** Sıcaklık değişimi ve **b)** hata grafiği

PSO - FLQR yönteminin sisteme uygulanması sonucu istenilen sıcaklık değerine PID, LQR ve PSO-LQR kontrol yöntemlerine göre daha kısa bir süre olan yaklaşık 2 dakikaya yakın bir süre de ulaşıldığı ve dolayısıyla çok az bir hatayla kararlı hale geldiği görülmektedir (Şekil 4.13a ve Şekil 4.13b'de). Ayrıca Zon-1 bölgesi toplam yaklaşık 2 dakika gibi bir yerleşme süresine sahiptir.



a)

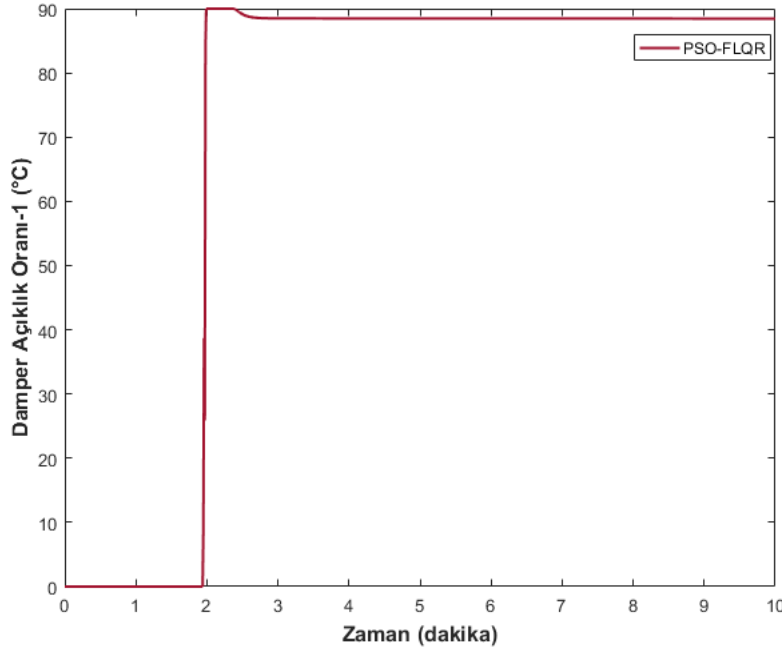


b)

Şekil 4.14. Zon-2 bölgesi için PSO- FLQR yöntemi uygulandığında elde edilen **a)** Sıcaklık değişimi ve **b)** hata grafiği

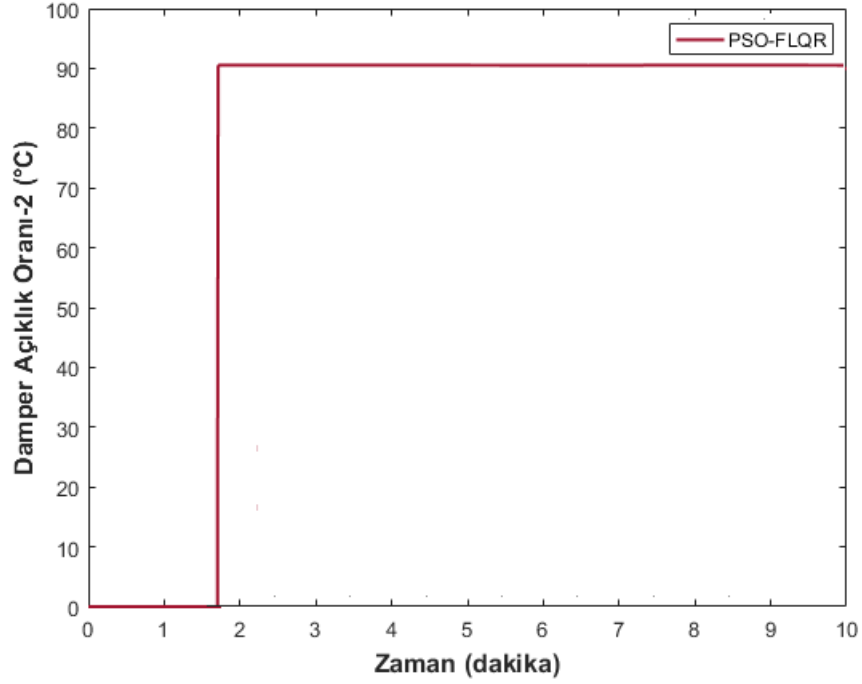
PSO - FLQR yönteminin sisteme uygulanması sonucu istenilen sıcaklık değerine (Zon-2) PID, LQR ve PSO-LQR kontrol yöntemlerine göre daha kısa bir süre olan yaklaşık 1.8 dakikaya yakın bir süre de ulaşıldığı ve dolayısıyla çok az bir hatayla

