

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KESİKLİ ENERJİ KULLANAN YAPILARDA BULANIK
MANTIK TABANLI ISITMA VE SOĞUTMA KONTROLÜ**

Serdar EZBER

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Mekatronik Mühendisliği Programı

Danışman

Prof. Dr. Erhan Akdoğan

Eş Danışman

Doç. Dr. Zafer Gemici

Temmuz, 2023

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KESİKLİ ENERJİ KULLANAN YAPILARDA BULANIK
MANTIK TABANLI ISITMA VE SOĞUTMA KONTROLÜ**

Serdar EZBER tarafından hazırlanan tez çalışması 12.07.2023 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Mekatronik Mühendisliği Programı **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Erhan AKDOĞAN
Yıldız Teknik Üniversitesi
Danışman

Doç. Dr. Zafer GEMİCİ
Yıldız Teknik Üniversitesi
Eş-Danışman

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Erhan AKDOĞAN, Danışman
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Vasfi Emre Ömürlü, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Emin AKTAN, Üye
Bartın Üniversitesi

Prof. Dr. Erhan Akdoğan danışmanlığında tarafımca hazırlanan “Kesikli Enerji Kullanan Yapılarda Bulanık Mantık Tabanlı Isıtma ve Soğutma Kontrolü” başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Serdar Ezber



*Eşime
ve
kızıma*

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim süresince her türlü desteğini benden esirgemeyen değerli tez danışmanım Prof. Dr. Erhan Akdoğan'a, tez çalışmaları süresince gereken her türlü desteği veren Doç. Dr. Zafer Gemici 'ye ve çalışmalarım esnasında her türlü maddi, manevi desteğini hissettiğim moral ve motivasyonumun yüksek kalmasında başrolde yer alan kıymetli eşime ve varlığıyla neşe kaynağım olan evladına teşekkür ederim.

Serdar EZBER



İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	iv
SİMGE LİSTESİ	vi
KISALTMA LİSTESİ	vii
ŞEKİL LİSTESİ	viii
TABLO LİSTESİ	ix
ÖZET	x
ABSTRACT	xii
1 GİRİŞ	1
1.1 Bulanık Mantık Tabanlı Endüstriyel Otomasyon Sistemleri	1
1.2 Literatür Taraması	2
2 MATERYAL VE YÖNTEM	6
2.1 Fiziksel Sistem	6
2.2 Radyant Isıtma ve Soğutma Sistemi	7
2.3 Otomasyon ve Ölçüm Sistemi	10
2.4 Bulanık Mantık	14
3 PLC TABANLI BULANIK MANTIK KONTROL SİSTEMİ	23
3.1 Giriş	23
3.2 Bulanık Mantık Kontrol Yapısı	24
3.3 PLC Programlama	33
3.4 Uygulama ve Değerlendirme	38
4 SONUÇLAR VE ÖNERİLER	44
4.1 Sonuçlar	44
4.2 Öneriler	46
KAYNAKÇA	47
A PLC KODLARI VE PLC ÖZELLİKLERİ	50
TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR	54

SİMGELİSTESİ

x	Elemanın Değeri
α	Kesim Katsayısı
$^{\circ}\text{C}$	Santigrat Derece
σ	Standart sapma
$\mu(x)$	Üyelik Fonksiyonu



KISALTMA LİSTESİ

WPA	Ağırlıklı Plato Ortalama Metodu(Weighted Plateau Average Method)
CI	Cami İçi Sıcaklık Değeri
ÇŞ	Çalışma Süresi
Dk	Dakika
DO	Dış Ortam Sıcaklık Değeri
DS	Dönüş Suyu Sıcaklık Değeri
CO ₂	Karbondioksit
PLC	Programlanabilir Lojik Kontrolör
PID	Proportional Integral Derivative (oransal-integral-türevsel)
°C	Santigrat derece

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Isıtma ve soğutma sistemi kontrol odası.....	6
Şekil 2.2 Radyant ısıtma ve soğutma sistemi diyagramı	8
Şekil 2.3 Kontrol sistemi blok diyagramı	10
Şekil 2.4 GMT GLC 496T PLC modeli [29].....	12
Şekil 2.5 PLC sıcaklık giriş modülü [29].....	13
Şekil 2.6 PLC dijital giriş çıkış modülü [29]	14
Şekil 2.7 Bulanık mantık genel yapısı	15
Şekil 2.8 Üçgen üyelik fonksiyonu	16
Şekil 2.9 Yamuk üyelik fonksiyonu.....	17
Şekil 2.10 Gauss üyelik fonksiyonu.....	19
Şekil 2.11 Durulaştırma yöntemleri	22
Şekil 3.1 Sistemin kavramsal yapısı	23
Şekil 3.2 Giriş çıkış parametreleri blok diyagramı	24
Şekil 3.3 Cami içi sıcaklık değeri üyelik fonksiyonu (CI).....	25
Şekil 3.4 Dış ortam sıcaklık değeri üyelik fonksiyonu (DO).....	26
Şekil 3.5 Dönüş suyu sıcaklık değeri üyelik fonksiyonu (DS)	27
Şekil 3.6 Çalışma süresi üyelik fonksiyonu (ÇS)	28
Şekil 3.7 Ağırlıklı Plato Ortalama Metodu (WPA)	33
Şekil 3.8 22.Şubat.2023 sabah namazı grafiği	39
Şekil 3.9 22.Şubat.2023 öğle namazı grafiği	40
Şekil 3.10 22.Şubat.2023 ikindi namazı grafiği.....	40
Şekil 3.11 22.Şubat.2023 akşam namazı grafiği	41
Şekil 3.12 22.Şubat.2023 yatsı namazı grafiği	41
Şekil 3.13 14.Mart.2023 akşam namazı grafiği	42

