

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

HVAC SİSTEMLERİNDE AÇ-KAPA VE BULANIK MANTIK KONTROLÜN
KIYASLAMALI OLARAK İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mak. Müh. Fatin SÖNMEZ

HAZİRAN 2013
TRABZON

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

HVAC SİSTEMLERİNDE AÇ-KAPA VE BULANIK MANTIK KONTROLÜN
KIYASLAMALI OLARAK İNCELENMESİ

Makina Müh. Fatin SÖNMEZ

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
"MAKİNA YÜKSEK MÜHENDİSİ"
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 20.05.2013
Tezin Savunma Tarihi : 13.06.2013

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Burhan ÇUHADAROĞLU

Trabzon 2013

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Makina Mühendisliği Anabilim Dalında

Fatin SÖNMEZ tarafından hazırlanan

**HVAC SİSTEMLERİNDE AÇ-KAPA VE BULANIK MANTIK KONTROLÜN
KIYASLAMALI OLARAK İNCELENMESİ**

**başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 28 / 05 / 2013 gün ve 1507 sayılı
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan : Prof. Dr. Burhan ÇUHADAROĞLU



Üye : Prof. Dr. Ercan KÖSE



Üye : Yrd. Doç. Dr. Cevdet DEMİRTAŞ



Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ

Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

Bu tez çalışması, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Programında yapılmıştır.

Bütün hayatım boyunca maddi, manevi desteklerini benden esirgemeyen, eğitimim için her türlü zorluğa katlanan aileme sonsuz teşekkür ederim.

Yüksek lisans çalışmam boyunca bilgi, tecrübe ve yardımlarını benden eksik etmeyen tez danışmanım sayın Prof. Dr. Burhan ÇUHADAROĞLU'na teşekkürlerimi sunmayı borç bilirim. Yüksek lisans tez jüri üyelerim sayın Prof. Dr. Ercan KÖSE'ye ve sayın Yrd. Doç. Dr. Cevdet DEMİRTAŞ'a teşekkür ederim. Ayrıca tez çalışmam boyunca yardımlarından dolayı araştırma görevlisi arkadaşlarım Şahin YİĞİT'e ve Kadir BÜYÜKÖZKAN'a, öğretim görevlisi arkadaşım Serkan KONYA'ya ve desteklerinden dolayı Karadeniz Teknik Üniversitesi Makina Mühendisliği bölümünde görev yapan tüm hocalarıma ve araştırma görevlisi arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Fatin SÖNMEZ

Trabzon 2013

TEZ BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum ”HVAC Sistemlerinde Aç-Kapa Ve Bulanık Mantık Kontrolün Kıyaslamalı Olarak İncelenmesi” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. Burhan ÇUHADAROĞLU’nun sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 20/05/2013

Fatin SÖNMEZ

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	III
TEZ BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER	V
ÖZET.....	VII
SUMMARY.....	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	IX
TABLolar DİZİNİ.....	X
SEMBOLLER DİZİNİ.....	XI
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. HVAC Sistem Kontrolleri.....	2
1.2.1. Fan Kontrolü.....	2
1.2.1.1. Sabit Debi Kontrolü.....	2
1.2.1.2. Kanal Statik Kontrolü.....	3
1.2.1.3. Dönüş Fan Kontrolü.....	4
1.2.1.4. Fanın Kararsız Çalışması.....	4
1.2.2. Dış Ortam Hava Miktarı Kontrolü.....	5
1.2.2.1. Minimum Sabit Dış Hava Kontrolü.....	5
1.2.2.2. Ekonomizer Çevrimi Kontrolü.....	6
1.2.2.3. Entalpi Ekonomizer Kontrolü.....	7
1.2.2.4. Isınma-Son Hazırlık (Warm-up) Kontrolü.....	7
1.2.2.5. Gece Soğutması Kontrolü.....	8
1.2.3. Isıtma Serpantini Kontrolü.....	9
1.2.3.1. Ön Isıtıcı Serpantin Kontrolü.....	9
1.2.3.2. Son Isıtıcı ve Isıtıcı Son Kontrolü.....	10
1.2.4. Soğutma Serpantini Kontrolü.....	11
1.2.4.1. Nem Alma Kontrolü.....	11
1.2.4.2. Evaporatif Soğutma Kontrolü.....	12
1.2.5. Nem Kontrolü.....	13
1.2.5.1. Nem Alma Kontrolü.....	13

1.2.5.2.	Nemlendirme Kontrolü.....	13
1.3.	HVAC Sistemleri Kontrol Yöntemleri.....	14
1.3.1.	İki Konumlu (On/Off) Kontrol.....	14
1.3.2.	Adım Kontrol.....	15
1.3.3.	Üç Konumlu Kontrol.....	15
1.3.4.	Oransal (P) Kontrol.....	15
1.3.5.	Oransal - Entegral (PI) Kontrol.....	15
1.3.6.	Oransal – Entegral – Türev (PID) Kontrol.....	15
1.3.7.	Uyarlamalı (Adaptive) Kontrol.....	16
1.3.8.	Fuzzy Logic (Bulanık Mantık) Kontrol.....	17
1.3.9.	Genetik Algoritma.....	18
1.3.10.	Yapay Sinir Ağları (Artificial Neural Networks, ANN).....	19
1.4.	Literatür Araştırması.....	20
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	26
2.1.	Problemin Özellikleri.....	26
2.2.	Modelleme.....	27
2.3.	HVAC Sisteminin Aç-Kapa ve Bulanık Mantık Kontrolü.....	31
3.	BULGULAR.....	35
3.1.	Ortam Sıcaklığının Farklı Hava Tahliye Oranına Göre Olan Değişimi.....	35
3.2.	Klima Santralinde Soğutma İçin Harcanan Enerjinin Farklı Hava Tahliye Oranına Göre Olan Değişimi.....	37
3.3.	Fan Debisi Düşme Oranı'nın Farklı Hava Tahliye Oranına Göre Olan Değişimi.....	39
4.	TARTIŞMA.....	41
4.1.	Ortam Sıcaklığının Farklı Hava Tahliye Oranına Göre Olan Değişiminin İrdelenmesi.....	41
4.2.	Klima Santralinde Soğutma İçin Harcanan Enerjinin Farklı Hava Tahliye Oranına Göre Olan Değişiminin İrdelenmesi.....	42
4.3.	Fan Debisi Düşme Oranı'nın Farklı Hava Tahliye Oranına Göre Olan Değişiminin İrdelenmesi.....	42
5.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	44
6.	KAYNAKLAR.....	45
ÖZGEÇMİŞ		

Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

HVAC SİSTEMLERİNDE AÇ-KAPA VE BULANIK MANTIK KONTROLÜN
KIYASLAMALI OLARAK İNCELENMESİ

Fatin SÖNMEZ

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makina Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Burhan ÇUHADAROĞLU
2013, 46 Sayfa,

Bu tez çalışmasında; kapalı bir ortam için değişken hava debili bir HVAC sisteminin modellenmesi ve kontrolü yapılmıştır. Kurulan modelde göz önüne alınan kapalı ortamın soğutulması için, dış ortamdan iç ortama transfer olan ısı enerjisi ve klima santralinden havanın soğutulması için çekilen ısı gücü denklemleri kullanılmıştır. Daha sonra bu denklemlerin klasik aç-kapa kontrol ve bulanık mantık kontrol kullanılarak zamana bağlı çözümlenmeleri yapılmış ve sistemin kontrol davranışları incelenmiştir. Ayrıca sistemde hava tahliye oranı (α) kullanılarak, sistemdeki iç hava kalitesi değişiminin sistemin enerji sarfiyatına etkisi incelenmiştir. Elde edilen bulgular göstermektedir ki; bulanık mantık kontrolünün aç-kapa kontrolüne göre hem ısı konfor açısından hem de enerji tasarrufu açısından belirgin bir üstünlüğü vardır.

Anahtar Kelimeler: Havalandırma ve İklimlendirme, Aç-kapa Kontrol, Bulanık Mantık Kontrolü.

Master Thesis

SUMMARY

COMPARATIVE ANALYSIS OF TURN ON –OFF AND FUZZY LOGIC CONTROL
ON HVAC SYSTEMS

Fatin SÖNMEZ

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Mechanical Engineering Graduate Program
Supervisor: Prof. Dr. Burhan ÇUHADAROĞLU
2013, 46 Pages,

In this thesis, the modelling and control of a HVAC system for an indoor space with variable flow rate have been done. In order to cool of indoor space which is taken account in the model, heat transfer energy from external to internal of space and thermal power is taken for cooling of the air conditioning plant equations have been used. Subsequently, these equations have been solved with using the classic on-off control and fuzzy logic control with respect to time and system control characteristics have been analyzed for both control applications. Additionally, in the system vent ratio (α) has been used for investigating of effect of exchange indoor air quality to system's energy consumptions. The obtained results show that, fuzzy logic control has significant superiorities such as thermal comfort and energy consumptions compared with on-off control.

Key Words: Ventilating and Air-conditioning, On-off Control, Fuzzy Logic Control.

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1. Sabit debi kontrolü.....	2
Şekil 1.2. Kanal statik kontrolü.....	3
Şekil 1.3. Dönüş fan kontrolü.....	4
Şekil 1.4. Fanın kararsız çalışması.....	5
Şekil 1.5. Fan by-pass kontrolü ile besleme fanı kararsızlığının önlenmesi.....	5
Şekil 1.6. Dönüş fansız sistem yapısı.....	6
Şekil 1.7. Ekonomizer çevrim kontrolörü.....	7
Şekil 1.8. Isınma-son hazırlık (warm-up) kontrolü.....	8
Şekil 1.9. Gece soğutması kontrolü.....	8
Şekil 1.10. By-pass ve yüzey damperli ön ısıtma.....	10
Şekil 1.11. Isıtma kontrolü.....	11
Şekil 1.12. Soğutulmuş su kontrolü.....	12
Şekil 1.13. Soğutmalı ayarlı evaporatif kontrol.....	12
Şekil 1.14. Püskürtme serpantinli nem alıcı.....	13
Şekil 1.15. Hava yıkamalı evaporatif soğutma ve püskürtme serpantinli nem alıcılar için psikrometrik diyagram.....	14
Şekil 1.16. Bulanık mantık denetimin temel blok yapısı.....	18
Şekil 1.17. Yapay sinir ağı modeli.....	20
Şekil 2.1 HVAC Sisteminin Şematik Görünüşü.....	26
Şekil 2.2. Hata (e) değeri için üyelik fonksiyonu.....	32
Şekil 2.3. Hata değişimi (e) değerleri için üyelik fonksiyonu.....	32
Şekil 2.4. Fan debisi değişim oranı için üyelik fonksiyonu.....	33
Şekil 3.1. Ortam sıcaklığının farklı hava tahliye oranına göre olan değişimi.....	36
Şekil 3.2. Klima santralinde soğutma için harcanan enerjinin farklı hava tahliye oranına göre olan değişimi.....	38
Şekil 3.3. Fan debisi düşme oranı'nın farklı hava tahliye oranına göre olan değişimi.....	40

TABLULAR DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1. Giriş değerleri.....	27
Tablo 2.2. Çıkış (β) değeri için kural tabanı.....	34

SEMBOLLER DİZİNİ

\dot{m}	: Mahal içindeki havanın kütleli debisi (kg/s)
\dot{m}_g	: Mahal içine giren havanın kütleli debisi (kg/s)
$\dot{m}_ç$: Mahal içinden çıkan havanın kütleli debisi (kg/s)
\dot{Q}	: Sistemin birim zamandaki ısı değişimi (W)
\dot{Q}_g	: İklimlendirilen ortama dış ortamdan iletim ile gelen ısı gücünü (W)
$\dot{Q}_ç$: Klima santralinde havadan çekilen ısı gücü (W)
\dot{W}	: Sistemde birim zamanda yapılan iş (W)
$\sum E_g$: Klima santraline hava ile giren enerji (W)
$\sum E_ç$: Klima santralinden hava ile çıkan enerji (W)
E_{sis}	: Sistemin iç, kinetik, potansiyel vb. enerjilerindeki değişmelerin toplamı (J)
h_g	: Klima santrali içine giren havanın özgül entalpisi (J/kg)
$h_ç$: Klima santrali içine giren havanın özgül entalpisi (J/kg)
U	: Sistemin iç enerjisi (J)
α	: Hava tahliye oranı
β	: Fan debisi değişim oranı
C_p	: Sabit basınçta özgül ısı (J/kgK)
C_v	: Sabit hacimde özgül ısı (J/kgK)
$T_{iç}$: Mahalin iç sıcaklığı (°C)
$T_{dış}$: Dış ortam sıcaklığı (°C)
T	: Mahal içinin anlık sıcaklığı (°C)
T_g	: Klima santrali giriş sıcaklığı (°C)
$T_ç$: Klima santrali çıkış sıcaklığı (°C)
M	: Mahaldeki hava kütlesi (kg)
t	: Zaman (s)
R	: Havanın gaz sabiti (J/kgK)
L	: Mahaldeki duvarın kalınlığı (m)
k	: Isı iletim katsayısı (W/mK)
A	: Mahal duvar alanı (m ²)
V	: Mahal hacmi (m ³)

n	: Döngü sayısı
e	: Hata
\dot{e}	: Hata değişimi
μ	: Üyelik derecesi
FDDO	: Fan debisi değişim oranı
HVAC	: Isıtma, havalandırma ve iklimlendirme
PI	: Proportional + Integral (Oransal + İntegral)
PID	: Proportional + Integral + Derivative (Oransal + İntegral + Türev)
VAV	: Değişken hava debili iklimlendirme sistemi

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Günümüzde ofis odaları, hastaneler, alışveriş merkezleri, spor salonları, kültür merkezleri, müzeler, eğitim yapıları, kamu binaları gibi kapalı yaşam alanlarında yaşanmakta olan yeni yapılaşma sürecine bağlı olarak, yapılarda yer alan hava koşullandırma sistemlerinde de önemli gelişmeler olmaktadır. Yaşam alanlarındaki hava kalitesinin istenilen değerlerde olmasını sağlamak üzere taze, temiz ve koşullandırılmış havayı buraya sağlayan ısıtma, havalandırma ve iklimlendirme (HVAC) sistemleri büyük ölçüde otomatik kontrol sistemleri ile denetlenmektedir. Ortam havasındaki nem, sıcaklık ve kirlilik gibi faktörlere bağlı olarak HVAC sisteminin çalışma düzenini belirleyen otomatik kontrol uygulamaları, hem konfor koşullarının gerektiği şekilde sürekli olarak sağlanmasında hem de enerjinin verimli kullanılmasında önemli bir işlevi yerine getirirler.

Otomatik kontrol sistemleri; ortam havası için öngörölmüş olan belirli nem, sıcaklık ve hava kirletici parametrelere ait değerlerin belirli bir aralık dışına çıkması durumlarında HVAC sisteminin belirli noktalarında, sistemin çalışma düzenini uygun şekilde ayarlamak üzere kontrol mekanizmalarına uyarı gönderirler. Kontrol mekanizmaları klima santralindeki dış/iç hava karışım ayarı, sıcaklık ayarı, debi ayarı gibi kontrol işlemlerinin yanı sıra, hava kanallarının çeşitli noktalarındaki damper ayarları gibi işlemler ile mahallere gönderilen havanın istenilen özelliklerde olmasını sağlarlar. Günümüzde HVAC sistemlerinde aç-kapa kontrol, orantı kontrol, integral ya da diferansiyel kontrol gibi uygulamalar yerine göre kullanılmaktadır. Son yıllarda bazı mühendislik uygulamalarında kendine yer bulmakta olan bulanık (fuzzy) mantık, kontrol sistemlerinde de yavaşça yerini almaktadır. Otomatik kontrol uygulamalarının, konfor koşullarının ideal şekilde temin edilmesine olan katkısının yanı sıra, HVAC sisteminin gereğinden çok çalışarak aşırı enerji kullanmasının önüne geçmesi gibi bir işlevi daha vardır. Bu nedenle HVAC sistemlerinin en önemli bileşenlerinden bir tanesi olan otomatik kontrol uygulamaları üzerinde titiz mühendislik çalışmalarına gereksinim vardır.