kararlı hale geldiği görülmektedir (Şekil 4.14a ve Şekil 4.14b’de). Ayrıca Zon-2 bölgesi toplam yaklaşık 1.8 dakika gibi bir yerleşme süresine sahiptir. PSO-FLQR, diğer yöntemlerle karşılaştırıldığında, Zon-1 ve Zon-2 kararlı durum hatası olmadan ve minimum yerleşme süresine sahip olarak en iyi performansı göstermiştir. HVAC sistemine uygulanan PSO-FLQR kontrol yönteminin sonucu elde edilen Zon 1 ve Zon 2 için damper açıklık oranı değişimi grafikleri Şekil 4.15 ve Şekil 4.16’da verilmiştir.



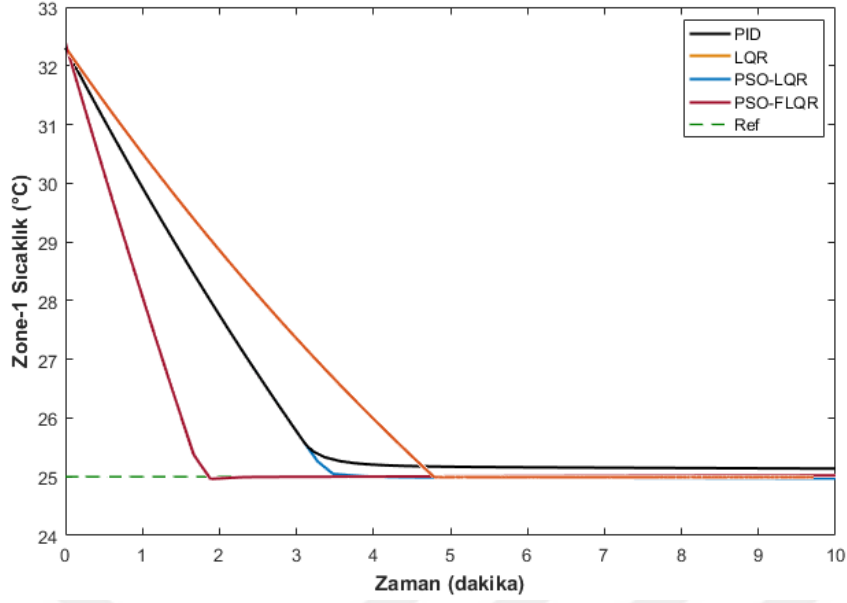
Şekil 4.15. Zon-1 bölgesi için PSO-FLQR yöntemi uygulandığında elde edilen damper açıklık değişimi

Şekilde 4.15’te görüldüğü üzere Zon-1 mahal bölgesinin referans sıcaklık değerini yakaladığı zaman olan 2 dakikadan sonra Zon-1’e ait klapenin kapanmaya başladığı gözlemlenmiştir.