TABLO LİSTESİ

Tablo 3.1 Cami içi sıcaklık değeri üyelik fonksiyonu (CI)	25
Tablo 3.2 Dış ortam sıcaklık değeri üyelik fonksiyonu (DO)	26
Tablo 3.3 Dönüş suyu sıcaklık değeri üyelik fonksiyonu (DS).....	27
Tablo 3.4 Çalışma süresi üyelik fonksiyonu (ÇS).....	28
Tablo 3.5 Isıtma modu kural tablosu	29
Tablo 3.6 Soğutma modu kural tablosu.....	32
Tablo 3.7 Bulanık mantık tabanlı kontrol çalışma süreleri	37



Kesikli Enerji Kullanan Yapılarda Bulanık Mantık Tabanlı Isıtma ve Soğutma Kontrolü

Serdar EZBER

Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Mekatronik Mühendisliği Programı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Prof. Dr. Erhan AKDOĞAN

Eş-Danışman: Doç. Dr. Zafer GEMİCİ

Binaların ısıtma ve soğutma sistemlerinde enerji tasarrufu sağlayan teknolojiler son yıllarda büyük ilgi görmektedir. Sürekli enerji kullanımına ihtiyaç duymayan kesikli enerji tüketen yapıların ısıtma ve soğutma sistemlerinde enerji tasarrufu sağlamak verimlilik açısından önemli olup, mekanik sistemlerin dur-kalk prensibi ile genel verimliliği azaltmakta ve ortamın termal konforu sağlanamamaktadır. Bu tez çalışmasında, enerji tasarrufu ve değişken ortam koşullarına uyum sağlamak için kesikli çalışan radyant ısıtma ve soğutma sisteminin bulanık mantık kontrolü amaçlanmıştır. Bulanık mantık kontrol, matematiksel modellerin türetilmesinin zor olduğu karmaşık sistemlerde belirsiz veya kesin olmayan bilgileri değerlendirerek etkili bir çözüm sunar. Geliştirilen kontrol stratejisinde, iç ortam hava sıcaklığı, dış ortam sıcaklığı, geri dönüş suyu sıcaklığı ve sistem çalışma süresinin ayarlanması parametreleri yer almaktadır. Bulanık mantık kuralları, uzman bilgisinden ve sistemin performans gözlemlerinden yararlanılarak oluşturulmuştur. Çalışmalar, toprak kaynaklı ısı pompaları ve termal enerji depolama ünitesine sahip radyant zemin ısıtma ve soğutma sistemi olan bir camide gerçekleştirilmiştir. Yapılan

alışmalar sonucunda bulanık mantık kontrolü sayesinde %10 ile %25 arasında enerji tasarrufunun sağlandığı gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: bulanık mantık, enerji verimliliği, kesikli enerji kullanımı, radyant ısıtma ve soğutma sistemleri, çalışma stratejileri



Fuzzy Logic Based Heating and Cooling Control in Buildings Using Intermittent Energy

Serdar EZBER

Department of Mechatronics Engineering

Master of Science Thesis

Supervisor: Prof. Dr. Erhan AKDOĞAN

Co-supervisor: Assoc. Prof. Dr. Zafer GEMİCİ

Energy-saving technologies for heating and cooling systems in buildings have received significant attention. Energy saving has become crucial in intermittently used radiant heating and cooling systems. This is because the stop-start operation of the mechanical systems causes the overall efficiency to decrease even more, and thermal comfort of the environment cannot be provided. This thesis investigates the fuzzy-logic control structure of an intermittent radiant heating and cooling system to save energy and adapt to variable ambient conditions. Fuzzy logic control can handle imprecise or uncertain information, making it an effective solution for complex systems in which mathematical models are difficult to derive. The control strategies included the actual ambient air temperature, outdoor temperature, return water temperature, and working-time adjustment of the system. Fuzzy logic rules were created using expert knowledge and system performance observations. Studies were conducted on a radiant underfloor heating and cooling system with ground source heat pumps and a thermal energy storage unit of a mosque. As a result of these studies, it was observed that energy saving was achieved with fuzzy logic control.

Keywords: fuzzy logic, energy efficiency, intermittent operation, operation strategy, radiant heating and cooling system



1.1 Bulanık Mantık Tabanlı Endüstriyel Otomasyon Sistemleri

Bulanık mantık teorisinin temelleri ilk defa Prof. L.A. Zadeh [1] tarafından 1965 yılında yayınlanan bir bilimsel makalede ortaya konmuştur. Bulanık mantık, genellikle belirsizlik içeren ve değişken ortam koşullarının olduğu sistemlerin problemlerini çözmek için kullanılan yapay zekâ tekniklerinden biridir. Bulanık mantık, insanların doğal dil kullanarak belirsizlikleri ifade etmelerine benzer şekilde belirsizlikleri ele alarak ve insan karar verme mekanizmasını taklit ederek belirsiz ve yaklaşık durumlarda bile tutarlı sonuçlar üretebilmektedir. Matematiksel modelin elde edilmesinin zor olduğu sistemlerin kontrolü için bulanık mantık yöntemi oldukça kullanışlıdır. Bulanık mantık, birçok mühendislik probleminin çözümünde kullanılmakta olup, özellikle kontrol sistemlerinde üretmiş olduğu kararlı ve güvenli sonuçlar nedeni ile kullanımı oldukça yaygınlaşmıştır.