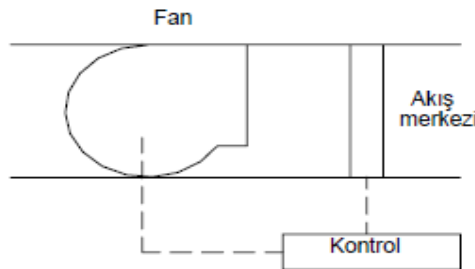
1.2. HVAC Sistem Kontrolleri

1.2.1. Fan Kontrolü

HVAC Sistemleri'nde hava hareketini sağlama amacı ile kullanılan Radyal ve Aksiyal şeklinde iki gruba ayrılan fan grubu bulunmaktadır. Ayrıca iklimlendirilmiş olan havanın transferini gerçekleştirme amacı ile kullanıldığında vantilatör, kullanılmış havayı ve egzostları toplama amacı ile kullanıldığında ise aspiratör adını almaktadırlar. Aksiyal veya santrifüj tip fanlarda basıncın meydana gelişi, hava kütlelerinin santrifüj kuvvetinden ve kanatları terk ederken havanın sahip olduğu kinetik enerjinin statik basınca dönüşmesi ile oluşmaktadır. Havanın hızı, kanatların hızı ile havanın kanatlara nazaran relatif hızının geometrik toplamıdır. Öne eğimli kanatlarda bu iki hız birbiri ile aynı yönde iken geriye eğimli kanatlarda ise aksi yönlüdür. Bu nedenle geriye eğimli kanatlı bir fan, öne eğimli bir fandan daha yüksek verime sahiptir. Aksiyal fanlar ise, basıncının tamamını hızın statik basınca dönüşmesinden yararlanarak sağlar ve santrifüj kuvvetlerden yararlanmazlar. Fanlar ile hız ayarlaması, giriş fanı veya boşaltma damperlerinin ayarlanması, çevresel fanların ayarlanması, kontrol edilebilir mesafenin ayarlanması ve giriş fanı kanatlarının ayarlanması gibi uygulamalar yapılabilir [1].

1.2.1.1. Sabit Debi Kontrolü

Sabit debi kontrolü uygulamalarında sabit hava akış sayısı, kanal direncinin ayarlanmasını sağlamaktadır [1].



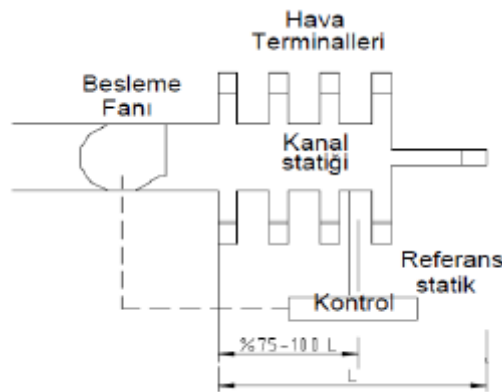
Şekil 1.1. Sabit debi kontrolü, [1].

1.2.1.2. Kanal Statik Kontrolü

Kanal Statik Kontrolü, değişken hava debili iklimlendirme sistemi (VAV) ve diğer terminal tip sistemlerde statik basınçlarının ölçümünde kullanılır. Bu sensörler %75 ile %100 aralığında ilk ve son hava terminalinin bulunduğu aralıklara yerleştirilirler [1].

Referans olan statik sensörlerin yerleşiminin seçimi oldukça önemlidir. Kontrol işleminin bozulmaması için kapı açılıp kapanmasını, asansör hareketini ve diğer kaynaklardan oluşabilecek hava türbülansının önlenmesi gerekmektedir. Sistem kontrolü tamamen besleme havasına göre dizayn edilmeli veya tamamen havalı terminal ünitelerde minimum statik basıncı sağlamak için en uygun çalışma basıncı seçilmelidir [1].

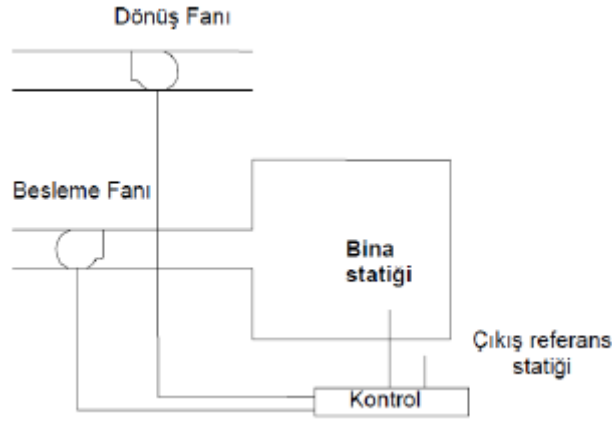
Bu sensörler alçak statik basınç şartları için fan kontrolü ile kanal çıkışının ayar noktasının kontrolünü gerçekleştirir. Kanal statik limit kontrolleri genellikle besleme fanını tahliye etmek aşırı kanal basıncını önlemek için kullanılırlar. Fan kapamalı tip yapısında, yüksek limit kontrollerinde emniyeti sağlamak için fanı kapatarak çevrimi durdurur. İkinci model yüksek limit kontrol tipi sistemler ise, bölgesel yangın damperlerinde kullanılırlar. Bölgesel yangın damperleri kapalı olduğu zaman kanal basıncı düşüktür, fan modülasyonunu artırmak kanal statik kontrolüne sebep olurlar ve bununla birlikte yüksek limit kontrolü önemini kaybeder. Besleme fanı ısınma kontrolünde dönüş fanı önlenmeli besleme fanı havası dağıtılmalıdır. Dönüş fanını ısınma esnasında maksimum kapasitede hava akışı olmalıdır [1].



Şekil 1.2. Kanal statik kontrolü, [1].

1.2.1.3. Dönüş Fan Kontrolü

Dönüş fan kontrolü, VAV sistemlerinde uygun bina basıncını ve minimum çıkış havasını sağlayan sistemlerdir. Dönüş fanı hava akışı, minimum ve maksimum hava akış şartlarının düzenlenmesi için kullanılır. Bina basınçlandırma kontrolünde dönüş fanı ile ortamın ve çıkış havasının statik basıncının ölçülmesi için gereklidirler. Giriş bölgesindeki statik basıncın ölçülmesi dikkatli bir seçimi gerektirir [1].

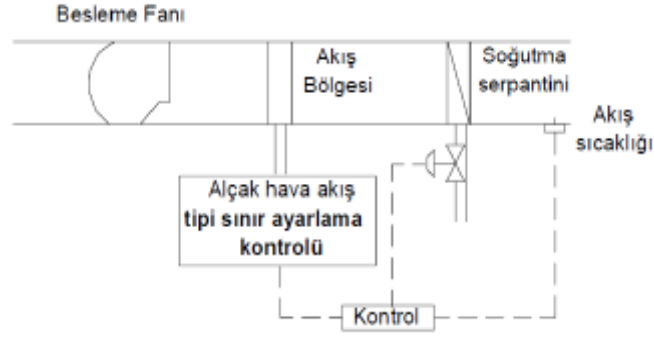


Şekil 1.3. Dönüş fan kontrolü, [1].

1.2.1.4. Fanın Kararsız Çalışması

VAV sistemlerindeki fan kararsızlığı genellikle uygun fan boyutlandırılması ile önlenebilir. Buna rağmen hava akışındaki azalma %60 değerinin üzerinde ise, sabit alan içerisindeki hava akımını korumak için genellikle ardışık fan tekniğinin kullanımı gereklidir. Bina soğutma yükleri daha büyük hava akışı gerektirdiği için, soğutma bobininin tahliyesi daha yüksek sıcaklığa ayarlanarak fan kararsızlığı önlenir. Gerekli fazla hava akışı ve sıcaklık ayarlaması arasında zaman gecikmesi yüzünden ayarlanan değer fan kararsızlığı noktasının güvenli bölgesinde seçilmelidir [1].

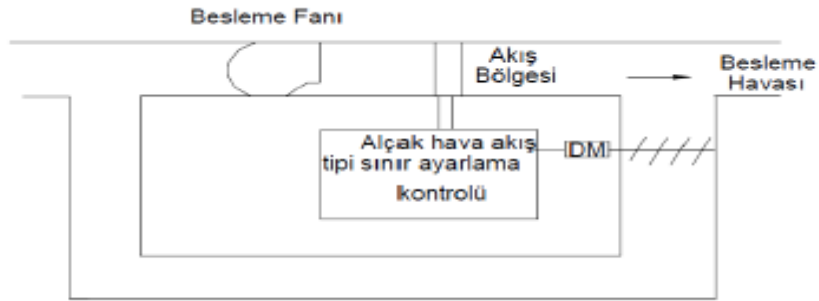
Bu teknik kullanıldığında ortaya çıkabilecek kurutma gereksinimi ihtiyacı belirlenmelidir. Fan bypass hava akışının muhafaza edilmesi için fan çevresindeki dolaşımını azaltmaya imkân verir [1].



Şekil 1.4. Fanın kararsız çalışması, [1].

1.2.2. Dış Ortam Hava Miktarı Kontrolü

Dış ortam hava miktarı kontrolü çoğu HVAC Sistemleri'nde maliyetinin hemen hemen sıfır olmasından dolayı yılın uygun zaman dilimlerinde kullanılır. Bu kullanım sırasında amaca göre değişik kontrol mantıkları ayrı ayrı ya da birlikte kullanılır [1].

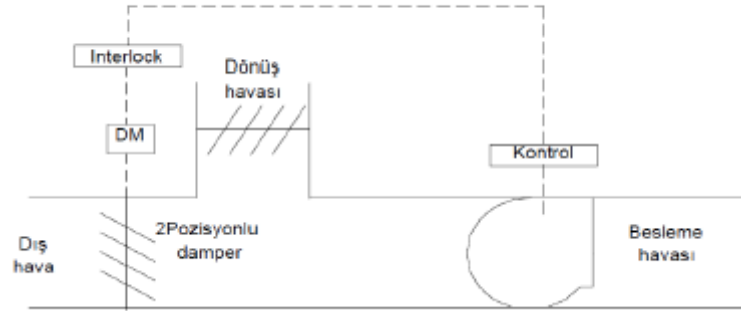


Şekil 1.5. Fan by-pass kontrolü ile besleme fanı kararsızlığının önlenmesi, [1].

1.2.2.1. Minimum Sabit Dış Hava Kontrolü

Zon içerisindeki havanın temizlenmesi, içerideki insanların konforu açısından şarttır. Oda içerisindeki hava basıncının dış hava atmosfer basıncının üzerinde olması, dış ortandan gelebilecek kirli hava ve toz zerreciklerinin filtre edilmeden içeri girmesini engellemiş olur. Dönüş fanı olmayan klima santrali modellerinde, taze hava damperi

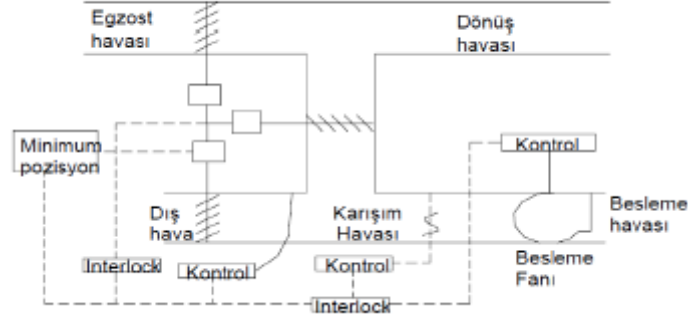
üfleme fanına kilitli olarak çalışır ve fanın çalışmaya başlamasıyla otomatik olarak açılır. Ancak taze hava damperi vantilatör çalışmaya başladığı anda açılmalıdır. Aksi takdirde kanalların zarar görmesine neden olabilecek negatif basınç oluşabilir. Bu amaçla bazı sistemlerde, fanın on-off anahtarı, taze hava damperinden belirli bir zaman diliminden sonra çalıştırılır. Kanal boyunca ortama verilen taze havanın miktarı, taze hava damperinin açıklığıyla ve karışım havası hücresi ile taze hücresi arasındaki basınç farkıyla belirlenir. Dönüş fanı bulunan sistemlerde minimum taze hava kontrolü iki şekilde yapılır. Bu sistemlerde minimum taze hava, üfleme havası ve dönüş havası arasındaki basınç farkına göre belirlenir. %100 taze hava kullanılan sistemlerde, tüm taze hava besleme fanı yardımı ile iç ortama verilir ve mahalden hiçbir dönüş yapılmaz. Taze hava damperi üfleme fanına bağımlı çalışır ve genellikle fandan önce açılmaya başlar [1].



Şekil 1.6. Dönüş fansız sistem yapısı, [1].

1.2.2.2. Ekonomizer Çevrimi Kontrolü

Ekonomizer çevrimi kontrolü, dış hava şartlarının istenilen değerlerde olması durumunda dış havanın kullanılarak sistemin soğutma yükünün azaltılması açısından yararlıdır. Dış hava sıcaklığı üst sıcaklık limit set değerini aştığı takdirde dış hava damperi sadece minimum taze hava sisteme girecek oranda kapatılır ki bu da yaklaşık %20 taze hava almaya izin verir. Bu sırada egzoz damperleri taze hava damperleri ile genellikle eşlenik çalıştığı için kapanır ve bunlara ters çalışan by-pass damperi ise açılır. Böylece dışarıdaki oda havasından daha sıcak havanın iç ortama üflenerek daha fazla soğumaya neden olması engellenmiş olur [1].



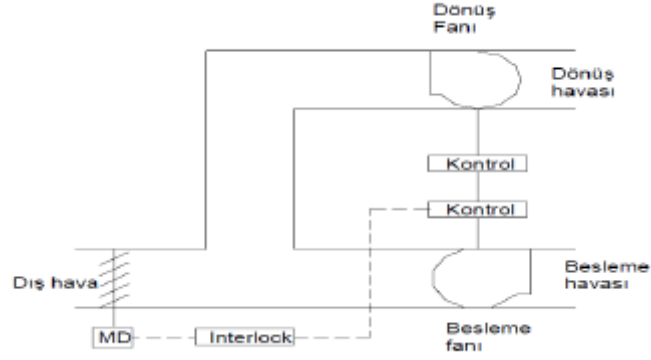
Şekil 1.7. Ekonomizer çevrim kontrolörü, [1].

1.2.2.3. Entalpi Ekonomizer Kontrolü

Entalpi ekonomizer kontrolü, gizli ısının yeterli seviyede olduğu binalarda, soğutmadan fazla tasarruf edebilmek amacı ile ekonomizer çevriminin sıcaklık üst limit set değerinin daha yüksek bir değere ayarlanması ile sağlanır. Entalpi ekonomizer kontrolü, sabit entalpi limit set değeri şeklinde girilerek dönüş havası entalpisi ile karşılaştırılmalı ve bu değeri aşmayacak şekilde ya da her ikisinin karışımı şeklinde tasarlanması gerekmektedir [1].

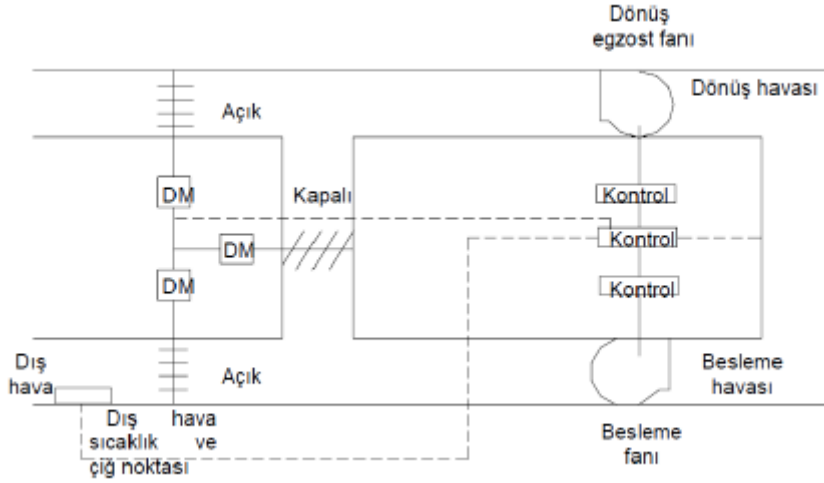
1.2.2.4. Isınma-Son Hazırlık (Warm-up) Kontrolü

Isınma-son hazırlık kontrolünde koşullandırılmanın yapıldığı periyotta dış havaya ihtiyaç duyulmaz. Bu durumda taze hava ve egzost damperleri kapalı durumda kalır. Ancak dönüş fanlı sistemlerde, taze hava damperleri kanallarda oluşabilecek zararlı basınç farkını engellemek amacı ile minimum miktarda açık tutulur. Aksi takdirde dönüş fanı çalışmasına rağmen taze hava damperleri kapalı kalacağı için oda içerisinde negatif basınç oluşur ve kanallar bu durumdan zarar görür. Bu amaçla taze hava damperleri minimum açıklıkta tutulur [1].