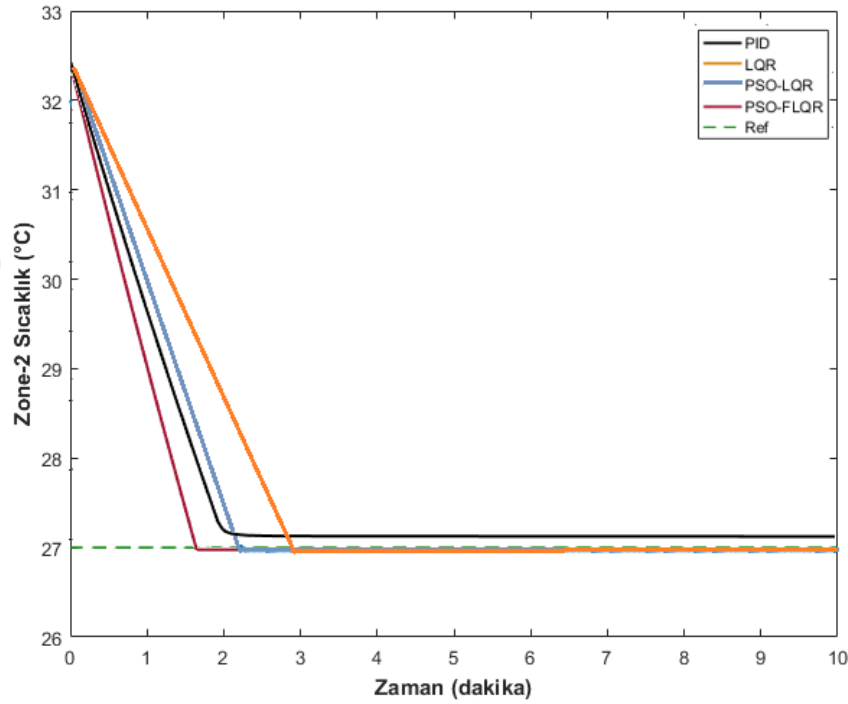


Şekil 4.16. Zon-2 bölgesi için PSO-FLQR yöntemi uygulandığında elde edilen dampır açıklık değişimi

Zon-2 mahal bölgesinin ortam sıcaklığının referans sıcaklık değerini yakaladığı zaman olan yaklaşık 1.8 dakikadan sonra Zon-2'e ait klapenin kapanmaya başladığı görülmektedir (Şekil 4.16). HVAC sistemine uygulanan kontrol yöntemlerinin Zon-1 ve Zon-2 için sıcaklık değişimi karşılaştırma grafikleri Şekil 4.17 ve Şekil 4.18'de verilmiştir.



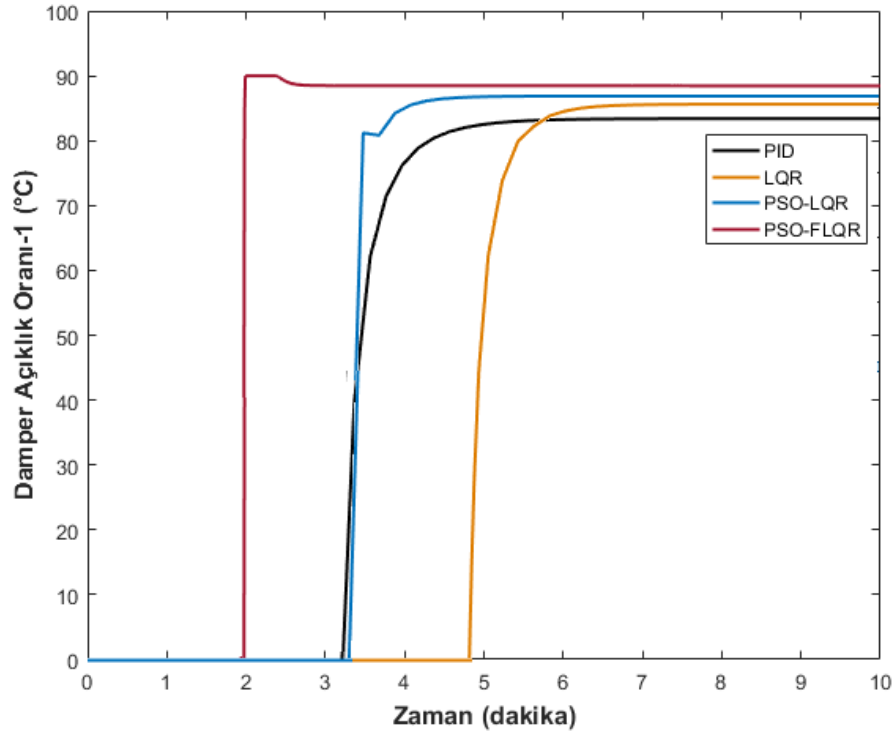
Şekil 4.17. Zon-1 bölgesi için uygulanan kontrol yöntemlerinin sıcaklık değişimi karşılaştırma grafiği