Endüstriyel otomasyon sistemleri, genellikle süreçleri otomatik hale getirmek ve işletme maliyetlerini azaltmak için kullanılmaktadır. Otomatik hale getirilmek istenilen süreçlerde her zaman kesin bilgiler ve veriler bulunmaz. Bu tarz sistemler için tasarlanacak otomasyon sistemleri aynı zamanda belirsizlikleri de dikkate alarak etkili bir şekilde çalışabilmeleri gerekmektedir. Bu nedenle bulanık mantık tabanlı kontrol sistemleri endüstriyel otomasyon sistemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Sıklıkla kullanılan uygulama alanları arasında robotik, otomatik kontrol, otomotiv sistemleri, sürücü sistemleri, üretim ve işlem kontrolü, tüketici elektroniği, enerji yönetimi ve diğer birçok endüstriyel sistem yer almaktadır. Bu sistemler, sonuç odaklı ve kabul edilebilir doğrulukla çalışırken aynı zamanda enerji tüketimini azaltarak verimliliği artırabilirler. Ayrıca yüksek işlem kapasitesine sahip uygun maliyetli kontrolörler ile gerçekleştirilen bulanık mantık tabanlı endüstriyel otomasyon sistemleri, endüstriyel otomasyonunun geleceğine yön verecektir.

1.2 Literatür Taraması

Kesikli enerji tüketen karakteristik yapılardan biri olan camiler genellikle gün içerisinde beş farklı vakitte yaklaşık bir saat süreyle kullanılan mekânlardır. Bunun haricinde farklı gereksinimler için de değişken vakitlerde kullanılırlar. Camilerin tasarımları bölgeye, kültüre ve iklime göre değişiklik göstermektedir. Genellikle Türkiye'deki camilerin iç yüzeyleri mermer veya alçı gibi malzemeler ile kaplanmış ve zeminleri halı ile döşenmiştir. Toplam küresel enerji tüketiminin %30'undan binalar sorumludur ve binalardaki bu enerji talebinin artmasının pek çok farklı nedenleri bulunmaktadır [2]. Bu nedenle, enerji tasarrufu sağlamak amacıyla birçok farklı teknolojiler kullanılmaktadır.

Attia vd. binalardaki hava iklimlendirme sistemlerinin kontrolünü bulanık mantık ve geleneksel PID kontrol ile simüle etmişler ve bulanık mantık kontrolünün daha verimli olduğunu göstermiştir [3]. Budaiwi vd. bir cami modeli geliştirerek bu model üzerinde iklimlendirme sisteminin operasyonel stratejilerinin etkisini araştırmak için bir simülasyon ortamı geliştirmiştir. Bu çalışmada caminin farklı bölgelere ayrılarak belirli vakitlerde iklimlendirme sistemini farklı stratejiler ile çalışması simüle edilerek yıllık enerji tüketiminde önemli azalma olduğu görülmüştür [4]. Krzaczek vd. Termal Bariyer (TB) olarak adlandırılan duvarın içine yerleştirilmiş borularda ısıtma ve soğutma sistemi geliştirmişlerdir. Sistemin kontrolü bulanık mantık ile yapılmıştır. Geliştirilen bulanık mantık kontrol sistemi ile herhangi bir bina modeline ve topolojiye ihtiyaç olmadan uygulanabilmektedir [5]. Ulpiani vd. binaların ısıtma sistemlerinde enerji verimliliği açısından farklı kontrol yöntemlerinin karşılaştırmasını yapmıştır. Yapılan uygulamada elektrikli radyatörler ve farklı noktalardan sıcaklık ölçümü yapan sensörler kullanılmıştır. Bulanık mantık kontrolünde dış ortam sıcaklığı, iç ortam sıcaklığı ve iç ortam sıcaklığı türevi parametreleri kullanılmıştır. Bulanık mantık kontrol yönteminin hem PID hem açma-kapama kontrolörlerinden daha iyi performans gösterdiğini, enerji tüketimini %30 ile %70 oranında azalttığını göstermiştir [6]. Havalandırma ve ısıtma sistemlerinin aralıklı çalışma verimliliğini iyileştirmek için yapılan birçok çalışma mevcuttur. Bununla ilgili sistematik bir inceleme Hu vd. tarafından yürütülmüştür [7]. Duvar termal performanslarının optimizasyonu [8], enerji kullanım verimliliğini iyileştirme [9], yapı formu optimizasyonu [10], yeni enerji ve malzeme kullanımı [11] gibi farklı enerji tasarruf teknolojileri kullanılmıştır.