Şekil 1.8. Isınma-son hazırlık (warm-up) kontrolü, [1].

1.2.2.5. Gece Soğutması Kontrolü



Şekil 1.9. Gece soğutması kontrolü, [1].

Gece soğutması kontrolünde koşullandırmanın yapıldığı gece periyodu boyunca %100 taze hava verilir. Zon dış hava sıcaklığının yaklaşık 9F üzerindeki bir set değerine soğutulur. Limit kontrolü, eğer dış hava sıcaklığı aşırı yüksek ise ya da kuru termometre sıcaklığı 50F gibi çok düşük bir değerde ise operasyonu durdurur. Gece soğutmasının yapıldığı periyot, gün aydınlanmadan önce ve gecenin en soğuk zaman dilimi olan sabaha

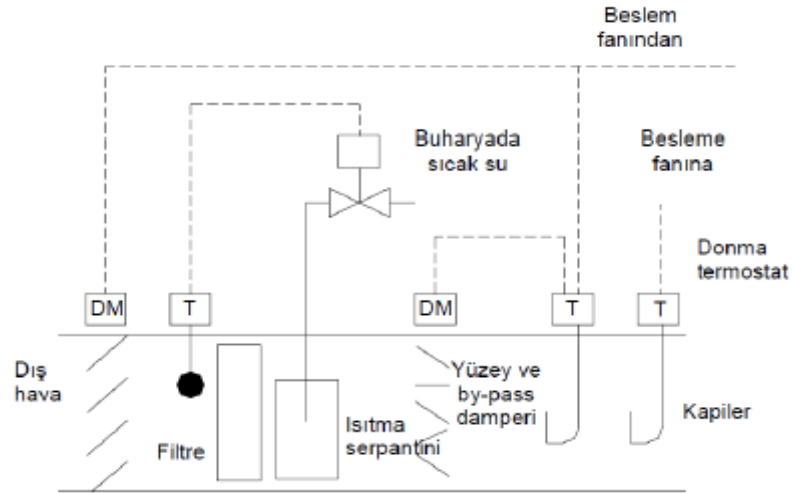
karşı başlatılır ve bu zaman dilimi genellikle koşullandırılmanın yapılmasından belirli bir süre önce başlar [1].

1.2.3. Isıtma Serpantini Kontrolü

Merkezi ısıtma ünitelerinde kullanılan ısıtıcı serpantinler; ön ısıtma, son ısıtma ve ısıtma amacı ile alınan minimum taze hava miktarına göre seçilmiştir [1].

1.2.3.1. Ön Isıtıcı Serpantin Kontrolü

Ön ısıtıcı serpantin kontrolünde kullanılacak kontrol sistemi, dönüş havasından alınacak minimum karışım ile donma olayını engelleyebilecek dahi olsa yine de donmaya karşı korunmalı olmalıdır. Çünkü ortalama miktardaki uygun bir karışım, serpantini donmaya karşı koruyabilecek olsa bile damperin uygunsuz konumlandırılmasından dolayı oluşabilecek karışımlar serpantin yüzeyinin donmasına sebep olabilir. Buhar ön ısıtıcı serpantin iki yollu vanaya ve serpantin yüzeyinde yoğuşmayı önleyici vakum kırıcılara sahip olmalıdır. Taze hava sıcaklık değeri donma değerinin altına düştüğünde ısıtıcı serpantin vanası tamamen açılmalıdır. Ancak bu olay aynı zamanda serpantin çıkışında sıcaklığın kontrolsüz şekilde yükselmesine de sebep olur. Bu nedenle by-pass damperi ile son kontrol yapılır. By-pass damperi tam açık iken oluşan basınç düşümü ile damper ve serpantin tam açık iken içerisinden geçen havada oluşan basınç düşümü aynı değerde olacak şekilde by-pass damperi boyutlandırılmalıdır [1].

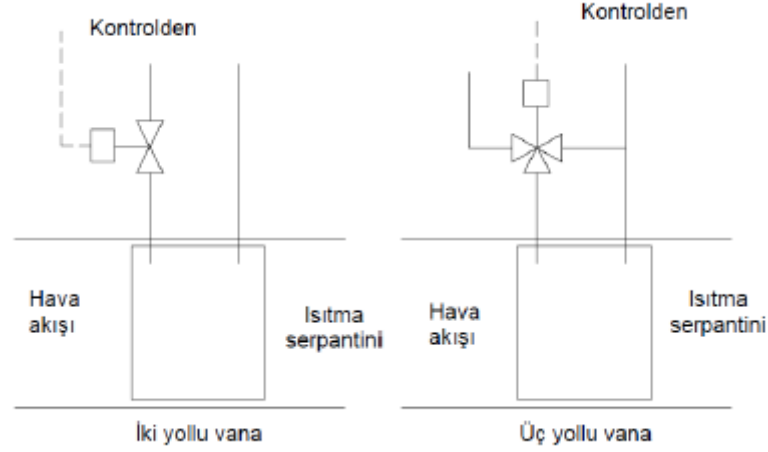


Şekil 1.10. By-pass ve yüzey damperli ön ısıtma, [1].

1.2.3.2. Son Isıtıcı ve Isıtıcı Son Kontrolü

Buhar ve sıcak sulu son ısıtma ve ısıtma serpantinleri donma gibi bir sorun ile karşı karşıya olmadıkları için basit iki yollu ya da üç yollu vana sistemi ile kontrol edilebilirler. Buhar dağıtıcı serpantinler uygun buhar serpantin kontrolüne ihtiyaç duyarlar. Sistemdeki vana, HVAC sistemine bağlı olarak serpantin çıkış sıcaklığı ya da oda sıcaklığına göre kumanda edilirler. Vanalar genellikle herhangi bir kontrol hatası durumunda açık kalarak sisteme enerji sağlayabilecek şekilde bağlanır [1].

Elektrikli ısıtıcı serpantinler iki konumlu ya da oransal olarak kontrol edebilirler. İki konumlu operasyonda genellikle ısıtıcı serpantin için gerekli güce göre seçilmiş kontaklı güç röleleri kullanılır. Zaman bağlı iki konumlu kontrolde ise zaman röleleri kullanılır. Step kontrolör elektrikli ısıtıcı kapasitesine kadar kumanda verebilir. Her kademedeki kullanılacak step kontrolün kontak hızına uygun kontaktör kullanılır. Mekanik ya da mercury kontaktörleri, seri değişimi bakım problemi oluşturabileceği için SCR (Silicon Control Rectifiers) ya da triacs türü katı hal (solid state) kontaktörler tercih edilir. Bu cihazlar çok hızlı çevrim yapabildikleri için step kontrol oransal kontrole yaklaşıyor. Emniyet nedeni ile elektrikli ısıtıcı, minimum hava akışı anahtarına, üst limit sensörüne, otomatik ve manuel reset anahtarına sahip olmalıdır [1].



Şekil 1.11. Isıtma kontrolü, [1].

1.2.4. Soğutma Serpantini Kontrolü

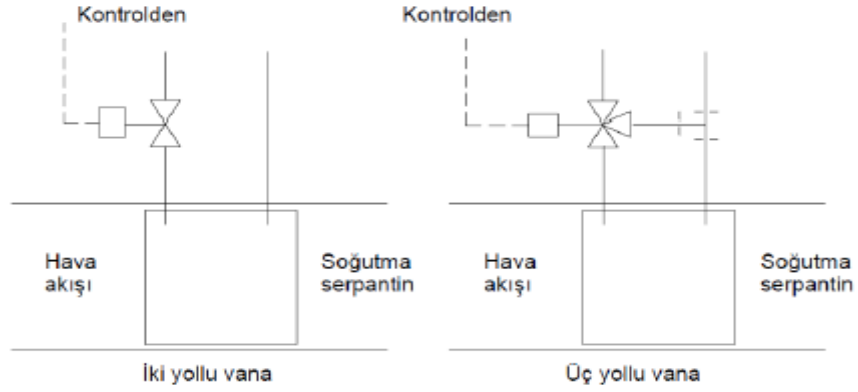
Soğutma serpantinde soğutucu akışkan olarak soğutulmuş su, glikol ya da direkt genleşmeli soğutucu kullanılır. Hemen hemen tüm soğutma prosesleri ile aynı zamanda nem alma ve soğutma görevi görür [1].

1.2.4.1. Nem Alma Kontrolü

Nem alma işleminin miktarı soğutucu serpantin yüzeyine ve soğutucu akışkanın donma noktasına bağlıdır. Eğer havada yoğuşmaya başlayan su serpantin yüzeyinde donar ise, serpantin boyunca hava akışı azalır. Serpantin yüzeyinde pratikteki sıcaklık limiti 40F civarındadır [1].

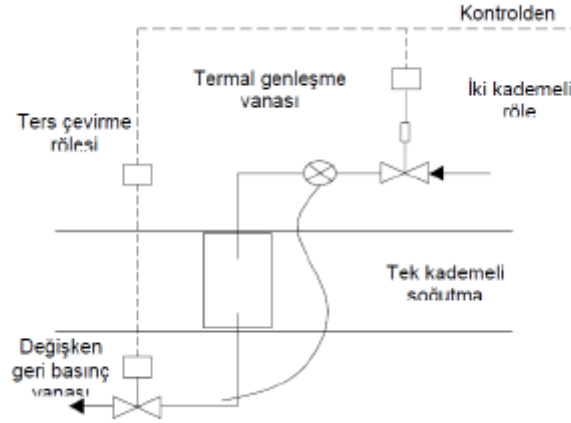
Soğutulmuş su kullanan serpantinler iki veya üç yollu vana ile kumanda edilirler. Vanalar genellikle ısıtmada kullanılanlara benzer ancak fanlar kapandığında vana da kapanacak şekilde kontrol edilirler. Vana genellikle soğutma serpantini çıkış sıcaklığına ya da oda sıcaklığına göre kontrol edilir. Dış hava ardışık çalışması genellikle uygulanır. Maksimum rölatif nem kontrolü yapılacağı zaman oda içerisine ya da dönüş kanalına higrostat yerleştirilir. Oda içerisinde oluşabilecek maksimum nemi sınırlamak için kontrolör soğutma ve nem alma için gerekli olan iki sinyalden büyük olanını seçer ve soğutucu motoruna gönderir. Bunda amaç soğutucu serpantinini aynı anda hem soğutma ve hem de nem alma için kullanılmasıdır. Nem alma olmayan bir sistemde, hem ısıtıcı hem de

soğutucu vananın aynı anda açılması söz konusu değildir. Ancak nem almalı sistemlerde bu mümkündür [1].



Şekil 1.12. Soğutulmuş su kontrolü, [1].

1.2.4.2. Evaporatif Soğutma Kontrolü



Şekil 1.13. Soğutmalı ayarlı evaporatif kontrol, [1].

Evaporatif soğutma kontrolü, standart evaporatif soğutucular ya da hava yıkayıcılar kullanılarak yapılabilir. Prosesin verimi, giriş ve çıkış kuru termometre sıcaklıkları farkının giriş kuru termometre çıkış yaş termometre farkına bölünmesi ile bulunur. Hava yıkayıcı

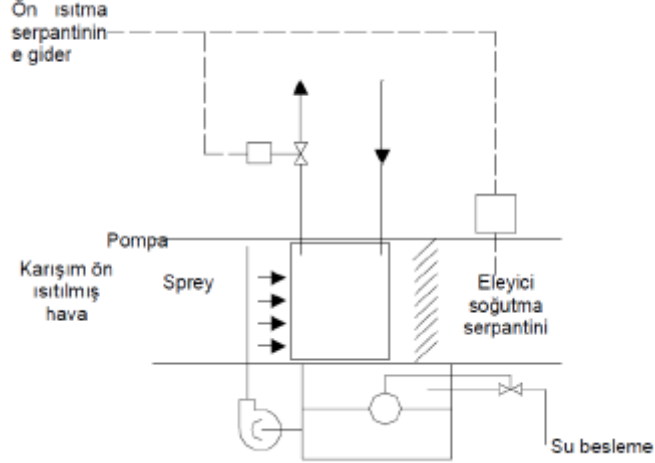
sistemler genelde %90 - %95 verimlilikle çalışır. Evaporatif soğutucularda ise verim %50-%90 arasında değişir. Püskürtücü pompalar oda sıcaklığına göre kumanda edilir. Oda nemi dış hava yağ termometre sıcaklığına bağlı değiştiği için kontrol edilmesi gereksizdir [1].

1.2.5. Nem Kontrolü

Soğutma yolu ile oda içerisinde oluşabilecek yüksek nemi limitlenmesi yapıyorsa bile asıl nem alma işlemi için özel ekipmanlara ihtiyaç vardır [1].

1.2.5.1. Nem Alma Kontrolü

Püskürtme serpantinli nem alıcılar, genel olarak nem alma işlemi için uygun ekipmanlardır. Ancak bakım ve son ısıtma işleminin işletme giderlerinde neden olduğu artış ile serpantin üzerinde katı artı oluşumu bu sistemin yaygın olarak kullanımını engellemektedir [1].

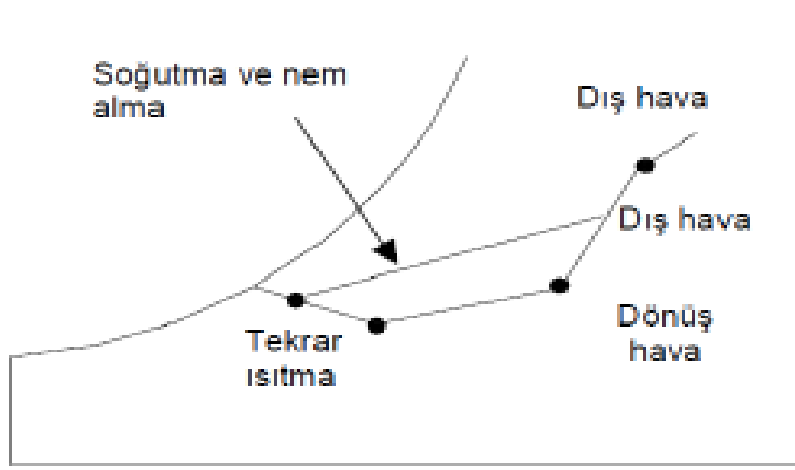


Şekil 1.14. Püskürtme serpantinli nem alıcı, [1].

1.2.5.2. Nemlendirme Kontrolü

Evaporatif fanlar, buhar jetleri ve atomizör püskürtücüler nemlendirme amacı ile kullanılan sistemlerdir ve oda ya da dönüş kanalından alınan nem ölçümlerine göre

kumanda edilirler. Nemlendiriciler genelde ısıtma periyodu boyunca dizayn edilen minimum nem kullanılırlarsa da, nemlendiricilerin uygun kullanımı ve kontrolü ile yüksek oranda oda nemine erişilebilir [1].



Şekil 1.15. Hava yıkamalı evaporatif soğutma ve püskürtme serpantinli nem alıcılar için psikrometrik diyagram, [1].

1.3. HVAC Sistemleri Kontrol Yöntemleri

HVAC sistemlerinde, kullanılan denetim yöntemleri denetlenen bölgenin konfor şartlarında bozulmaya neden olmadan enerji tasarrufuna olanak tanımaktadır. Denetlenen bölgenin, değişen ısı yükü ve dış ortam şartlarında sürekli olarak istenilen koşullarda tutulması denetimin temel amacıdır [2].

1.3.1. İki Konumlu (On/Off) Kontrol

İki konumlu kontrolde kontrol edilen değişkenin iki ayrı değeri, kontrol elemanının pozisyonunu belirler. Kontrolör kontrol edilen bu iki değer arasında Fark aralığı (Differential Gap) veya Fark (Differential) adı verilen aralıkta kontrol elemanının pozisyonunda bir değişiklik yapmaz. İki konumlu kontrol yönteminde ara değerler söz konusu olmadığından kontrol elemanının sadece iki konumu söz konusudur. Bu nedenle kontrol yöntemi oldukça basit olmasına rağmen salınımı çöktür [2].

1.3.2. Adım Kontrol

Adım denetleyiciler, elektrikli ısıtıcılar veya kompresörler gibi iki pozisyonlu cihazları, belirli bir sıralama ile işleterek devreye alma ve çıkarma prensibi ile çalışır. Adım denetleyiciler, birden fazla iki konumlu kontrol elemanlarını kullanarak doğru bir oransal çıkış bulmak için oransal bir giriş sinyali kullanırlar [2].