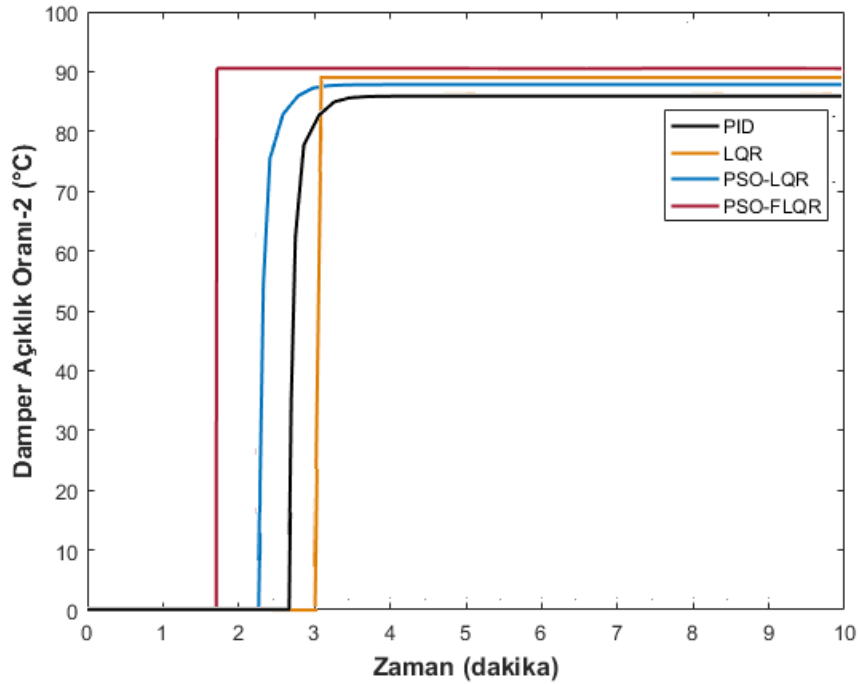
Şekil 4.18. Zon-2 bölgesi için uygulanan kontrol yöntemlerinin sıcaklık değişimi karşılaştırma grafiği

Her iki bölge için uygulanan PSO-FLQR kontrol yönteminin performansı, hem kararlı durum hatası hem de yerleşme süresi açısından PID, LQR ve PSO-LQR kontrol yöntemleri arasında en iyi performansı göstermiştir (Şekil 4.17 ve Şekil 4.18). Kararlı durum hatası yoktur ve sistem yerleşme süresini en aza indirerek istenen referans sıcaklığına ulaşmaktadır. PSO-LQR tipi kontrolörün kararlı durum hatası olmamasına rağmen yerleşme süresi daha uzundur. En kötü performans PID kontrol yöntemine aittir.

HVAC sistemine uygulanan kontrol yöntemlerinin Zon-1 ve Zon-2 için damper açıklık oranı değişimi karşılaştırma grafikleri Şekil 4.19 ve Şekil 4.20’de verilmiştir.



Şekil 4.19. Zon-1 bölgesi için uygulanan kontrol yöntemlerinin damper açıklık değişimi karşılaştırma grafiği



Şekil 4.20. Zon-2 bölgesi için uygulanan kontrol yöntemlerinin damper açıklık değişimi karşılaştırma grafiği

Şekilde 4.19 ve Şekil 20’de görüldüğü üzere her iki bölge için mahal bölgesinin referans sıcaklık değerini yakaladığı andan hemen sonra damper açıklık oranı değişiminin başlama performanslarına göre PSO-FLQR kontrol yöntemi en iyi performansı gösterdiği gözlemlenmiştir. Sırasıyla PSO-LQR, LQR ve PID kontrol yöntemleri iyi performansı göstermiştir. Zon-1 ve Zon-2 bölgelerine uygulanan kontrol yöntemlerinin sıcaklık hata değerlerinin performans kriterlerine göre kıyaslaması Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2’de gösterilmiştir. Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2’de verilen değerler aşağıdaki Ortalama Karekök Hatası (Root Mean Square Error (RMSE)), Ortalama Karesel Hatası (Mean Square Error (MSE)) ve Ortalama Mutlak Hata (Mean Absolute Error (MAE)) performans kriterleri kullanılarak elde edilmiştir.