Binalardan enerji tasarrufu konusunda genellikle aralıklı çalışma ve gece gerileme sistemi dikkate alınır. Termostatın gece için düşük değere ayarlanması ile ısıtma sistemlerinin kontrolünde ihtiyaç olmayan zamanlarda sıcaklığı düşürerek enerji tasarrufu sağlamıştır [12]. Okulun ısıtma sistemi için hava kaynaklı ısı pompası kullanılmıştır ve bina içi termal konforu sağlarken enerji verimliliği sağlamak için farklı çalışma stratejilerinin etkilerini karşılaştırmıştır. Ling vd. en uygun çalışma koşulunu bulmak için sekiz başlatma süresi ve sekiz dönüş suyu sıcaklık değerini ilişkilendirerek altmışdört farklı çalışma koşulunun benzetimini gerçekleştirmiş ve sonuçlar termal konfor gereksinimini karşılarken, daha erken başlatma süresiyle daha düşük su sıcaklığında çalıştırmanın, daha yüksek su sıcaklığında daha geç başlatma süresiyle çalıştırmaya kıyasla daha enerji verimli olduğunu göstermiştir [13]. Kim vd. üniversite binalarının belirli bir zaman diliminde dış ortam sıcaklığına göre çalışan merkezi ısıtma sisteminin kontrolünü optimize ederek sömestre süresince %25 enerji tasarrufu sağlamıştır. Önerilen kontrol stratejisinde bir açma-kapama kontrolü uygulanmış ve dinamik bir simülasyon programı kullanılarak simüle edilmiştir. Basit bir açma kapama kontrolü ile sıcaklığın aşırı yükselmesinin önüne geçilmiş ve bu sayede daha az enerji kullanılarak iç mekânın sıcaklığının rahat bir aralıkta tutulabileceğini göstermiştir [14]. Cho ve Zaheer-uddin iki farklı iklimlendirme çalışma stratejisini karşılaştırmıştır. Geleneksel kontrol yönteminde dış hava sıcaklığına bağlı olarak ısıtma programı tablosu oluşturulup ve ısıtma sistemi buna göre çalıştırılmıştır. Kestirimci kontrol yöntemi dış hava sıcaklığı tahmini, kazan ısı çıkış oranı, gün içerisinde ısıtma saatlerinin belirlenmesi ve gün içerisindeki ısıtma süresinin toplam saati olmak üzere dört adımdan oluşmuştur. Simülasyon ve deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiş ve kestirimci kontrol stratejisi geleneksel kontrol stratejisine göre %10 ila %20 arasında bir enerji tasarrufu sağlamıştır [15].

Gwerder vd. termal aktif bina sistemlerinin aralıklı çalışmada PWM ile kontrolünü gerçekleştirmiştir. Bir test ortamında iki farklı PWM kontrol metodu uygulanarak birincisi basit TABS modeline dayalı türetilmiştir. İkincisi ayarlama uğraşını azaltacak şekilde daha sade bir çözüm geliştirilmiştir. Bu çözümün temeli, PWM işletimi ile çalıştırma fazı sırasında termal olarak aktifleştirilmiş yapıya sürekli çalışma modundaki gibi eşit miktarda enerji iletilmesi gerektiğidir. PWM kontrolü TABS bölge pompasını aralıklı bir şekilde çalıştırarak enerji açısından verimli

kontrol çözümlerine olanak tanımıştır [16]. Mustafa Fatih vd. mikro denetleyici ile oda sıcaklığının kontrolünü bulanık mantık ile gerçekleştirmiştir. Soğutucu ve ısıtıcı fanlarının çalışma durumlarını oluşturulan kural tablosuna göre belirlemiştir. Bilgisayar ortamında benzetimi gerçekleştirilen sistemle gerçek fiziksel sistemin karşılaştırmasında elde edilen sonucun tutarlı olduğu görülmüştür [17]. Düşük sıcaklıklı sıcak su yerden ısıtma sistemi aralıklı çalışma esnasında iç termal konfor koşullarını etkilememektedir. Chao vd. yaptıkları çalışmada besleme suyu ortalama sıcaklık değerini, dönüş suyu sıcaklık değerini dikkate alarak açma/kapama zamanını ayarlayabilecek kontrol stratejisi geliştirmiştir. Binalarda kullanılan kontrol stratejisi ile iç sıcaklık değişim karakteristiğine göre odalar arasında farklı çalışma zamanları belirlemiştir [18]. Mustafa vd. PLC ile bulanık mantık yapısı kullanarak sera kontrolü gerçekleştirmiştir. Matematik modelinin çıkarılmasının zor olduğu sera sistemlerinde bulanık mantık yapısı ile ortam sıcaklığı ve nemi girdileriyle ısıtıcı, sisleme ve havalandırma çıkışlarını kontrol etmiştir. Oluşturulan kural tabanı ile PLC tarafından sera için gerekli ortam şartları hazırlanmıştır [19]. Behzadi vd. termal enerji depolama akıllı tasarım ve kontrol üzerine yapmış olduğu kapsamlı araştırmada çok farklı kontrol stratejilerini ve tasarımlarını incelemiştir. Geleneksel geri beslemeli kontrolörlerin karmaşık sistemlerde yetersiz kaldığı bu bağlamda optimal kontrol yöntemi olarak binaların ısıtma ve soğutma sistemlerinde bulanık mantık gibi ileri kontrol yaklaşımlarının uygulandığını belirtmiştir [20]. Serhat vd. PLC kullanarak bir taşıyıcı bant sisteminde yer alan motorların kontrolünü bulanık mantık yapısından faydalanarak gerçekleştirmiştir [21]. Uğur vd. mikroişlemci kullanarak kuluçka makinesinin sıcaklık kontrolünü bulanık mantık ile gerçekleştirmiştir [22]. Ared bulanık mantık yapısı ile klasik kontrol yapılarını incelemiştir. Bu kontrolörlerin tasarımları hakkında çalışmalar yaparak ikinci dereceden bir sisteme tasarladığı kontrol sistemlerini uygulamıştır. PLC kullanarak uyguladığı kontrol işlemi sonucunda elde edilen verileri karşılaştırmış ve Bulanık mantık tabanlı kontrolün daha iyi sonuçlar verdiğini gözlemlemiştir [23]. Ömer hidrolik pres pistonunun konum kontrolünü bulanık mantık tabanlı kontrol sistemi geliştirerek PLC ile gerçekleştirmiştir. Yapılan deneyler sonucunda bulanık mantık tabanlı piston konum kontrolünün hedef konuma daha az hata ile gittiği gözlemlenmiştir [24]. Ahmet PLC ortamında gerçekleştirilen Bulanık mantık kontrolörü ile hidrolik derin çekme pres makinesinin kontrolünü gerçekleştirmiştir [25]. Cihan vd. PLC kullanarak bulanık mantık kontrolü ile üç