1.3.3. Üç Konumlu Kontrol

Üç konumlu kontrolde kontrol elemanının pozisyonu ölü bölge içerisinde hiç bir kontrol yapılmaksızın serbest bırakılmıştır. Bu nedenle kontrol edilen değer set değerine yakın bir noktada bulunur [2].

1.3.4. Oransal (P) Kontrol

Oransal kontrolde kontrol sinyali, kontrol edilen değişkenin değeri ile kontrol değeri arasındaki farka (hata değeri) göre oransal olarak değişir. Kontrol elemanının tam açık veya tam kapalı olabildiği iki konumlu kontrolden farklı olarak kontrol elemanı yüzde olarak istenilen oranda açık ve kapalı olabilir [2].

1.3.5. Oransal - Entegral (PI) Kontrol

Kontrol sinyali, oransal kontrol metodundan farklı olarak kontrol edilen değişkenin değeri ile kontrol değeri arasındaki farka (hata değeri), hatanın süresi ve büyüklüğüne göre oransal olarak değişir. Kontrol elemanının konumu oransal kontrol metodunda olduğu gibi ölçülen değerlerin belli miktarlarına karşılık sabit bir orana sahip değildir [2].

1.3.6. Oransal – Entegral – Türev (PID) Kontrol

Bir kapalı döngü denetim sistemi içindeki denetim organının görevi, ölçme elemanı üzerinden geri beslenen çıkış büyüklüğünü, giriş büyüklüğü ile karşılaştırmak ve karşılaştırmadan ortaya çıkan hata değerinin yapısına ve denetimine bağlı olarak uygun bir denetim sinyali üretmektir [3].

Sürekli denetim sistemi için temel denetim etkileri orantı (P), integral (I) ve türev (D)' dir. Bu temel denetim etkilerinin bir veya birkaçının bir arada uygun şekilde kullanılması ile değişik denetim organları oluşturulur. Bu denetim organları orantı (P), orantı - integral (PI), orantı - türev (PD) ve orantı - integral - türev (PID) olarak nitelendirilir. PID denetim, üç temel denetim etkisini de içerdiği için en çok kullanılan denetimdir [3].

HVAC sistemlerinde sıcaklık, nem oranı, havalandırma sistemlerinde kullanılan fan hızının denetimi, soğutma sistemlerinde kompresör ve buharlaştırıcı fan hızının denetimi, ısıtma sistemlerinde valf denetimi gibi birçok konuda PID denetim uygulamaları üzerine çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Klasik PID denetimde, PID kazanç değerleri uygun çalışma şartları için ayarlanır ve çalışma koşullarında çok büyük değişiklikler olmadığı sürece bu değerler değiştirilmeden denetim gerçekleştirilir. Olası bir değişiklik durumunda ise sistem durdurulur ve ayarlamalar yeniden yapılır. Son yıllarda yapılan çalışmalarla bu PID kazançları, değişen çalışma koşullarına göre değerlerini kendi kendine ayarlayan (auto tuning, self tuning) denetim sistemleri geliştirilmiştir [3].

1.3.7. Uyarlamalı (Adaptive) Kontrol

Adaptif denetimin;

- i) Sistem dinamik karakteristiğinin tanımlanması (identification),
 - ii) Sistem tanımına dayanan kararın üretilmesi (decision making),
 - iii) Üretilen karara dayanan düzeltme (modification)
- olmak üzere üç temel fonksiyonu vardır.

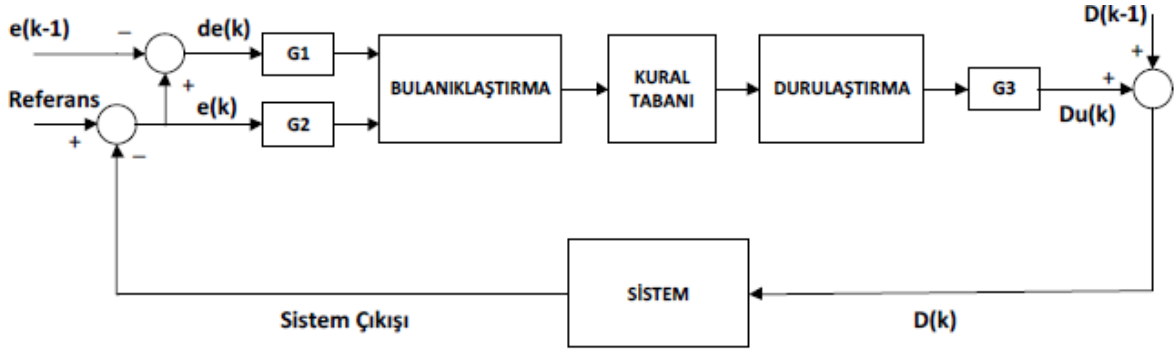
Günümüzde uyarlamaları adaptif denetleyiciler sistem dinamiğinin kestirimini (estimation) ve bu kestirim değerlerini en uygun denetleyici ayarları ile yerine getirmek için kullanır. Her bir örnekleme aralığındaki sistem parametrelerinin sürekli güncelleştirilmesi işlemi “tekrarlı parametre kestirimi (recursive parameter estimation)” ile adlandırılır. Bu yöntemde daha önceden kestirimi yapılan parametreler bellekte saklanmış olup, bu değerler denetim fonksiyonun düzgünleştirilmesi için en küçük kareler yöntemi içinde kullanılabilir. Daha sonra parametrelerin mevcut olduğu en son sistemde kendi kendini ayarlayan denetleyici, denetleyici ayarlarını uygulamak için bazı tasarım işlemlerine gider. Bu tasarım genellikle sistemin arzu edilen çıkış cevabına dayanır. Bu tasarım işlemlerinden birisi de kararlılık çözümlemesi için kök - yer eğrisi yöntemine

dayanır. Denetim algoritmasındaki kazançların ve zaman sabitlerinin ayarlanması yolu ile kullanılan yöntem, transfer fonksiyonunu ayarlamayı ve dolayısıyla da hâkim çıkış cevabını araştırır. Diğer işlemler genellikle Ziegler - Nichols kurallarına dayanır. Kendi kendini ayarlayan denetim çevrimindeki son süreç, uygulanmış denetleyici ayarlarını fiziksel olarak gerçek sistem üzerine yüklemektir. Kendi kendini ayarlayan denetim genellikle ölü zaman gecikmesi, doğrusalsızlıklar ve çoklu denetim döngüleri ile karmaşık hale gelen sistemlerde uygulanır. Bu tür sistemlerin kararlılığı çoğu durumlarda, genel bir teori bulunmamasından dolayı saptanabilir değildir. Bu nedenle pek çok kendi kendini ayarlayan denetleyiciler iyi tanımlanmış PID denetleyicilerine dayanmakla beraber buna güçlendirilmiş uyarlanabilirlik de ilave edilmiştir [3].

1.3.8. Fuzzy Logic (Bulanık Mantık) Kontrol

Günlük hayatta rastgele kullandığımız birçok terim genellikle bulanık bir yapıya sahiptir. Bir şeyi tanımlarken, bir olayı açıklarken, komut verirken ve daha birçok durumda kullandığımız sözel veya sayısal ifadeler bulanıklık içerir. Bu terimlere örnek olarak; yaşlı, genç, uzun, kısa, sıcak, soğuk, ılık, bulutlu, parçalı bulutlu, güneşli, hızlı, yavaş, çok, az, biraz, fazla, çok az, çok fazla gibi daha bek çok sözel terim gösterilebilir. Biz insanlar bir olayı anlatıp, bir durum karşısında karar verirken bu tür kesinlik ifade etmeyen terimler kullanırız. Kişinin yaş durumuna göre ona yaşlı, orta yaşlı, genç, çok yaşlı ve çok genç deriz. Yolun kayganlık ve rampa durumuna göre arabanın gaz veya fren pedalına biraz daha yavaş veya biraz daha hızlı basarız. Çalıştığımız odanın ışığı yetersiz ise onu biraz artırır, yeterinden fazla ise biraz azaltırız. Bütün bunlar insan beyninin belirsiz ve kesinlik içermeyen durumlarda nasıl davrandığına ve olayları nasıl değerlendirip, tanımlayıp, komut verdiğine dair birer örnektir [4].

Bulanık Mantık, diğer denetim yöntemlerindeki karmaşık işlemlere ve sistemin matematiksel modeline gerek duymadan denetim işlemini gerçekleştirmektedir. Günümüzde kontrol sistemi uygulamalarında bulanık mantık ile denetim önemli hale gelmiştir. Klasik sayısal (0,1) mantığının ötesine geçmiş bir yaklaşım olan bulanık mantık, bu iki değer arasında çok seviyeli değerler üretebilmesi sonucunda denetimin daha doğru kararlar üretmesini, böylece performansın ve verimin artmasını sağlamaktadır. Şekil 1.16.'da bulanık mantık denetiminin temel blok yapısı görülmektedir [5].



Şekil 1.16. Bulanık mantık denetimin temel blok yapısı, [5].

Şekil 1.16. 'da gösterildiği gibi bulanık denetim mantığı temel olarak 3 bileşenden oluşmaktadır. Bunlar bulanıklaştırıcı birim, kural tabanı birimi ve durulaştırıcı birimdir. Bulanıklaştırıcı birim, gelen kesin giriş bilgilerini bulanık hale getirme görevini yapmaktadır. Bulanıklaştırılan değerler kural tabanı birimine gönderilir. Kural tabanında veri tabanı ve dilsel denetim öğeleri bulunmaktadır. Kurallar işlendikten sonra bulanık sonuç işareti bir sonraki adımda çıkışa yansıtılabilmek için durulaştırma birimine gönderilir. Burada kesin sonuçlar üretilir. Şekil 1.16. 'da $e(k)$ hata işareti, $e(k-1)$ bir örnekleme süresi içinde hatadaki değişimi ifade eder. $G1$, $G2$ ve $G3$ kazanç değerleridir. $Du(k)$ durulaştırma birimi çıkışıdır ve bir önceki değeri olan $D(k-1)$ ile toplanmak suretiyle $D(k)$ elde edilerek sistemin girişine verilmiştir [5].

1.3.9. Genetik Algoritma

Genetik algoritma, doğadaki evrim mekanizmasını örnek alan bir arama metodudur. Genetik algoritmalar doğada geçerli olan en iyinin yaşaması kuralına dayanarak sürekli iyileşen çözümler üretir [6].

Genetik algoritmalar, araştırma ve optimizasyon algoritmaları olup, canlılardaki doğal gelişim prensibine dayanmaktadır. İhtimal hesaplarına dayanan karakterleri ve çoklu mümkün çözümleri araştırma gibi önemli özelliklere sahip olmaları ve amaç fonksiyonunun değişim ölçüsünün bilinmesine ihtiyaç duymamaları en önemli avantajlarıdır [7].

Günümüzün karmaşık ve zor koşulları problemlere hızlı ve kolay çözüm veren yeni çözüm yöntemleri arayışına neden olmuştur. Özellikle sert(hard) optimizasyon teknikleri

yerine, yumuşak hesaplama (soft computing) ve evrimsel algoritma (evolutionary algorithm) kullanımı ön plana çıkmıştır. Evrimsel yaklaşımlardan olan genetik algoritmalar da, bu arayışlar içinde önemli bir yer tutmaya başlamıştır. Uygulama başarıları artan ve sürekli geliştirilmeye çalışılan genetik algoritmalar diğer yumuşak hesaplama yöntemleri ile birlikte kullanılarak hibrid (hybrid) çözümler geliştirilmesine çalışılmaktadır [8].

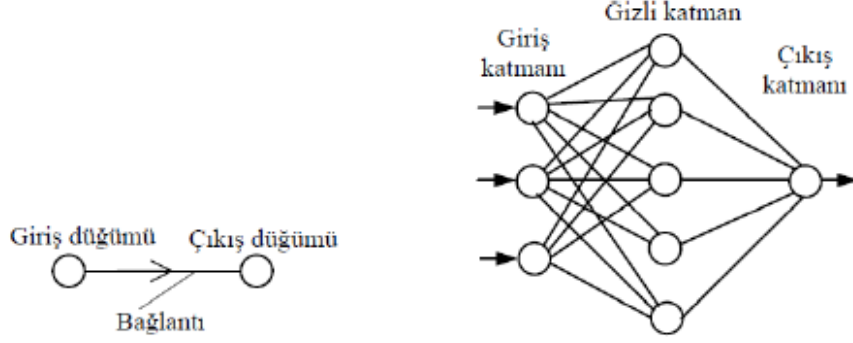
Genetik algoritmalar, doğal seçim ilkelerine dayanan bir arama ve optimizasyon yöntemidir. Temel ilkeleri John Holland tarafından ortaya atılmıştır. Temel ilkelerinin ortaya atılmasından sonra, genetik algoritmalar hakkında birçok bilimsel çalışma yayınlanmıştır. Ayrıca, genetik algoritmaların teorik kısmı ve uygulamaları hakkında birçok uluslararası konferans da düzenlenmektedir. Genetik algoritmaların, fonksiyon optimizasyonu, çizelgeleme, mekanik öğrenme, tasarım, hücresel üretim gibi alanlarda başarılı uygulamaları bulunmaktadır. Geleneksel optimizasyon yöntemlerine göre farklılıkları olan genetik algoritmalar, parametre kümesini değil kodlanmış biçimlerini kullanırlar. Olasılık kurallarına göre çalışan genetik algoritmalar, yalnızca amaç fonksiyonuna gereksinim duyar. Çözüm uzayının tamamını değil belirli bir kısmını tararlar. Böylece, etkin arama yaparak çok daha kısa bir sürede çözüme ulaşırlar [9].

1.3.10. Yapay Sinir Ağları (Artificial Neural Networks, ANN)

Yapay sinir ağları, insan beyninin özelliklerinden biri olan öğrenme yolu ile yeni bilgiler türetebilme, yeni bilgiler oluşturabilme ve keşfedebilme gibi yetenekleri herhangi bir desteğe ihtiyaç duymadan otomatik olarak gerçekleştirebilme amacı ile geliştirilmiş insan beyninin bilgisayarlaştırılmış modelidir. Yapay sinir ağlarının hata tanısında denetlenen sistemin matematiksel modellerine gereksinimleri yoktur. Gerekli bilgiyi eğitim sırasında sunulan sezici ölçümlerinden çıkarırlar. Yapay sinir ağları bu bilgiyi, ilgili olay hakkında örnekler üzerinde eğitilerek öğrenirler. Örneklerden özellikleri çıkartarak genelleştirme yapmak ile daha sonra ortaya çıkacak fakat hiç görülmemiş olaylara çözümler üretmektedirler. Bu nedenle yapay sinir ağlarının programlanması çok zor veya mümkün olmayan olaylar için geliştirilmiş adaptif bilgi işleme ile ilgilenen bir bilgisayar bilim dalı olduğu söylenebilir [2].

Yapay sinir ağları, insanlar tarafından gerçekleştirilmiş örnekleri kullanarak olayları öğrenebilen ve çevreden gelen olaylara karşı nasıl tepkiler üretileceğini belirleyebilen bilgisayar sistemleridir. İnsan beyninin fonksiyonel özelliklerine benzer şekilde öğrenme,

ilişkilendirme, sınıflandırma, genelleme, özellik belirleme ve optimasyon gibi konularda başarılı bir şekilde uygulanmaktadır [2].



Şekil 1.17. Yapay sinir ağı modeli, [2].

Teknik olarak yapay sinir ağlarının temel görevi, kendisine gösterilen bir giriş setine karşılık gelebilecek bir çıkış seti belirlemektir. Bunu gerçekleştirilebilmesi için ağın, ilgili olaya ilişkin hazırlanan örnekler ile eğitilerek varsayım yapabilecek yeteneğe kavuşturulmalıdır [2].

1.4. Literatür Araştırması

Günümüzde, havalandırma ve iklimlendirme sistemleri ve bu sistemlerin kontrol uygulamaları üzerine deneysel ve sayısal birçok araştırma yapılmaktadır.