$$RMSE_{T_{zone1}} = \frac{1}{N} \left(\int_0^t \sum (e_{T_{zone1}}^2) \right) \quad (4.1a)$$

$$RMSE_{T_{zone2}} = \frac{1}{N} \left(\int_0^t \sum (e_{T_{zone2}}^2) \right) \quad (4.1b)$$

$$MSE_{T_{zone1}} = \int_0^t \sum (e_{T_{zone1}}^2) \quad (4.1c)$$

$$MSE_{T_{zone2}} = \int_0^t \sum (e_{T_{zone2}}^2) \quad (4.1d)$$

$$MAE_{T_{zone1}} = \int_0^t |e_{T_{zone1}}| dt \quad (4.1e)$$

$$MAE_{T_{zone2}} = \int_0^t |e_{T_{zone2}}| dt \quad (4.1f)$$

Çizelge 4.1. Zon-1 Sıcaklık Hata (°C)

Kontrol yöntemi	RMSE	MAE	MSE
PID	1.213	0.981	1.425
LQR	0.790	0.546	0.983
PSO-LQR	0.164	0.141	0.217
PSO-FLQR	0.076	0.052	0.094

Çizelge 4.2. Zon-2 Sıcaklık Hata (°C)

Kontrol yöntemi	RMSE	MAE	MSE
PID	0.942	0.536	0.745
LQR	0.483	0.305	0.412
PSO-LQR	0.154	0.097	0.126
PSO-FLQR	0.058	0.034	0.049

Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2’de verilen PSO-FLQR, PSO-LQR, LQR ve PID kontrol yöntemlerinin performans hata değerlerine göre en düşük hata performans değerlerini belirgin bir şekilde göstermek için bold karakter kullanılmıştır. Yöntemler

incelendiğinde en düşük performans hata kriteri her iki zon için MAE ile elde edildiği görülmektedir. Her iki zonda tüm yöntemler için en yüksek sıcaklık hata değerleri PID yöntemi ve RMSE kriterine göre elde edilmiştir. En düşük sıcaklık hata değerleri ise MAE kriteri PSO-FLQR kontrol yöntemine göre elde edilmiştir. MAE kriteri kullanılarak elde edilen tüm hata sonuçları incelendiğinde önerilen PSO-FLQR kontrol yönteminin sisteme uygulanan yöntemlere göre üstün performans gösterdiği görülmektedir.



5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

5.1 Sonuçlar

Bu çalışmada HVAC sistemlerinin kontrol teknikleri anlatılarak kontrol elemanlarının çalışma prensiplerinden ve alt kontrol sistemlerinden bahsedilmiştir. Bu tez çalışmasında iki zonlu HVAC sisteminin modellenmesi ve kontrolü gerçekleştirilmiştir. HVAC sistemi PID, LQR ve Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO) tabanlı Lineer Kuadratik Regulator (LQR) ve Akıllı kontrol yöntemlerinden PSO tabanlı Bulanık Lineer Kuadratik Regulator (FLQR) yöntemleri kullanılarak kontrol edilmiştir. Yapılan benzetimler sonucunda elde edilen grafiksel ve sayısal veriler doğrultusunda önerilen kontrol algoritmaların birbirleriyle kıyaslanmış ve irdelenmiştir. Ayrıca RMSE, MSE ve MAE performans kriterleri kullanılarak yöntemler sayısal olarak Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2’de karşılaştırılmıştır. İki zonlu HVAC sistemine uygulanan yöntemler incelendiğinde her iki zon için en düşük sıcaklık hata performansı PSO - FLQR yöntemi ve MAE kriteri kullanılarak elde edilmiş (Zon 1 ve Zon 2 için) ve bu değerler sırasıyla 0.052 °C ve 0.034 °C’dir. PSO tabanlı FLQR yöntemi gerek sayısal gerekse de grafiksel sonuçlarda üstün performans göstermiştir.

5.2 Öneriler

Bu tez kapsamında sunulan çalışmaya aşağıda verilecek yönlerden devam edilebilir. Önerilen kontrol yöntemleri deneysel ortamda kullanılabilir. Kontrol parametreleri farklı optimizasyon algoritmaları ile elde edilebilir. Yöntemlerin performansını arttırmak için kullanılan optimizasyon yöntemleri farklı amaç fonksiyonları kullanılarak denenebilir veya optimizasyon yöntemi değiştirilebilir.