fazlı motorun hız kontrolünü gerçekleştirmişlerdir. Deneysel çalışmalar laboratuvarında oluşturulan deney düzeneği üzerinde gerçekleştirilmiştir [26]. Hu vd. aralıklı çalışma karakteristiğindeki radyant soğutma sisteminin çalışma stratejisi üzerine teorik çalışma gerçekleştirmiştir. Sistemin modelinin oluşturulması ile bir kontrol stratejisi oluşturulmuştur [27]. Liu vd. yerden soğutma sisteminin aralıklı çalışma kontrol stratejisi üzerine çalışmıştır. Aralıklı çalışma operasyon stratejisinde su kaynağının debisi ve hava fan debisi değerlerini dikkate alarak bir çalışma zamanı belirlemek için kurulan model üzerine simülasyonlar gerçekleştirmiştir [28].

Yapılan literatür araştırmasında kesikli enerji tüketen yapıların toprak kaynaklı ısı pompalarından ve termal enerji depolama tankından oluşan ısıtma ve soğutma sistemlerinin kontrolünde PLC tabanlı bulanık mantık kontrolüne rastlanmamıştır.

Bu çalışmada kesikli enerji kullanan yapılardan olan ve Yıldız Teknik Üniversitesi, Davutpaşa Yerleşkesi'nde bulunan Sultan Abdülhamit Yıldız Camisinin radyant ısıtma ve soğutma sisteminin kontrolü PLC kullanılarak bulanık mantık yapısı ile sağlanmıştır. Caminin radyant ısıtma ve soğutma sisteminde toprak kaynaklı ısı pompaları, kazanlar, termal enerji depolama tankı ve sirkülasyon pompaları bulunmaktadır. Lineer olmayan ve çok farklı değişken ortam değerlerine sahip olan sistemin kontrolü için cami iç sıcaklık değeri, dış ortam sıcaklık değeri ve dönüş suyu sıcaklık değeri girdileri ile ısıtma-soğutma sistemin çalışma süresi belirlenmektedir. Namaz vakitlerine göre bulanık mantık yapısı ile hesaplanan çalışma süresi dikkate alınarak PLC ile pompanın çalışması sağlanmıştır. Sistemin tüm giriş ve çıkış sinyalleri PLC'de toplanmıştır. Bulanık mantık kontrolü için gerekli tüm işlemler PLC ile gerçekleştirilmiştir. Camilerin radyant ısıtma ve soğutma sistemleri genellikle klasik süreye bağlı açma kapama kontrolü ile çalıştırılırken yapılan çalışmada ilk defa bir caminin radyant ısıtma ve soğutma sistemi bulanık mantık kontrolü ile çalıştırılmıştır.

2 MATERYAL VE YÖNTEM

2.1 Fiziksel Sistem

Caminin bodrum katında ısıtma ve soğutma sistemlerinin yer aldığı bir kapalı alan bulunmaktadır. Alan içerisinde, iki adet toprak kaynaklı ısı pompası, sirkülasyon pompaları, bir termal enerji depolama sistemi, iki adet kazan, vanalar, sıcaklık sensörleri, gömülü borular, kolektörler ve kontrol panosu bulunmaktadır. Camide zemine yerleştirilmiş boruların içerisinde suyun dolaştırılması ile zemin ısıtma ve soğutması yapılmaktadır. Radyant sistemler bu özellikleri ile hem yazın hem kışın ihtiyaca göre kullanılabilir. Ayrıca bu sistemlerin az yer kaplaması, gürültüsüz çalışması, temizlik ihtiyacının az olması, bölgelere ayrılabilmesi ve enerji tasarrufu sağlaması avantajlarından bazılarıdır.

Cami, dikdörtgen şeklinde mimariye sahip olup betonarme bir yapıdır. Zemininde halılar serilmiş ve yerden ısıtma sistemi ön ve arka saflar olmak üzere iki bölgeye ayrılmıştır. Kontrol odası caminin bodrum katında olup Şekil 2.1’de gösterilmiştir.