Chu vd. [10] yaptıkları bir çalışmada, HVAC sistemindeki bir fan-coil sisteminin zamana bağlı en uygun sıcaklık ve bağlı nem değerini belirleyebilmesi için tahmini yük entalpi teorisi ve ısı konfor seviyesi tanımını birleştirerek En Az Entalpi Tahmincisini (LEE) geliştirmişler ve bunu bir bulanık kontrol uygulamasıyla denetlemişlerdir. Isıtma, havalandırma ve iklimlendirme sistemi kontrolünün iki temel alanının olduğu ve bunların, tüketilen enerji tasarrufu ve ısı konfor seviyesinin korunması oldukları belirtilmiştir. HVAC sistemi ile ısı konfor kontrolünün amacının insanlar için kabul edilebilir bir seviyede konfor şartını sağlamak olduğu söylenmektedir. Çalışma sonucunda bulanık kontrol uygulamasının enerji verimi, ısı konfor ve sistem güvenilirliği açısından uygun olduğu görülmüştür. Bununla birlikte çok odalı bir LEE tabanlı fan-coil ünitesinin bulanık

kontrol ile denetlenebilen sistem kurma kolaylığı sadece yeni binalara değil aynı zamanda mevcut binalara da adapte edilebilme olanağına sahip olduğunu belirtmişlerdir. Bundan dolayı bu sistemin ofis binaları ve oteller gibi çok odalı birçok yapıda yaygınlaşabileceği sonucuna varmışlardır.

Soygüder ve Alli [11] yaptıkları çalışmada, ortam sıcaklık şartları dikkate alınarak iki farklı zonlu değişken hava debili bir HVAC sisteminin modellenmesi, sayısal benzetimi ve denetimini gerçekleştirmişlerdir. Sayısal benzetimde iki farklı özellikteki zonlara ait mahal alan sıcaklıklarının ortam sıcaklığından istenilen referans sıcaklıklarına kadar soğutulmasını amaçlamışlardır. Sistemin modellenmesinde sistemi oluşturan iki farklı zonun dış ortamla taşınım ve iletim ile oluşturduğu ısı kayıplarının, soğutma ünitesinin, fan ve kanalların ısı transfer denklemlerinin çıkartılarak alt modeller oluşturmuşlardır. Her noktada ve her zaman adımında farklı iki zon bölgesine ait istenilen referans sıcaklıklar ve zondaki konfor şartlarının sağlanması için gerekli damper açıklık oranlarını bulmuşlardır. Değişken hava debili HVAC sistemin denetiminin sayısal benzetimi MATLAB/SIMULINK' de hem bulanık mantık kontrolü, hem de PID denetimi gerçekleştirilerek beklenen en iyi denetimin yapılmasına çalışmışlar ve sonuçları grafikler halinde elde etmişlerdir. Grafiklerden elde edilen sonuçlara bakıldığında bulanık mantık kontrolü ile sistemin hem arzu edilen sıcaklık set değerleri hem de damperlerin açıklık oranları hatasız bir performans sergileyerek sistemi daha hızlı bir şekilde rejime getirdiği görülmüştür. PID ile denetimi yapılan modelin performansında azda olsa hatalar oluştuğu gözlenmiştir. Bu durumun soğutulması yapılan bir mahal' in tüm bileşenlerinin hesaba katılarak matematik modelinin yapılmasındaki kompleks yapıya bağlı olduğunu belirtmişlerdir.

Şengirgin ve Pulat [12] yaptıkları çalışmada, büyük bir büronun ısıtma-havalandırma sistemini modelleyerek, sistemin klasik aç-kapa kontrol denetimi ile dış hava sıcaklığı ve hava/geri dönüş havası oranı gibi parametrelerin sistemin kontrol davranışa etkisini incelemişlerdir. Isıtma-havalandırma sisteminin sayısal benzetimini Matlab/Simulink' te aç-kapa tipi denetim organıyla denetlenmişlerdir. Sistem, klasik bir tek-bölgeli (Tam havalı, tek zonlu) basit bir ısıtma sistemidir. Soğutma, nem alma ve nemlendirme gibi fonksiyonları bulunmamaktadır. Isıtılacak mahallin 300 m² büyüklüğünde 2.5 m yüksekliğinde, 30 kişinin çalıştığı büyük bir büro olduğu kabul edilmiştir. Büro içinde kişi başına ihtiyaç duyulan hava miktarı 10 lt/s ve kişi başına duyulur ve gizli toplam ısı kazancı 150 W olarak alınmıştır. Mahal içindeki aydınlatma ve diğer ısı kazançları ihmal

edilmiştir. Mahal bölgesi, Sürekli Akışlı Sürekli Açık (SASA) sistemi olarak kabul edilmiş olup tek giriş ve tek çıkış olduğundan dolayı giriş ve çıkış havası debileri eşittir. Çalışma sonucunda geri dönüş havası kullanımının önemli bir enerji tasarrufuna sebep olduğu belirlenmiş, bununla birlikte iç hava kalitesi açısından belli bir değeri aşmaması gerektiğini söylemişlerdir.

Lute ve Paassen [13] yaptıkları çalışmada, bir test odasının iç sıcaklığını tahmin edebilecek farklı kontrol uygulamaları ile odaya sağlanması gereken ısı miktarlarını belirlemeye çalışmıştır. Denetlenen ortamın sıcaklık davranışının modeli çıkarılarak, istenen referans sıcaklık ve denetleme işaretine cevabını önceden tahmin eden bir denetleme yöntemi oturtmuşlardır. Bu sisteme Linear Predictive Control (LPC) System adını vermişlerdir. Çalışmada; kontrol uygulamalarının sistemin davranış yetenekleri üzerindeki etkisi kıyaslamalı olarak incelenmiştir. Bu test sayesinde elektrik tüketiminde yılda yaklaşık %10 tasarruf sağlandığı görülmüştür. Kontrol uygulamasının göreceli olarak kısa tahmin periyotlarında olması herhangi bir sorun teşkil etmezken, uzun tahmin sürelerinde olmasının hem işlem süresini uzattığını hem de daha fazla bilgisayar belleği gerektirdiğini belirtmişlerdir.

Engdahl ve Svensson [14] tarafından yapılan çalışmada, ana hedef, uygun bir iç mekân iklimlendirmesi sağlayan, enerjiyi en verimli şekilde kullanan ve uzun vadeli bir dönem içinde çalışabilen bir sistem tasarlamaktır. Bunun için HVAC sisteminde bulunan basınç kontrollü bir VAV sistemi seçilerek optimizasyon yapılmıştır. Çalışma sonucunda, bölgesel difüzörler arasındaki göreceli debi farkı hesaplanarak ve ölçülerek, basınç sensörünün yerleştirilmesi için temel denklemler oluşturulmuştur. Yüksek düzeydeki besleme hava debisinin, ofis çalışanlarının performansını artırma ve kısa süreli iş günü kaybını azaltma potansiyelinin olduğu belirtilmiştir. Besleme hava debisini arttırmak için sisteme soğutma işlevi olan hava ilave edilmesi ve %100 dış hava verilmesi gerektiği belirtilmiştir. Bölgesel düzeyde statik basınç kontrol edilirken, tek tek debi ölçümü olmadan ve diğer bölgeler için hava debisini etkilemeden, farklı bölgeler için hava debisini değiştirmenin mümkün olduğunu söylemişlerdir. Fan basıncının set (ayar) değeri optimize edilerek, fan gücü ihtiyacında ve ses seviyesinde bir azalma olabileceği tespit edilmiştir.

Yılmaz ve vd. [15] yaptıkları çalışmada, bir ofis binası için değişken hava debili iklimlendirme sistemini modelleyerek, bu sistem üzerinde kontrol uygulaması yapmışlardır. Yapılan modelde göz önüne alınan ofis binasını oluşturan tüm zonlar, soğutucu ve nem alıcı serpantin, soğutma ünitesi, fan ve kanallar için bünye denklemleri

çıkarılarak alt modeller oluşturmuşlar ve değişken hava debili iklimlendirme sisteminin tüm modelini elde etmişlerdir. Çalışma kapsamında ele aldıkları sistem iki zonludur. İlk zon dış zon olarak adlandırılıp 300 m³'lük ofis çalışanlarının bulunduğu zondur. İkinci zon ise iç zon olarak adlandırılıp tuvaletler ve kiler gibi sürekli kullanım alanı olmayan zondur. Değişken hava debili iklimlendirme sisteminde kontrol organı olarak PI tipi kontrolü seçmişlerdir. Çalışma sonucunda zonlara ait sıcaklık ve nem değerleri, damper açıklık oranları, serpentine ait giren ve çıkan hava sıcaklık değerleri ve soğutma ünitesine verilen enerjinin değişimini anlık olarak bulmuşlardır. Dış zon sıcaklığı konfor şartı olan 25°C'deki kararlı yapıya yaklaşık 30 dakika sonra oturmuştur. İç zon sıcaklığı ise 25°C'deki kararlı yapıya yaklaşık 50 dakika sonra oturmuştur. Her iki zonunda istenilen referans değeri olan 25°C'deki kararlı yapıya oturma sürelerinin kısa olduğunu ve dolayısıyla uygulanan kontrolün başarılı olduğunu belirtmişlerdir. Nem değerlerinde ise dış zona bakıldığında sürekli konfor şartı olan %40-%60 bağıl nem aralığında kalması sağlanmıştır. İç zonda ise saat 09:00-10:00 arası %60 bağıl nem değerini %2 geçtiğini tespit etmişler ve bu değer sürekli kullanım alanı olmayan iç zon için makul olduğunu belirtmişlerdir. Sonuç olarak geliştirmiş oldukları model ve simülasyon programı ile bir binanın işletme, bina verimleri ve konfor şartları verildiği takdirde serpantin yükünün, debilerinin, sistem cihazların giriş ve çıkış değerlerinin zamana bağlı değişimlerinin elde edilebileceğini ve sistemin verimliliğinin irdelenebilirliğinin mümkün olacağını belirtmişlerdir.

Bruant vd. [16] yaptıkları çalışmada, bir test bölgesinde uygun iç hava kalitesini ve ısı konfor koşullarını sağlayarak, enerji tüketimlerini en aza indirebilmek için bulanık mantık ve klasik aç-kapa kontrol uygulamalarını karşılaştırmışlardır. Çalışma split klimayla donatılmış bir test hücresine uygulanmıştır. Bulanık denetleyici, hiyerarşik bir mimari için kurallar sayısını azaltmak ve böylece kural stratejisini geliştirmek amacıyla seçilmiştir. Çalışma sonucunda elde edilen bulgulardan klasik aç-kapa kontrol ile iç hava kalitesi ve ısı konfor koşullarının sağlanamadığı görülmüştür. Yapılan bulanık kontrol uygulaması ile de iç hava kalitesi ve ısı konfor koşullarının sağlanabildiği ve %10'dan fazla enerji tasarrufu yapıldığı görülmüştür. Deneysel ısı performans bakımından her iki denetleyici konfor ve iç hava kalitesi açısından insanlar tarafından algılanan hisler çok karşılaştırılabilir. Bu çoğunlukla giyim değeri ve çevresel parametrelerin hesaplanmasındaki yanlışlıklar nedeniyle olurmuş. Ancak bu ısı tercihi ve iç hava kalitesi online ayarın ne derece önemli olduğunu dolayısıyla bu noktada ilave bir çalışma

yapılması gerekliliğini ortaya koymuşlardır. Ayrıca bu testler sırasında klima kontrolünün çok esnek olmadığı da belirtilmiştir.

Dong vd. [17] yaptıkları çalışmada, Amerika'nın Austin kentinde 2000 yılında inşa edilmiş olan Akins lisesinin HVAC sistemini incelemiştir. HVAC sistemi DDC (Doğrudan sayısal kontrol) yöntemiyle çalışmaktadır. Bes-Tech mühendisleri tarafından 2005 yılının Ağustos ayından beri "Sürekli Devreye Alma (CC®)" süreci uygulanmakta olduğunu belirtmişlerdir. Sürekli Devreye Alma (CC®) ile, HVAC sistemindeki verimsiz ekipmanları tespit ederek, potansiyel enerji güçlendirmelerini belirleyerek, arızalı bileşenleri güncelleyerek ve sistem kontrolü dizilerini optimize ederek üstün enerji ve konfor performansı sağlayacağını belirtmişlerdir. Çalışma sonucunda söz konusu lisenin HVAC sistemi kontrol uygulamaları ile optimize edilerek, Kasım 2005-Kasım 2006 arasındaki 13 aylık süreçte 21.276\$ elektrik tasarrufu, 14.772\$ gaz tasarrufu ve 5.871\$ diğer işletme masrafları olmak üzere toplam 41.919\$ tasarruf sağlanabileceği görülmüştür. Toplam maliyet tasarrufu yıllık 38.681\$ olup temel enerji maliyetlerinin %9,5'ini temsil ettiğini göstermişlerdir.

Asiedu vd. [18] tarafından yapılan çalışmada, HVAC sisteminde bulunan havalandırma kanallarının tasarımındaki minimum işletme maliyetini bulabilmek için genetik algoritma tekniğini kullanarak bir optimizasyon yapılmıştır. Çalışmada genetik algoritma kullanımının, standart havalandırma kanal boyutları, günlük çalışma koşulları ve günlük çalışma oranları gibi parametreleri kendi bünyesine dâhil etme yeteneğine sahip olduğunu belirtmişlerdir. Genetik algoritma kullanımı, ekonomik açıdan verimli HVAC sistemleri tasarımı sağlayan genel bir tasarım metodolojisi olduğunun ve bu yaklaşımın gücü basitlik, esneklik, kısıtlayıcı sorunların çözümü ve uzman bilgisini algoritmaya kolayca dâhil edebilmesi olduğu görülmüştür. Bu genetik algoritma metodolojisini kullanarak mümkün olan minimum işletme maliyeti tasarrufunu göstermek için ağırlıklı ortalama hava debisini ve çalışma oranlarını kullanılarak elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Minimum işletme maliyet tasarrufu, bazı tasarımlar için az, fakat karmaşık tasarım ve işletim kısıtlamaları için çok büyük tasarruf mümkündür. Bu metodoloji belirli bir hava kanalı sistemine uygulanabilir olmasına rağmen diğer kanal ve boru sorunları için geliştirilebilir. Minimum işletme maliyetlerini azaltmak için genetik algoritmalar kullanılarak, birçok bileşen ve doğrusal olmayan performans faktörleri, kısıtlamaları olan çoğu HVAC&R tasarım sorunlarının çözülebileceğini söylemişlerdir.

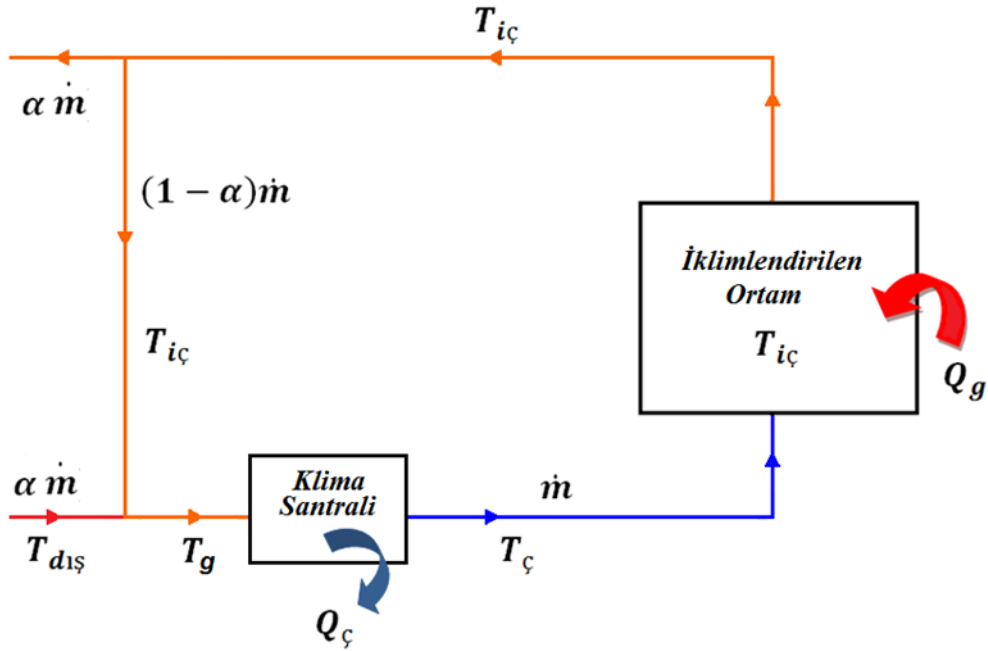
Literatürde bazı çalışmalarda kontrol uygulamalarının yanı sıra genetik algoritmalar da kullanılarak HVAC sistemlerinde optimizasyon problemleri üzerine çalışılmıştır. Bu uygulamalar kontrol uygulamaları ile de birlikte kullanılarak, HVAC sistemlerinin çalıştırılması için en verimli kullanım senaryolarını oluşturmak amaçlanmıştır.