KAYNAKLAR

- Abut, T. 2016. Modeling and optimal control of a DC motor, *Int. J. Eng. Trends Technol*, 32 (3), 146-150.
- Abut, T., Soyguder, S. 2019. Real-time control and application with self-tuning PID-type fuzzy adaptive controller of an inverted pendulum, *Industrial Robot: the international journal of robotics research and application*, 46 (1), 159-170.
- Abut, T., Soyguder, S. 2022. Two-loop controller design and implementations for an inverted pendulum system with optimal self-adaptive fuzzy-proportional–integral–derivative control, *Transactions of the Institute of Measurement and Control*, 44 (2), 468-483.
- Abut, T., Salkim, E. 2023. Control of quarter-car active suspension system based on optimized fuzzy linear quadratic regulator control method, *Applied Sciences*, 13 (15), 8802.
- Aereboe, M. 1995. Energy management strategies for facility managers, *SA Refrigeration and Air conditioning*, 11, 43-51.
- Afram, A., Janabi-Sharifi, F. 2015. Gray-box modeling and validation of residential HVAC system for control system design, *Applied Energy*, 137, 134-150.
- Anderson, B.D., Moore, J.B., 2007, *Optimal control: linear quadratic methods*, *Courier Corporation*,
- Asiedu, Y., Besant, R.W., Gu, P. 2000. HVAC duct system design using genetic algorithms, *HVAC&R Research*, 6 (2), 149-173.
- Attaran, S.M., Yusof, R., Selamat, H. 2016. A novel optimization algorithm based on epsilon constraint-RBF neural network for tuning PID controller in decoupled HVAC system, *Applied Thermal Engineering*, 99, 613-624.
- Barrett, E., Linder, S., 2015, Autonomous hvac control, a reinforcement learning approach, *Machine Learning and Knowledge Discovery in Databases: European Conference, ECML PKDD 2015, Porto, Portugal, September 7-11, 2015, Proceedings, Part III 15*, Springer, 3-19.
- Brandi, S., Piscitelli, M.S., Martellacci, M., Capozzoli, A. 2020. Deep reinforcement learning to optimise indoor temperature control and heating energy consumption in buildings, *Energy and Buildings*, 224, 110225.
- Browne, M., Bansal, P. 2002. Transient simulation of vapour-compression packaged liquid chillers, *International journal of refrigeration*, 25 (5), 597-610.
- Bruant, M., Guarracino, G., Michel, P. 2001. Design and tuning of a fuzzy controller for indoor air quality and thermal comfort management, *International journal of solar energy*, 21 (2-3), 81-109.
- Chen, B., Cai, Z., Bergés, M., 2019, Gnu-rl: A precocial reinforcement learning solution for building hvac control using a differentiable mpc policy, *Proceedings of the 6th ACM international conference on systems for energy-efficient buildings, cities, and transportation*, 316-325.
- Chu, C.-M., Jong, T.-L., Huang, Y.-W. 2005. Thermal comfort control on multi-room fan coil unit system using LEE-based fuzzy logic, *Energy Conversion and Management*, 46 (9-10), 1579-1593.
- Ding, X., Du, W., Cerpa, A., 2019, OCTOPUS: Deep reinforcement learning for holistic smart building control, *Proceedings of the 6th ACM international conference on systems for energy-efficient buildings, cities, and transportation*, 326-335.