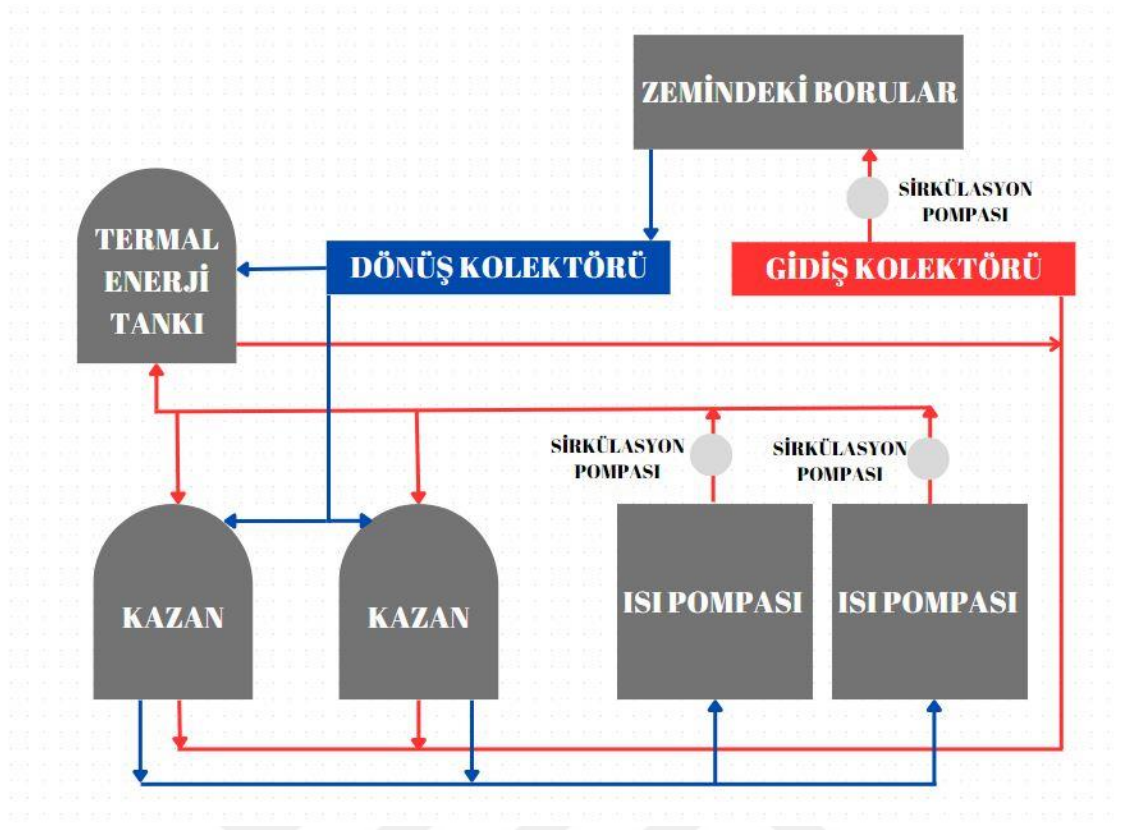


Şekil 2.1 Isıtma ve soğutma sistemi kontrol odası

2.2 Radyant Isıtma ve Soğutma Sistemi

Radyant ısıtma ve soğutma sistemi, bir binanın içindeki yüzeylere doğrudan ısıtma veya soğutma sağlayan bir sistemdir. Bu sistem, su veya elektrik elemanları aracılığıyla çalışabilir. Radyant sistemler, havayı ısıtmak veya soğutmak yerine, yüzeylerle temas eden insanlar ve nesneler aracılığıyla doğrudan ısıtma veya soğutma sağlarlar. Bu nedenle, havalandırma sistemi kullanmadıkları için daha düşük enerji tüketimi sağlarlar. Hidrolik radyant sistem, boruların içerisinde dolaştırılan suyun enerjisini kullanarak zemin, duvar veya tavan yüzeylerinden ısı yayarak bina içindeki havayı ısıtır veya soğutur. Ayrıca, hava akımı olmadığı için daha iyi bir hava kalitesi ve hijyenik ortam sağlar. Radyant ısıtma ve soğutma sistemi, geleneksel havalandırma sistemlerine göre birkaç avantaj sağlar. Bunlar arasında daha yüksek verimlilik, daha düşük enerji tüketimi, daha düşük gürültü seviyesi ve daha iyi hava kalitesi yer almaktadır. Bununla birlikte, kurulum maliyeti geleneksel havalandırma sistemlerine göre daha yüksek olabilir.

Sistemde yer alan radyant yerden ısıtma ve soğutma sistemi toprak kaynaklı ısı pompası, sirkülasyon pompası, enerji depolama tankı ve zemin altındaki borular ve çevresel ekipmanlardan oluşmaktadır. Toprak kaynaklı ısı pompası hem ısıtma hem soğutma modunda kullanılabilir. Isıtma modunda maksimum çıkış suyu sıcaklığı 55 °C, soğutma modunda minimum çıkış suyu sıcaklığı 7 °C'dir. Isı pompa ünitelerinin çalışma prensibi, topraktan aldığı enerjiyi sirkülasyon suyuna aktarması yoluyla suyun ısıtılması veya soğutulması şeklindedir. Isı pompa ünitesinin çıkışındaki su kazana gönderilir ve buradan da enerji depolama tankına veya zeminde gömülü borulara gönderilir. Gömülü boruların çıkışındaki su besleme kaynağına göre tekrar kaynağa geri gönderilir. Sistemin çalışma şekli enerji depolama tankından veya ısı pompa ünitelerinden biri seçilerek zemindeki gömülü borulara gönderilir. Sisteme ait diyagram Şekil 2.2'de gösterilmiştir.