Nassif vd. [19] tarafından yapılan çalışmada; ortama sağlanan hava sıcaklığı, havalandırma kanalı statik basıncı, soğutma suyu giriş sıcaklığı, minimum dış havalandırma debisi ve bölgenin besleme havası sıcaklıkları gibi HVAC parametreleri, iki amaçlı genetik algoritma ile optimize edilerek binanın merkezi kontrol sistemini bu optimize edilerek ayarlanmış aralıklarda çalıştırmışlardır. İki amaçlı genetik algoritmayla enerji kullanımı ve ısı konforu optimize edilmiştir. Önerilen optimizasyon işlemi, École Supérieure Teknolojilerinde kurulu bulunan mevcut bir HVAC sisteme iki yaz ayı için uygulanmıştır. Bu sayede sistemin oldukça verimli ve en düşük enerji kullanımı sağlayacak şekilde çalıştırılması gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucunda gerçek ve optimum enerji kullanımı karşılaştırılarak gösterilmiştir. Karşılaştırma sonucunda, iki amaçlı genetik algoritmayla optimize edilen HVAC sistem parametrelerinin kontrol uygulamaları ile kullanılarak iki yaz ayı için çalıştırılan bir binanın HVAC sisteminde %16 oranında enerji tasarrufu elde edilebileceğini göstermiştir. Bu sonuçlar, gerekli kısıtlamalar ile optimize edilen HVAC sisteminin işletim performansını arttırabileceğini göstermektedir. Diğer sonuçlara bakıldığında, iki amaçlı optimizasyon problemiyle tek amaçlı optimizasyon problemi karşılaştırıldığında, iki amaçlı optimizasyonun daha fazla enerji tasarrufu sağlarken, günlük enerji kullanımı veya günlük bina ısı konforu kontrolüne yardımcı olabileceğini göstermektedir.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Problemin Özellikleri

Bu çalışmada; Şekil 2.1.'de görülen çevrimde yer alan HVAC sisteminde, klasik aç-kapa ve bulanık mantık uygulanarak yapılan sistem kontrolü ile iklimlendirilen ortamın sıcaklığının 5°C düşürülmesi amaçlanmıştır. Buna göre sistemde yer alan iklimlendirilen ortama ait sıcaklığın ($T_{iç}$) zamanla olan değişimi ve klima santralinden iç ortama gönderilen havayı soğutmak için havadan çekilmesi gereken enerji miktarının ($Q_{ç}$) zamana bağlı olarak değişimi incelenmiştir.



Şekil 2.1. HVAC Sisteminin Şematik Görünüşü

Modellenen HVAC sisteminde klima santralinden çıkan hava iklimlendirilen ortama girerek, ortamın sıcaklığını düşürmektedir. Ortamdan sıcaklığı yükselerek çıkan havanın bir kısmı hava tahliye oranı (α) kadar iç hava kalitesi koşullarının sağlanması için dışarıya atılmaktadır. Geri kalan hava, tahliye edilen hava oranında dışarıdan alınan taze hava ile karıştırılarak tekrar soğutulmak üzere klima santraline gönderilmektedir. Çalışmada; dış

ortam sıcaklığı $T_{dış} = 30 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ve klima santrali hava çıkış sıcaklığı $5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ olmak üzere sabit değerler kullanılarak, aç kapa ve bulanık mantık kontrol uygulaması ile β fan debisi değişim oranı ile fan debisi kontrol edilmiştir. Ayrıca çalışmada, ortam sıcaklığı $T_{iç}$ ile klima santralinde havadan çekilen $Q_{ç}$ ısı gücünün zamanla değişim karakteristikleri de elde edilmiştir.

Çalışmada kullanılan modelde iklimlendirilen ortamın hacmi 1000 m^3 ve odaya sağlanan toplam hava debisi $1000 \text{ m}^3/\text{h}$ olarak göz önüne alınmıştır. Modelde göz önüne alınan probleme ait değerler topluca Tablo 2.1.'de verilmiştir.

Tablo 2.1. Giriş değerleri

Birim	Değer
M	1200 kg
V	1000 m^3
\dot{m}	0,333 kg/s
\dot{V}	$1000 \text{ m}^3/\text{s}$
C_p	1005 J/kgK
C_v	718 J/kgK
L	0,3 m
A	400 m^2
k	0,35 W/mK
$T_{dış}$	$30 \text{ }^{\circ}\text{C}$
$T_{ç}$	$5 \text{ }^{\circ}\text{C}$

2.2. Modelleme

Çalışmada açık bir sistem olarak göz önüne alınmış olan HVAC sistemindeki hava çevrimine ilişkin matematiksel model süreklilik denklemi ve Termodinamiğin birinci kanunu ile yapılmıştır. Buna göre iklimlendirme yapılan ortam için süreklilik denklemi;

$$\dot{m}_g = \dot{m}_ç = \dot{m} \quad (2.2)$$

olarak yazılır. Öngörülen modelde iklimlendirilen ortama giren hava miktarı, çıkan hava miktarına eşit olduğundan iç ortam içerisindeki hava miktarında bir değişiklik olmamaktadır.

Sistemde iklimlendirilen ortam için geçici rejimde enerjinin korunumu;

$$\dot{Q} - \dot{W} + \sum E_g - \sum E_\zeta = \frac{dE_{sis}}{dt} \quad (2.3)$$

olarak yazılır. (2.3) denklemindeki \dot{Q} , sistemin birim zamandaki ısı değişimi olup şu şekilde ifade edilmektedir.

$$\dot{Q} = \dot{Q}_g - \dot{Q}_\zeta \quad (2.4)$$

Ayrıca sistemde herhangi bir iş yapılmadığı kabul edilmiş olduğundan dolayı $\dot{W} = 0$ olur.

(2.3) denklemindeki $\sum E_g$; klima santraline hava ile giren enerjiyi ifade etmekte olup şu şekilde tanımlanmıştır:

$$\sum E_g = \alpha \beta \dot{m}_g h_g \quad (2.5)$$

Klima santraline hava ile giren enerji, klima santraline giren havanın entalpisi ile tanımlanır. (2.5) denkleminde yer alan h_g ise klima santrali içine giren havanın özgül entalpisi olup, termodinamikten bilinen

$$h_g = C_p T_{du} \quad (2.6)$$

ilişkisi ile tanımlanır. (2.3) denklemindeki $\sum E_\zeta$ ise klima santralinden hava ile çıkan enerjiyi ifade etmekte olup şu şekilde tanımlanmıştır:

$$\sum E_\zeta = \alpha \beta \dot{m}_\zeta h_\zeta \quad (2.7)$$

Klima santralinden hava ile çıkan enerji, klima santralinden çıkan havanın entalpisi ile tanımlanır. (2.7) denkleminde verilen $h_{\dot{c}}$ ise klima santrali dışına çıkan havanın özgül entalpisi olup şu şekilde ifade edilir:

$$h_{\dot{c}} = C_p T \quad (2.8)$$

(2.3) denklemindeki $\frac{dE_{sis}}{dt}$, birim zamanda; sistemin iç, kinetik, potansiyel vb. enerjilerindeki değişmelerin toplamını ifade eder. Sistemde kinetik ve potansiyel enerji değişimleri ihmal edilmiştir. Dolayısıyla sistemde iç enerji dikkate alınmış olup toplam enerji değişimi ifadesi:

$$\frac{dE_{sis}}{dt} = \frac{dU}{dt} \quad (2.9)$$

şekline dönüşür. Buradaki iç enerjinin zamanla değişimini ifade eden denklem de bilindiği gibi:

$$\frac{dU}{dt} = MC_v \frac{dT}{dt} \quad (2.10)$$

şeklindedir. (2.3) denkleminin, denklem (2.4), (2.5), (2.6), (2.7), (2.8), (2.9) ve (2.10)'da yer alan karşılıkları ile düzenlenmesi sonucunda

$$\dot{Q}_g - \dot{Q}_{\dot{c}} + \alpha\beta\dot{m}C_p(T_{du} - T) = M.C_v \frac{dT}{dt} \quad (2.11)$$

denklemini elde edilir. (2.11) denkleminde sıcaklığın zamana göre değişimi

$$\frac{dT}{dt} = \frac{\dot{Q}_g - \dot{Q}_{\dot{c}} + \alpha\beta\dot{m}C_p(T_{du} - T)}{MC_v} \quad (2.12)$$

şeklinde elde edilir. Çalışmada (2.12) denklemi kullanılarak değişkenlerin zamana bağlı değişimi için sonlu fark denklemleri oluşturulmuştur. Buna göre;

$$\frac{T_{i\zeta}^{n+1} - T_{i\zeta}^n}{dt} = \frac{\dot{Q}_g^n + \beta^{n+1} \dot{m} C_p (T_\zeta - T_{i\zeta}^n)}{MC_v} \quad (2.13)$$

sonlu fark denklemi kullanılarak HVAC sisteminde iklimlendirilen ortamın iç ortam sıcaklık $T_{i\zeta}$ değişimi zaman bağılı olarak hesaplanmıştır.

(2.13) denkleminde yer alan \dot{Q}_g (W); iklimlendirilen ortama, dış ortamdan iletim ile gelen ısı gücünü göstermektedir ve aşağıdaki eşitlik yardımıyla değişken iç ortam sıcaklığına bağılı olarak hesaplanmaktadır.

$$\dot{Q}_g^n = \frac{(T_{du} - T_{i\zeta}^n)}{R} = \frac{(T_{du} - T_{i\zeta}^n)}{\frac{L}{kA}} \quad (2.14)$$

Klima santralinde havadan çekilen ısı gücü değişken fan debisine bağılı olarak şu denklem yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$\dot{Q}_\zeta^n = \beta^n \dot{m} C_p (T_\zeta - T_g^n) \quad (2.15)$$

(2.15) denkleminde yer alan klima santrali giriş sıcaklığı T_g ; aşağıdaki denklem yardımıyla hesaplanmıştır.

$$\beta \dot{m} C_p T_g^n = \beta(1-\alpha) \dot{m} C_p T_{i\zeta}^n + \beta\alpha \dot{m} C_p T_{du} \quad (2.16)$$

Bu denklemin sadeleştirilmesi ile de;

$$T_g^n = (1-\alpha)T_{i\zeta}^n + \alpha T_{du} \quad (2.17)$$

ana denklemi elde edilir.

2.3. HVAC Sisteminin Aç-Kapa ve Bulanık Mantık Kontrolü

Çalışmada göz önüne alınan iklimlendirme sisteminin iki farklı yöntem ile olan kontrolü için performans incelemesi yapılmıştır. Aç-kapa ve bulanık mantık ile yapılan klima santrali kontrolünde, ortam sıcaklığı kontrol parametresi olarak göz önüne alınmış ve sistemden dışarı atılan α hava oranı'nın 0.2, 0.4 ve 0.6 olduğu durumlar için elde edilen zamana bağlı sıcaklık, soğutucu gücü ve fan debisi düşme oranı β (FDDO) değerleri karşılaştırılmıştır.

Aç-Kapa kontrol için sistemin sınırları $\mp 0,4^{\circ}\text{C}$ olarak ayarlanmıştır. Bu durumda ortamın iç sıcaklığı $24,6^{\circ}\text{C}$ olana kadar sistem tam güçte açık kalmakta ve daha sonra kapanmaktadır. Sistem; denklem (2.14) ile gösterilen \dot{Q}_g^n ısı ile yeniden ısınarak $25,4^{\circ}\text{C}$ sıcaklığına ulaştığında klima santrali yeniden tam güçte çalışmaktadır.

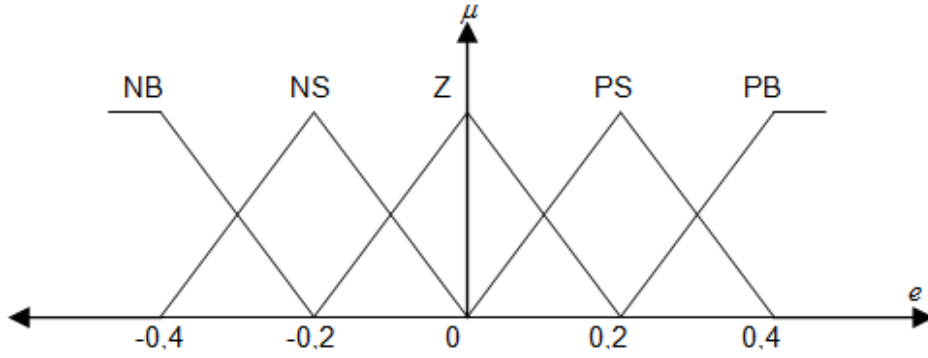
Bulanık mantık yönteminde ise, klasik mantıktaki; “bir durum ya doğrudur ya da yanlıştır” önermesi yerine, bir durumun doğruluğa ve yanlışlığa aitlik oranı değeri kullanılmaktadır. Bu kavram daha farklı şekilde, “bulanık mantıkta durumlar veya sonuçlar alabilecekleri değer aralığı içinde farklı sınıflara aitlikleri ile tanımlanmaktadır” olarak da tanımlanabilir. Bu şekilde gerçek hayatta karşılaşılan problemler için daha esnek modeller kurmak ve çözümler üretmek mümkün olmaktadır.

Bulanık mantığın kontrol çalışmalarında kullanılması için iki önemli adım bulunmaktadır. Bunlardan birincisi üyelik fonksiyonlarının tanımlanması diğeri ise kural tabanının oluşturulmasıdır. Üyelik fonksiyonu tanımlanması; hangi değerlerin hangi sınıfa hangi üyelik oranı ile ait olacağını belirlemek işlemidir. Kural tabanı ise, bir değerlerin her hangi bir sınıfa belli değerle olan üyeliğinin ne sonuç getireceğine karar verilmesidir. Eğer sistemde birden fazla bulanık giriş değeri mevcut ise, sonucun belirlenmesi için durulaştırma teknikleri kullanılmaktadır.

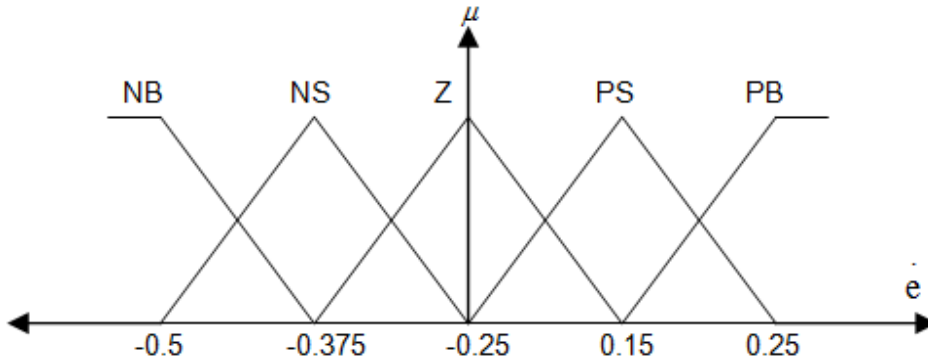
$$e^n = T_{iç}^{n-1} - T_{ref} \quad (2.18)$$

$$\dot{e}^n = e^n - e^{n-1} \quad (2.19)$$

Kurulan sistem modelinde bulanık mantık kontrolü ile iç ortam sıcaklığının istenen sıcaklığa ayarlanması için hata (e) ve hata değişimi (\dot{e}) değerleri kullanılmıştır. Hata değeri denklem (2.18)'de, hata değişimi değeri de denklem (2.19)'da gösterildiği şekilde hesaplanmıştır. Sistem benzetimi hata (e^n) ve hata değişimi (\dot{e}^n) değerleri birim zaman için hesap edilerek yapılmış ve bu şekilde bulanık mantık kontrolün girişleri oluşturulmuştur. Bu girişlerden Şekil 2.2. ve Şekil 2.3.'te gösterilen üyelik fonksiyonlarına göre çıkış değeri elde edilmiştir.