- Du, Y., Zandi, H., Kotevska, O., Kurte, K., Munk, J., Amasyali, K. (2021), "Intelligent multi-zone residential HVAC control strategy based on deep reinforcement learning", *Applied Energy*, 116117.
- Eberhart, R., Kennedy, J., 1995, Particle swarm optimization, *Proceedings of the IEEE international conference on neural networks*, Citeseer, 1942-1948.
- Engdahl, F., Svensson, A. 2003. Pressure controlled variable air volume system, *Energy and Buildings*, 35 (11), 1161-1172.
- Ferreira, P., Ruano, A., Silva, S., Conceicao, E. 2012. Neural networks based predictive control for thermal comfort and energy savings in public buildings, *Energy and buildings*, 55, 238-251.
- Gao, G., Li, J., Wen, Y. 2020. DeepComfort: Energy-efficient thermal comfort control in buildings via reinforcement learning, *IEEE Internet of Things Journal*, 7 (9), 8472-8484.
- Garnier, A., Eynard, J., Caussanel, M., Grieu, S. 2014. Low computational cost technique for predictive management of thermal comfort in non-residential buildings, *Journal of Process Control*, 24 (6), 750-762.
- Ghiaus, C., Hazyuk, I. 2010. Calculation of optimal thermal load of intermittently heated buildings, *Energy and Buildings*, 42 (8), 1248-1258.
- Goyal, S., Liao, C., Barooah, P., 2011, Identification of multi-zone building thermal interaction model from data, *2011 50th IEEE Conference on Decision and Control and European Control Conference*, IEEE, 181-186.
- Homod, R.Z. 2018. Analysis and optimization of HVAC control systems based on energy and performance considerations for smart buildings, *Renewable Energy*, 126, 49-64.
- Huang, H., Chen, L., Hu, E. 2015. A neural network-based multi-zone modelling approach for predictive control system design in commercial buildings, *Energy and buildings*, 97, 86-97.
- Karkamaz, N., 1998, A dynamic model for heating and cooling coils, *University of Colorado at Boulder*,
- Koru, M. (2000), "HVAC sistemlerinde kontrol yöntemleri, modelleme ve optimizasyon", Fen Bilimleri Enstitüsü, Süleyman Demirel Üniversitesi,
- Kou, X., Du, Y., Li, F., Pulgar-Painemal, H., Zandi, H., Dong, J., Olama, M.M. 2021. Model-based and data-driven HVAC control strategies for residential demand response, *IEEE Open Access Journal of Power and Energy*, 8, 186-197.
- Kulkarni, M.R., Hong, F. 2004. Energy optimal control of a residential space-conditioning system based on sensible heat transfer modeling, *Building and Environment*, 39 (1), 31-38.
- Lei, Z., Zaheeruddin, M. 2005. Dynamic simulation and analysis of a water chiller refrigeration system, *Applied Thermal Engineering*, 25 (14-15), 2258-2271.
- Li, F., Du, Y. 2023. Intelligent multi-zone residential HVAC control strategy based on deep reinforcement learning. in: *Deep Learning for Power System Applications: Case Studies Linking Artificial Intelligence and Power Systems*, Springer, pp. 71-96.
- Lute, P., van Paassen, D. 1995. Optimal indoor temperature control using a predictor, *IEEE Control Systems Magazine*, 15 (4), 4-10.
- Mathews, E., Botha, C., Arndt, D., Malan, A. 2001. HVAC control strategies to enhance comfort and minimise energy usage, *Energy and buildings*, 33 (8), 853-863.
- Nassif, N., Moujaes, S., Zaheeruddin, M. 2008. Self-tuning dynamic models of HVAC system components, *Energy and Buildings*, 40 (9), 1709-1720.

- Nassif, N., Kaji, S., Sabourin, R. 2011. Optimization of HVAC control system strategy using two-objective genetic algorithm, *HVAC&R Research*, 11 (3), 459-486.
- Oldewurtel, F., Parisio, A., Jones, C.N., Gyalistras, D., Gwerder, M., Stauch, V., Lehmann, B., Morari, M. 2012. Use of model predictive control and weather forecasts for energy efficient building climate control, *Energy and buildings*, 45, 15-27.
- Özbek, N.S., Eker, İ. 2015. Bir Isıtma, Havalandırma ve İklimlendirme (HVAC) Sisteminin Modellenmesi ve Modele Dayalı Öngörülü Kontrol Yöntemi ile Denetimi, *Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı*, 512-517.
- Pérez-Lombard, L., Ortiz, J., Pout, C. 2008. A review on buildings energy consumption information, *Energy and buildings*, 40 (3), 394-398.
- Platt, G., Li, J., Li, R., Poulton, G., James, G., Wall, J. 2010. Adaptive HVAC zone modeling for sustainable buildings, *Energy and Buildings*, 42 (4), 412-421.
- Poli, R., Kennedy, J., Blackwell, T. 2007. Particle swarm optimization: An overview, *Swarm intelligence*, 1, 33-57.
- Privara, S., Široký, J., Ferkl, L., Cigler, J. 2011. Model predictive control of a building heating system: The first experience, *Energy and Buildings*, 43 (2-3), 564-572.
- Rahimpour, Z., Verbič, G., Chapman, A.C. 2020. Actor-critic learning for optimal building energy management with phase change materials, *Electric Power Systems Research*, 188, 106543.
- Ruano, A.E., Crispim, E.M., Conceição, E.Z., Lúcio, M.M.J. 2006. Prediction of building's temperature using neural networks models, *Energy and Buildings*, 38 (6), 682-694.
- Soygüder, S., Alli, H. 2008. Bir HVAC Sisteminin FUZZY-PD Tipi Denetimi ve Sayısal Benzetimi, *Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 20 (2), 355-367.
- Soygüder, S., Karakose, M., Alli, H. 2009. Design and simulation of self-tuning PID-type fuzzy adaptive control for an expert HVAC system, *Expert systems with applications*, 36 (3), 4566-4573.
- Soygüder, S., Alli, H. 2010. Fuzzy adaptive control for the actuators position control and modeling of an expert system, *Expert Systems with Applications*, 37 (3), 2072-2080.
- Stanford, H. 1998. *Analysis and design of HVAC Systems*, Prentice Hall.
- Şengirgin, M., Pulat, E. 2011. TEK BÖLGELİ BİR ISITMA-HAVALANDIRMA SİSTEMİNİN MODELLENMESİ VE SİMÜLASYONU, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 11 (3), 407-415.
- Wang, J., Hihara, E. 2003. Prediction of air coil performance under partially wet and totally wet cooling conditions using equivalent dry-bulb temperature method, *International Journal of Refrigeration*, 26 (3), 293-301.
- Wang, S.-w., Wang, J., Burnett, J. 2000. Mechanistic model of centrifugal chillers for HVAC system dynamics simulation, *Building services engineering research and technology*, 21 (2), 73-83.
- Wei, T., Wang, Y., Zhu, Q., 2017, Deep reinforcement learning for building HVAC control, *Proceedings of the 54th annual design automation conference 2017*, 1-6.
- Yakut, A.K., KORU, M., ŞENCAN, A. 2002. HVAC sistemlerinde kontrol yöntemleri ve enerji tasarrufu, *Tesisat Mühendisliği*, Mart-Nisan (68), 43-54.
- Yao, Y., Lian, Z., Hou, Z. 2004. Thermal analysis of cooling coils based on a dynamic model, *Applied thermal engineering*, 24 (7), 1037-1050.