Şekil 2.2 Radyant ısıtma ve soğutma sistemi diyagramı

2.2.1 Isı Pompaları

İklimlendirme sistemleri arasında popüler olan ısı pompaları, alçak sıcaklıktaki kaynaktan yüksek sıcaklıktaki kaynağa ısı transferi yapan cihazlardır. Temel olarak, ısı pompaları dışarıdaki düşük sıcaklıktaki bir ortamdan enerji alarak iç mekânı ısıtmak veya yüksek sıcaklıktaki bir ortama ısı atarak iç ortamı soğutmak için kullanılırlar. Isı pompaları, bu ısıyı mekanik enerji kullanarak transfer ederler. Çalışma prensipleri, buhar sıkıştırma, sıvı soğutma veya termokimyasal reaksiyonlar gibi farklı teknolojilere dayanabilir.

Isı pompaları, enerji verimliliği açısından çevre dostu bir seçenek olarak kabul edilir. Çünkü ısıyı taşımak için genellikle elektrik enerjisi kullanırken, transfer ettiği ısı enerjisi kullandığı bu elektrik enerjisinden çok daha fazla olabilir. Örneğin, bir hava kaynaklı ısı pompası dışarıdaki soğuk havadan ısı enerjisi alırken tükettiği elektrik enerjisi, iç mekânı ısıtmak için kullanılan elektrik enerjisinden çok daha düşük olur. Bu nedenle, ısı pompaları enerji tasarrufu sağlayabilir ve çevresel etkileri azaltabilir.

Isı pompaları geniş bir kullanım alanına sahiptir. Evlerde ve binalarda ısıtma ve soğutma için kullanılabildiği gibi, endüstriyel işletmelerde ve ticari mekanlarda da tercih edilen bir çözümdür. Isı pompaları, enerji maliyetlerini düşürmeye, karbondioksit salınımını azaltmaya ve konforlu bir iç mekân iklimi sağlamaya yardımcı olurlar. Ancak, uygun kapasite seçimi, kurulum ve bakım gibi faktörlerin dikkate alınması önemlidir, çünkü her uygulama için en uygun ısı pompası türü ve boyutu farklılık gösterebilir.

2.2.2 Sirkülasyon Pompası

Sirkülasyon pompaları, sıvıları veya gazları bir sistem içinde dolaştıran ve sirkülasyonunu sağlayan cihazlardır. Genellikle su, soğutucu veya ısıtma akışkanı gibi akışkanları pompalamak için kullanılırlar. Sirkülasyon pompaları, endüstriyel uygulamalardan ev kullanımına kadar çeşitli alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır.

Sirkülasyon pompaları, bir dış ve bir de iç rotor olmak üzere temel olarak iki ana bileşenden oluşur. İç rotor, hareketi sağlayan bir mil üzerine yerleştirilmiş bir pervaneyi içerir. Dış rotor ise sirkülasyon pompasının dış kısmında yer alır ve iç rotoru çevreleyen bir kılıf görevi görür. Pervane dönerek sıvıyı veya gazı emer ve dışarıya iterek dolaşımı sağlar.

Sirkülasyon pompalarının birçok faydası vardır. Öncelikle, sistem içindeki akışkanın dolaşımını hızlandırarak verimliliği artırır. Isıtma veya soğutma sistemlerinde, sirkülasyon pompaları, ısı transferini optimize etmek ve homojen bir sıcaklık dağılımı sağlamak için kullanılır. Ayrıca, su tesisat sistemlerinde basınç düşümünü azaltarak su akışını iyileştirir ve tesisatın daha verimli çalışmasını sağlar.

Sirkülasyon pompaları, enerji verimliliği ön planda tutularak tasarlanmıştır. Gelişmiş teknolojilere sahip modern sirkülasyon pompaları, enerji tüketimini minimize ederek işletme maliyetlerini düşürmeye yardımcı olur. Ayrıca, otomatik kontrol sistemleriyle entegre edilebilirler, böylece sistem ihtiyaca göre pompalama hızını ayarlayabilir ve enerji tasarrufu sağlayabilirler.

2.3 Otomasyon ve Ölçüm Sistemi

Sistemin kontrolü cami içi sıcaklık değeri, dış ortam sıcaklık değeri ve dönüş suyu sıcaklık değeri ile gerçekleştirilir. Kontrol sisteminde kullanılan ölçüm verilerinin haricinde gidiş suyu sıcaklık değeri, gidiş suyu debisi ve dönüş suyu debisi ilave veri olarak sisteme aktarılır. Ortam sıcaklık değerinin ölçümü için T tipi termokupl kullanılırken, su sıcaklıklarını ölçmek için PT1000 kullanılmaktadır. Debi ölçümünde ultrasonik akış ölçer yöntemi kullanılmaktadır. Veriler anlık olarak PLC sistemine aktarılır. PLC ile birlikte kullanılabilen analog modüller ve sıcaklık ölçüm modülleri kullanılarak bu veriler anlamlı hale getirilirler. Gerekli kalibrasyon işlemleri ve konfigürasyon işlemleri PLC üzerinden yapılmaktadır. Bulanık mantık algoritması çıktısı olan çalışma süresi ve sirkülasyon pompa çalışma durumu verileri dahil olmak üzere tüm veriler PLC üzerinden bulut sistemine aktarılır ve burada bir dakikalık periyotlarla kayıt altına alınır.

Kumanda panosunda ölçüm ve kontrol için gerekli olan elektrik ve elektronik elemanlar çalışma şartlarına uygun olarak yerleştirilerek kablolama işlemleri yapılmıştır. Saha tesisatı yapılarak verilerin toplanması ve aktüatörlerin kontrolü gerçekleştirilmiştir. Pano içerisine yerleştirilen veri toplama modülü ile PLC modbus TCP haberleşmesi yaparak veriler anlık olarak veri toplama modülüne buradan da bulut sistemine aktarılmaktadır. Konuyla alakalı detaylı bilgiler Bölüm 3'te verilmiştir.