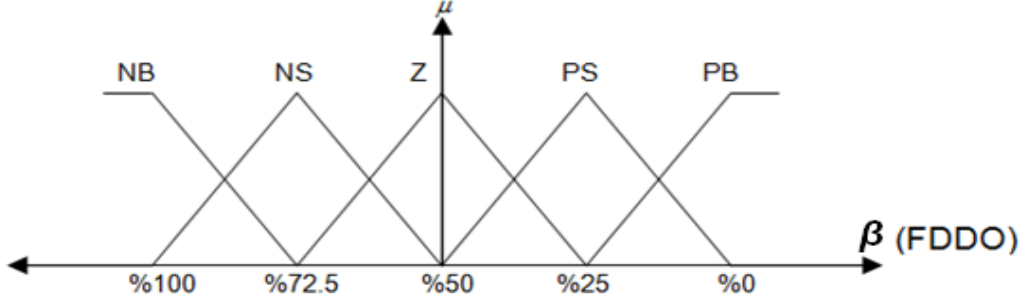
Şekil 2.2. Hata (e) değeri için üyelik fonksiyonu



Şekil 2.3. Hata değişimi (\dot{e}) değerleri için üyelik fonksiyonu

Sistemin iki girişi olduğu ve buna bağlı olarak birden fazla çıkış elde edildiği için bir durulaştırma tekniğine ihtiyaç duyulmuştur. Bu sebeple "Alanların Merkezi" durulaştırma yöntemi kullanılarak, fan debisi düşme oranını belirleyen tek bir sonuç (β) üretilmiştir [20].

Bu şekilde fan debisi değiştirilerek soğutucunun gücü değiştirilmiş ve iç ortam sıcaklığı kontrol edilmiş olmaktadır. Durulaştırma tekniği kullanılır iken Tablo 2.2.' de verilen 25 kurallı kural tabanı ve Şekil 2.4.' de gösterilen üyelik fonksiyonu kullanılmıştır.



Şekil 2.4. Fan debisi değişim oranı için üyelik fonksiyonu

Bulanık sınıflar oluşturulurken Soygüder ve Alli [11] tarafından yapılmış olan çalışma incelenerek, bu çalışmada kurulan sistem modeline uygun yöntem izlenmiştir. Yukarıda geçen NB, negatif büyük, NS negatif küçük, Z sıfır, PS pozitif küçük, PB pozitif büyük anlamına gelmektedir. Şekillerde dikey eksen ifade eden μ ise üyelik derecesini göstermektedir.

Kural tabanı; uzmanlar tarafından belirlenmiş, bulanık mantık denetleyicinin davranışlarını tespit eden denetim kurallarını içerir. Karar verme işlemlerinde kullanılan birçok paralel kuraldan ve denetim değişkenlerinden oluşmuştur. Bu kurallar, sistemin giriş ve çıkışları arasındaki mantıksal ilişkileri açıklar. Bulanık mantık denetleyicinin çıkışı, durum ve davranış bildiren kuralların değerlendirilmesi ile elde edilir [21].

Tablo 2.2. Çıkış (β) değeri için kural tabanı

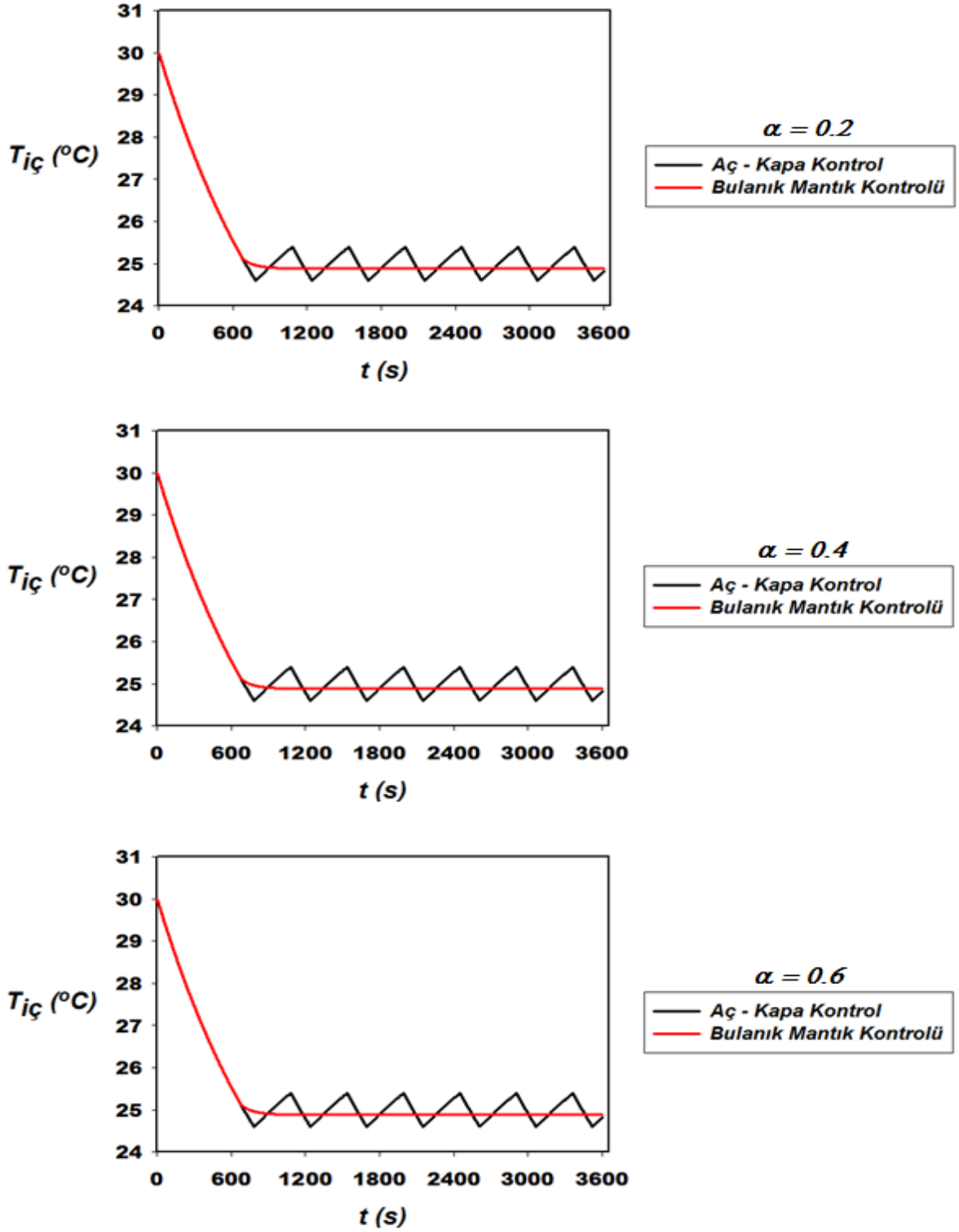
β (FDDO)	NB	NS	Z	PS	PB
NB	NB	NB	NS	NS	Z
NS	NB	NS	NS	Z	Z
Z	NS	NS	Z	Z	PS
PS	NS	Z	PS	PS	PB
PB	Z	PS	PS	PB	PB

3. BULGULAR

İncelenen model için kullanılan tüm bağıntılar Microsoft Excel - Visual Basic programında kodlanmıştır. Oluşturulan program 3600 saniyelik bir zaman periyodu için çalıştırılarak, sistem performansına ilişkin bulgular elde edilmiştir.

3.1. Ortam Sıcaklığının Farklı Hava Tahliye Oranına Göre Olan Değişimi

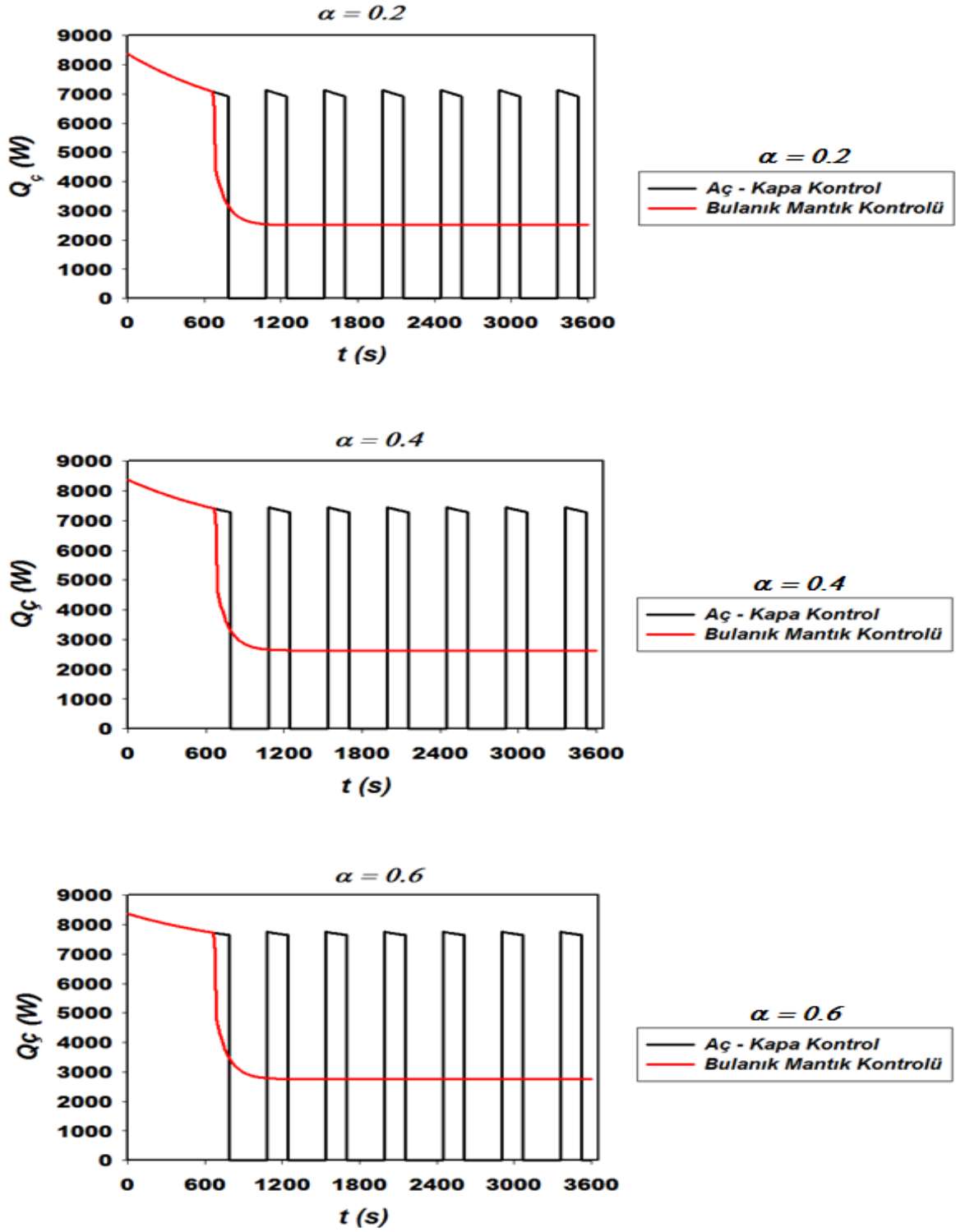
Şekil 3.1.'de de görüldüğü gibi üç farklı hava tahliye oranı için olan ortam sıcaklık-zaman değişimleri aynıdır. Zira dış ortama olan hava tahliyesi arttıkça dış ortamdan alınan taze hava miktarı da aynı olacak ve klima santralinde havadan çekilmekte olan ısı gücü de artacaktır. Diğer bir deyişle klima santraline gelen hava sıcaklığındaki artışa bağlı olarak havadan çekilen ısı gücü de artacağından ortama gönderilen soğutulmuş hava sıcaklığında herhangi bir değişiklik ortaya çıkmayacaktır. Dolayısıyla ortamdaki sıcaklık-zaman değişimlerinin dışarıya atılan hava oranından bağımsız olması beklenen bir durumdur. Ortam sıcaklığının zamanla olan değişimlerinden görüldüğü gibi, aç-kapa ve bulanık mantık kontrolleri özellikle konfor ve kontrol mekanizmasında harcanacak enerji üzerinde farklı şekilde etkili olmaktadır. Zira aç-kapa kontrol edilen klima santrali ile beslenen ortam sıcaklığında belirli aralıkta dalgalanmalar ortaya çıkarken bulanık mantık ile yapılan kontrolde sabit bir ortam sıcaklığı ve dolayısıyla daha konforlu bir ortam söz konusudur.



Şekil 3.1. Ortam sıcaklığının farklı hava tahliye oranına göre olan değişimi

3.2. Klima Santralinde Soğutma İçin Harcanan Enerjinin Farklı Hava Tahliye Oranına Göre Olan Değişimi

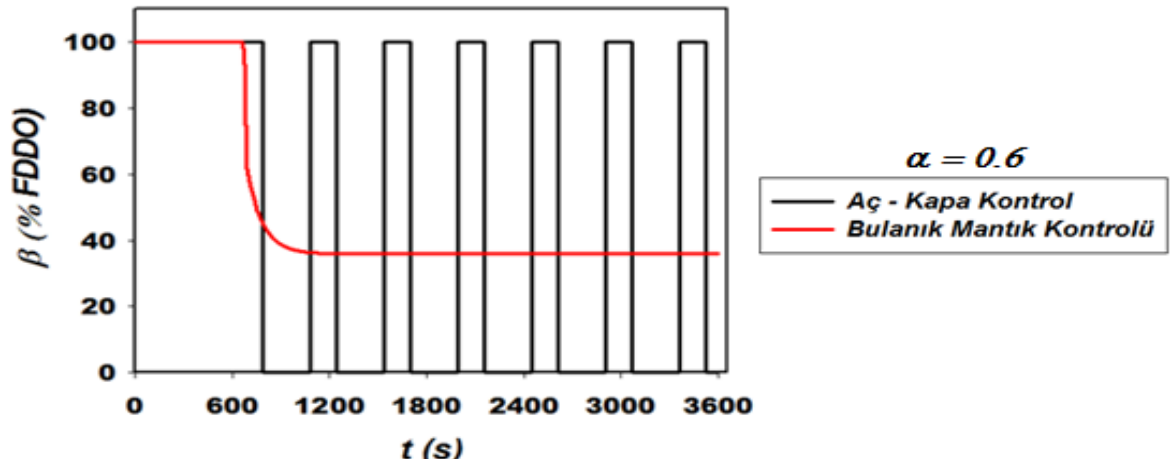
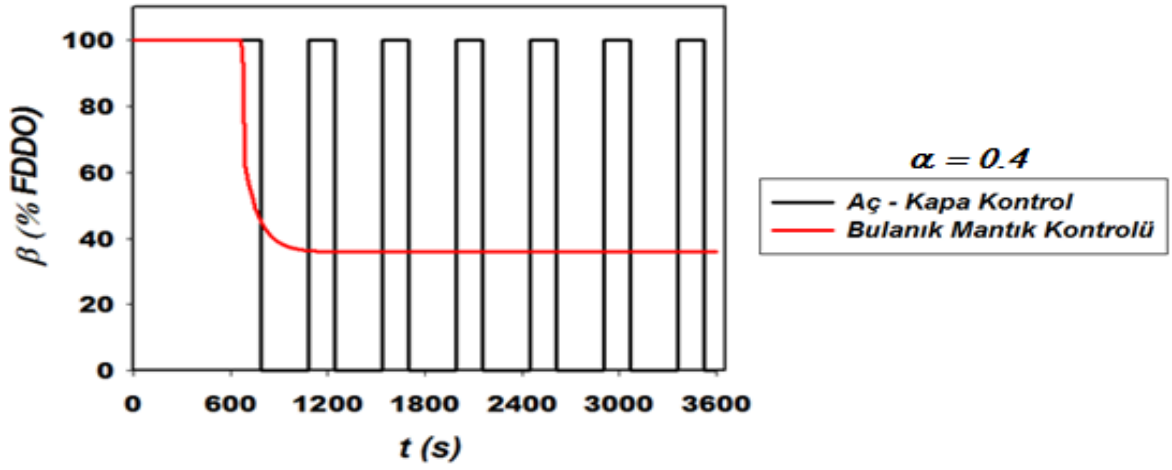
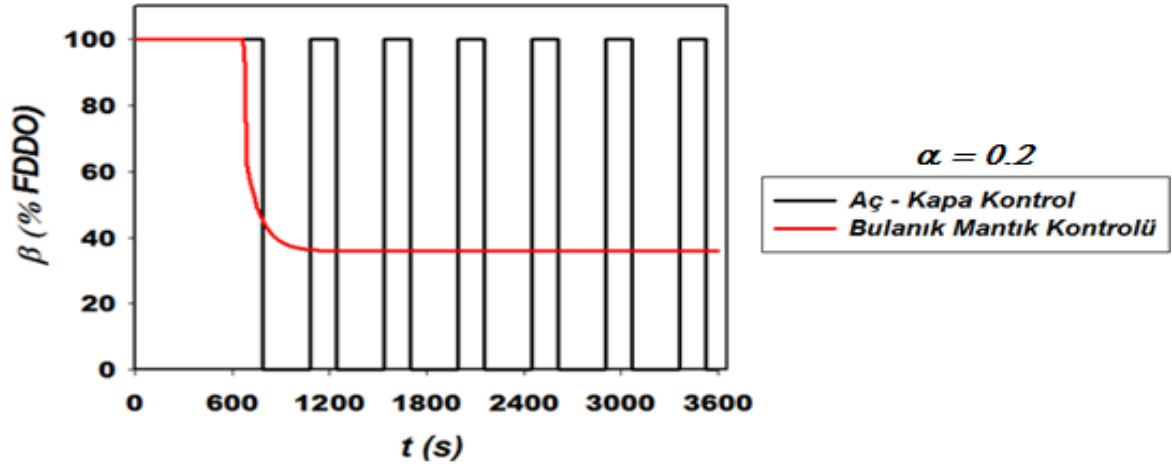
Aç-kapa ve bulanık mantık ile yapılan fan debi kontrollerinin havadan çekilen ısı gücü açısından karşılaştırması Şekil 3.2.'de görülen grafikler üzerinde yapılmıştır. Burada da görüldüğü gibi dışarıya olan hava tahliye oranının artan değerleri ile birlikte klima santralinde havadan çekilen ısı gücü değerinde artış ortaya çıkmaktadır. Örneğin $\alpha=0.2$ hava tahliye oranı için aç-kapa kontrol uygulamasında yaklaşık 7000 W civarında ve bulanık mantık kontrol uygulamasında yaklaşık 2500 W civarında olan soğutma gücü, $\alpha=0.6$ değerinde aç-kapa kontrol uygulamasında 7800 W değerine ve bulanık mantık kontrol uygulamasında da 2800 W değerine çıkmaktadır. Dışarıya atılan düşük sıcaklıktaki hava miktarı kadar fakat daha yüksek sıcaklıkta olarak dışarıdan alınan havanın soğutma yükündeki artışa bağlı olarak ortaya çıkan bu bulgu beklentilere de uygundur. Öte yandan Şekil 3.2.'deki değişimlerden de görülebileceği gibi her bir hava tahliye oranı için, bulanık mantık kontrol uygulamasında hava için harcanan ortalama soğutma güçleri aç-kapa kontrol uygulamasına göre daha düşüktür. Bu durum eğrilerin altında kalan alanların kıyaslanması ile de görülebilir. Sistemde harcanan enerji açısından bulanık mantık uygulamasını aç-kapa kontrole göre daha avantajlı kılan bu sonucun nedeni; aç-kapa kontrol ile kesintili olarak çalışan sistemin kontrol sıcaklığının altındaki değerler için de enerji kullanıyor olmasından kaynaklanmaktadır. Ayrıca aç-kapa kontrol uygulamasında sistemin debisini aç-kapa olarak kontrol eden mekanizmanın harcayacağı enerjinin de göz önüne alınması ile enerji harcamasındaki artış daha da belirgin hale gelir. Oysaki bulanık mantık kontrolü ile sistem sürekli olarak sabit debide ve kararlı olarak belirli bir set değerinde ısı gücü harcayacak şekilde HVAC sistemini çalıştırmaktadır.