- Yiğit, Ş., Büyüközkan, K., Sönmez, F., Çuhadaroğlu, B. 2013. Hvac Sistemlerinde Aç-Kapa ve Bulanık Mantık Kontrolün Kıyaslamalı Olarak İncelenmesi, XI Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, 1729-1740.
- Yılmaz, S., Güngör, A., Ertuğrul, Ş., Eskin, N. 2005. Bir Ofis binasının Değişken Hava Debili İklimlendirme Sisteminin Modellenmesi ve Kontrolü, VII. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, 145-160.
- Yılmaz, S. (2009), "Konut Dışı Binalarda Değişken Debili İklimlendirme Sisteminin Modellenmesi ve Bulanık Mantık kontrolü", Fen Bilimleri Enstitüsü,
- Yu, B., Hu, Z., Liu, M., Yang, H., Kong, Q., Liu, Y. 2009. Review of research on air-conditioning systems and indoor air quality control for human health, *International journal of refrigeration*, 32 (1), 3-20.
- Zadeh, L.A. 1988. Fuzzy logic, *Computer*, 21 (4), 83-93.
- Zhang, C., Kuppannagari, S.R., Kannan, R., Prasanna, V.K., 2019, Building HVAC scheduling using reinforcement learning via neural network based model approximation, *Proceedings of the 6th ACM international conference on systems for energy-efficient buildings, cities, and transportation*, 287-296.
- Zhang, W.-J., Zhang, C.-L., Ding, G.-L. 2009. Transient modeling of an air-cooled chiller with economized compressor. Part I: Model development and validation, *Applied Thermal Engineering*, 29 (11-12), 2396-2402.
- Ziegler, J.G., Nichols, N.B. 1942. Optimum settings for automatic controllers, *Transactions of the American society of mechanical engineers*, 64 (8), 759-765.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : ELİF ÇINAR

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Muş Anadolu Lisesi, Merkez, MUŞ	2003-2007
Üniversite	: Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi ,Makine Mühendisliği Bölümü, Merkez, Elazığ	2008-2013
Yüksek Lisans	: Muş Alparslan Üniversitesi, Merkez, Muş	Devam Ediyor
Formasyon	: Muş Alparslan Üniversitesi Pedagojik Formasyon Eğitimi ve Sertifikası	2022-2023

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2012-2016	Büte Yapı Denetim ltd.şti.	Proje ve Kontrol Mühendisi

UZMANLIK ALANI

Mekanik Tesisat

YABANCI DİLLER

İngilizce