Şekil 18.2. Klima santralinde soğutma için harcanan enerjinin farklı hava tahliye oranına göre olan değişimi

3.3. Fan Debisi Düşme Oranı'nın Farklı Hava Tahliye Oranına Göre Olan Değişimi

Çalışmada ortam sıcaklık kontrolü hava debisi ile yapıldığından her iki kontrol için olan fan debisi düşme oranlarının kıyaslaması da yapılmıştır. Şekil 3.3.'te de görüldüğü gibi; aç-kapa kontrolün kesintili çalışma davranışına karşın bulanık mantık kontrol uygulamasında klima sistemindeki fanın yaklaşık %36 kapasitede sürekli olarak çalışması sıcaklık kontrolü için yeterli olmaktadır. Bu bulgu aynı zamanda, HVAC sistemlerinin bulanık mantık ile kontrol edilmesi durumunda aç-kapa kontrole göre daha düşük debi ile sistemin beslenebileceğini ve bunun da enerji tasarrufu anlamına geleceğini göstermektedir.



Şekil 3.3. Fan debisi düşme oranının farklı hava tahliye oranına göre olan değişimi

4. TARTIŞMA

Bu çalışmada; ortam sıcaklığının farklı hava tahliye oranına göre olan değişimi, klima santralinde soğutma için harcanan enerjinin farklı hava tahliye oranına göre olan değişimi ve fan debisi düşme oranının farklı hava tahliye oranına göre olan değişimi aç-kapa ve bulanık mantık kontrol için kıyaslamalı olarak incelenmiştir.

4.1. Ortam Sıcaklığının Farklı Hava Tahliye Oranına Göre Olan Değişiminin İrdelenmesi

Ortam sıcaklığının farklı hava tahliye oranına göre olan değişimi, aç-kapa ve bulanık mantık kontrole göre kıyaslandığında; aç-kapa kontrol edilen klima santrali ile beslenen ortam sıcaklığında belirli aralıkta dalgalanmalar ortaya çıkmaktadır. Bulanık mantık ile yapılan kontrolde ise sabit bir ortam sıcaklığı ve dolayısıyla daha konforlu bir ortam söz konusudur. Ayrıca iklimlendirilen mahallin bulanık mantık ile yapılan kontrolünde istenilen referans sıcaklık değerine aç-kapa kontrole göre daha hızlı bir şekilde ulaştığı görülmüştür.

Bu konuyla ilgili yapılan çalışmalarda bulanık mantık ile kontrol edilen sistemlerin; aç-kapa kontrolü kullanılan [16], PID kontrolü kullanılan [11] ve denetimsiz olarak çalıştırılan sistemlere [10] göre iç hava kalitesi ve ısı konfor şartları bakımından daha başarılı bir kontrol sağladığı görülmüştür. Bu bağlamda çalışmamızda elde edilen bulguların, yapılan çalışmalarla örtüştüğü söylenebilir.

Farklı hava tahliye oranlarının yani geri dönüş havası kullanımının belirli değerleri aşmaması konfor şartları açısından çok önemlidir. Bu konuyla ilgili yapılan çalışmada [12] bu durum desteklenmiştir.

Yapılan bir çalışmada [14], yüksek düzeydeki besleme hava debisinin, ofis çalışanlarının performansını arttırma ve kısa süreli iş günü kaybını azaltma potansiyelinin olduğu belirtilmiştir. Besleme hava debisini arttırmak için sisteme soğutma işlevi olan hava ilave edilmesi ve %100 dış hava verilmesi gerektiği belirtilmiştir. Bu durum konfor şartları açısından uygun gözükülebilir ancak enerji tasarrufu açısından arzu edilmeyen bir durumdur.

4.2. Klima Santralinde Soğutma İçin Harcanan Enerjinin Farklı Hava Tahliye Oranına Göre Olan Değişiminin İrdelenmesi

Klima santralinde soğutma için harcanan enerjinin farklı hava tahliye oranına göre olan değişimi; aç-kapa ve bulanık mantık kontrole göre kıyaslandığında her bir hava tahliye oranı için, bulanık mantık kontrol uygulamasında hava için harcanan ortalama soğutma güçleri aç-kapa kontrol uygulamasına göre daha düşüktür. Bu durum eğrilerin altında kalan alanların kıyaslanması ile de görülebilir. Sistemde harcanan enerji açısından bulanık mantık uygulamasını aç-kapa kontrole göre daha avantajlı kılan bu sonucun nedeni; aç-kapa kontrol ile kesintili olarak çalışan sistemin kontrol sıcaklığının altındaki değerler için de enerji kullanıyor olmasından kaynaklanmaktadır. Ayrıca aç-kapa kontrol uygulamasında sistemin debisini kontrol eden mekanizmanın harcayacağı enerjinin de göz önüne alınması ile enerji harcamasındaki artış daha da belirgin hale gelir. Oysaki bulanık mantık kontrolü ile sistem sürekli olarak sabit debide ve kararlı olarak belirli bir set değerinde ısı gücü harcayacak şekilde HVAC sistemini çalıştırmaktadır.

Bu konuyla ilgili yapılan çalışmalarda bulanık mantık ile kontrol edilen sistemlerin; aç-kapa kontrolü kullanılan [16] ve denetimsiz olarak çalıştırılan sistemlere göre [10] enerji tasarrufu açısından belirgin üstünlüğünün olduğu görülmüştür.

Yapılan bir çalışmada [12], geri dönüş havası kullanımının önemli bir enerji tasarrufuna sebep olduğu belirtmişlerdir. Çalışmamızda da bu durumu destekleyici sonuçlar bulunmuştur.

4.3. Fan Debisi Düşme Oranı'nın Farklı Hava Tahliye Oranına Göre Olan Değişiminin İrdelenmesi

Fan debisi düşme oranının farklı hava tahliye oranına göre olan değişimi; aç-kapa ve bulanık mantık kontrole göre kıyaslandığında, aç-kapa kontrolün kesintili çalışma davranışına karşın bulanık mantık kontrol uygulamasında klima sistemindeki fanın yaklaşık %36 kapasitede sürekli olarak çalışması sıcaklık kontrolü için yeterli olmaktadır. Bu bulgu aynı zamanda, HVAC sistemlerinin bulanık mantık ile kontrol edilmesi durumunda aç-kapa kontrole göre daha düşük debi ile sistemin beslenebileceğini ve bunun da enerji tasarrufu anlamına geleceğini göstermektedir.

Bu konuyla ilgili yapılan çalışmalarda bulanık mantık ile kontrol edilen sistemlerin; PID kontrolü kullanılan sistemlere göre [11] sistemin hem arzu edilen sıcaklık set değerleri hem de damperlerin açıklık oranları hatasız bir performans sergileyerek sistemi daha hızlı bir şekilde rejime getirdiği görülmüştür. Çalışmadaki damper açıklık oranları çalışmamızdaki

fan debisi düşme oranını ifade etmektedir. Yapılan çalışmadaki [11] sonuçlar çalışmamızla örtüşmektedir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada; kapalı bir ortam için değişken hava debili bir HVAC sistemini üzerinde aç-kapa ve bulanık mantık kontrolü kıyaslamalı olarak incelenmiştir. İncelenen model için kullanılan tüm bağıntılar Microsoft Excel - Visual Basic programında kodlanmıştır. Aç-kapa ve bulanık mantık ile yapılan klima santrali kontrolünde, ortam sıcaklığı kontrol parametresi olarak göz önüne alınmış ve sistemden dışarı atılan α hava oranının 0.2, 0.4 ve 0.6 olduğu durumlar için elde edilen zamana bağlı sıcaklık, soğutucu gücü ve fan debisi düşme oranı β değerleri karşılaştırılmıştır. Elde edilen bulgular göstermektedir ki;

Hem ısı konfor koşullarının sağlanması açısından hem de sistemde kullanılan toplam enerji açısından bulanık mantık kontrolünün aç-kapa kontrolüne göre belirgin üstünlükleri vardır.

Artan hava tahliye oranına göre klima santralinde soğutma için harcanan enerjinin hem aç-kapa hemde bulanık mantık kontrolünde arttığı görülmüştür.

Değişik hava tahliye oranına göre klima santralinde soğutma için harcanan enerjinin hem aç-kapa hem de bulanık mantık kontrolünde, ilk 663 saniyelik zaman diliminde aynı değerleri aldığı görülmüştür.

Bulanık mantık kontrolünü sağlayan yazılımların HVAC sistemlerinde uygulanabilirliği konusunda yeni çalışmaların yapılmasına gereksinim vardır. Bu çalışmaların bulanık mantık kontrolünde bilgi sahibi uzman kişiler tarafından yapılması gereksinimi yerine getirmek için çok faydalı olacaktır.

6. KAYNAKLAR

1. Yakut, A., Kuru, M. ve Şencan, A., HVAC Sistemlerinde Kontrol Yöntemleri ve Enerji Tasarrufu, V. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, Ekim 2001, İzmir, Bildiriler Kitabı: 567-581.
2. Endar, B., HVAC Sistemlerinin Yapay Sinir Ağı ile Denetlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Y.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2010.
3. Şengirgin, M., Isıtma, Havalandırma ve Klima Sistemlerinde Denetimin Dünü ve Bugünü, Türk Tesisat Mühendisleri Dergisi, 23 (2003).
4. Altaş, İ.H., Bulanık Mantık: Bulanık Denetim, Enerji, Elektrik, Elektronik-3e, 64 (1999) 76-81.
5. Akyazı, Ö. Usta, M. A., Akpınar, A. S., Kapalı Ortam Sıcaklık ve Nem Denetiminin Farklı Bulanık Üyelik Fonksiyonları Kullanılarak Gerçekleştirilmesi 6. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu, Mayıs 2011, Elazığ, 158-162.
6. Lawrence, D., Handbook of Genetic Algorithms, 1st Edition, 385 pages, Van Nostrand Reinhold, Michigan, January 1991.
7. Holland, J.H., Adaptation in Natural and Artificial Systems: An Introductory Analysis with Applications to Biology, Control, and Artificial Intelligence, 183 pages, University Of Michigan Press, 1975.
8. Emel, G.G. ve Taşkın, Ç., Genetik Algoritmalar ve Uygulama Alanları, Uludağ Üniversitesi İ.İ.B.F. Dergisi, 21, 1 (2002) 129-152.
9. Goldberg, D.E., Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning, 1. edition, 432, Addison-Wesley Professional, USA., 1989.
10. Chu, C.M., Jong, T.L. ve Huang, Y.W., Thermal Comfort Control on Multi-Room Fan Coil Unit, System Using LEE -Based Fuzzy Logic, Energy Conversion and Management, 46 (2005) 1579–1593.
11. Soygüder, S. ve Alli, H., Bir HVAC Sisteminin FUZZY-PD Tipi Denetimi ve Sayısal Benzetimi, Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 20,2 (2008) 355-367.
12. Şengirgin, M. ve Pulat, E., Tek Bölge Bir Isıtma-Havalandırma Sisteminin Modellenmesi ve Simulasyonu, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 11,3 (2005) 407-415.
13. Lute, P. ve Paassen, D., Optimal Indoor Temperature Control Using a Predictor, IEEE Control Systems, August, (1995) 4-10.

14. Engdahl, F. ve Svensson, A., Pressure Controlled Variable Air Volume System, Energy and Buildings, 35, (2003) 1161 – 1172.
15. Yılmaz, S., Güngör, A., Ertuğrul, Ş.F. ve Eskin, N., Bir Ofis binasının Değişken Hava Debili İklimlendirme Sisteminin Modellenmesi ve Kontrolü, VII. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, Kasım 2005, İzmir, Bildiriler Kitabı, 145-160.
16. Bruant, M., Gerard, G. ve Pierre, M., Design and Tuning of a Fuzzy Controller For Indoor Air Quality and thermal comfort management, International Journal of Solar Energy, 21,2-3 (2007) 81-109.
17. Dong, D., Song, L. ve Wei, G., Optimization of HVAC Control to Improve Comfort and Energy Performance in a School, Energy Engineering, 105,3 (2009) 6-22.
18. Asiedu, Y., Besant, R. W. ve Gu, P., HVAC Duct System Design Using Genetic Algorithms, HVAC&R Research, 6,2 (2011) 149-173.
19. Nassif, N., Kajl, S. ve Sabourin, R., Optimization of HVAC Control System Strategy Using Two-Objective Genetic Algorithm, HVAC &R Research, 11,3 (2011) 459-486.
20. Ross, T.J., Fuzzy Logic with Engineering Application, Second Edition, John Wiley & Sons Ltd, England, 2004.
21. Baba, A.F., İTÜ Triga Mark-II Reaktörünün Bulanık Kontrolü, Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü, İstanbul, 1995.

ÖZGEÇMİŞ

Fatin SÖNMEZ, 1981 yılında Trabzon doğdu. 1999 yılında Trabzon Lisesi'nden mezun oldu. 2005 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü'nde Makina Mühendisi ünvanı ile mezun oldu. 2009 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans programına başladı. 2010 yılından itibaren Artvin Çoruh Üniversitesi, Artvin Meslek Yüksekokulunda, Makine programında öğretim görevlisi olarak görev yapmaktadır. SÖNMEZ evli ve bir çocuk babası olup, orta derecede İngilizce bilmektedir.