Şekil 2.3 Kontrol sistemi blok diyagramı

2.3.1 Programlanabilir Mantık Denetleyici (PLC)

PLC (Programmable Logic Controller), bir endüstriyel otomasyon cihazıdır. Endüstriyel süreçleri kontrol etmek, izlemek ve otomatikleştirmek için kullanılan bir bilgisayar tabanlı kontrol sistemidir. PLC'ler, fabrikalarda, imalat tesislerinde, enerji dağıtım sistemlerinde ve diğer endüstriyel ortamlarda geniş bir uygulama yelpazesine sahiptir.

PLC'ler, programlanabilir bellek, giriş ve çıkış birimleri, işlemci ve iletişim arayüzleri gibi bileşenlerden oluşur. Programlanabilir bellek, kullanıcının isteğine göre programlanabilen kontrol mantığını ve işlevleri içerir. Giriş birimleri, fiziksel sistemlerden gelen sinyalleri (örneğin sensörlerden gelen verileri) PLC'ye aktarırken, çıkış birimleri, PLC'nin kontrol ettiği cihazlara sinyaller gönderir. (örneğin motorları veya valfleri kontrol etmek için).

PLC'lerin avantajları arasında esneklik, hız, dayanıklılık ve güvenilirlik bulunur. Esneklikleri, programları sayesinde kontrol mantığının kolayca değiştirilebilmesi ve farklı süreçlerin otomatikleştirilebilmesidir. PLC'ler, gerçek zamanlı işlem yetenekleri sayesinde hızlı yanıt verir ve endüstriyel süreçlerin yüksek hızda kontrol edilmesini sağlar. Ayrıca, ağır şartlara sahip endüstriyel ortamlarda çalışmaya dayanıklıdırlar ve uzun ömürlü olmalarıyla bilinirler. PLC'lerin programlanması genellikle bir programlama dili veya grafiksel bir arayüz kullanılarak yapılır. Programlama dilleri arasında genellikle merdiven diyagramları (ladder diagrams), yapısı itibarıyla endüstriyel kontrol mantığına benzer şekilde kullanılır. Grafiksel arayüzler ise kullanıcı dostu bir şekilde programlamayı sağlar. İleri programlama teknikleri olarak da C dili ve benzer diller de kullanılabilir.

PLC'ler, endüstriyel otomasyonun temel bir unsuru olarak kabul edilir ve birçok farklı endüstriyel süreçte yaygın olarak kullanılır. Üretim hatlarının kontrolü, otomasyon sistemlerinin izlenmesi, veri toplama ve analiz, enerji dağıtımı ve binalarda otomasyon gibi birçok uygulama alanı vardır. Bu çalışmada GMT GLC-496T PLC kullanılmış olup Şekil 2.4'te verilmiştir.



Şekil 2.4 GMT GLC 496T PLC modeli [29]

2.3.2 PLC Sıcaklık Modülü

PLC sıcaklık modülü, bir PLC sistemi içerisinde sıcaklık ölçümü ve kontrolü için kullanılan bir bileşendir. Sıcaklık modülü, bir veya birden fazla sıcaklık sensöründen gelen verileri işleyerek sıcaklık değerlerini PLC'ye iletmek ve bu değerler üzerinde kontrol sağlamak amacıyla kullanılır. Sıcaklık modülleri genellikle termokupl veya termistör gibi sıcaklık sensörleriyle etkileşim halindedir. Bu sensörler, fiziksel olarak ortamın veya nesnelerin sıcaklığını ölçerler ve elektriksel sinyallere dönüştürürler. Sıcaklık modülü, bu elektriksel sinyalleri alarak sıcaklık değerlerini PLC sistemine aktarır. Sıcaklık modüllerinin işlevleri arasında sıcaklık verilerini işleme, analog-dijital dönüşüm, sıcaklık aralığı ölçeklendirme ve uygun birimlerde sunma gibi işlemler yer alır. Modül genellikle analog girişlere sahiptir ve sıcaklık sensörleri tarafından sağlanan analog sinyalleri PLC'nin anlayabileceği dijital sinyallere dönüştürür.

Sıcaklık modülleri, genellikle PLC'nin genişleme yuvalarına takılan bir modül şeklinde gelir. Bu modüller, PLC sistemine kolayca entegre edilebilir ve mevcut PLC yapılandırmasına uygun olarak programlanabilir. Böylece sıcaklık verileri, PLC tarafından diğer otomasyon fonksiyonlarıyla bütünleşik bir şekilde kontrol edilebilir. Projede kullanılan sıcaklık modülü GXM 40UA ve GXM 20UA olmak üzere iki adettir ve Şekil 2.5'te gösterilmiştir.



Şekil 2.5 PLC sıcaklık giriş modülü [29]

2.3.3 PLC Dijital Giriş Çıkış Modülü

PLC dijital giriş çıkış (D/I, D/O) modülleri, PLC sistemlerinde dijital sinyallerin algılanması ve kontrol edilmesi için kullanılan bileşenlerdir. Bu modüller, genellikle anahtarlar, sensörler, butonlar ve diğer dijital cihazlarla etkileşim halinde çalışırlar.

Dijital giriş modülleri, fiziksel olarak gerçek dünyadan gelen dijital sinyalleri algılar ve bu sinyalleri sayısal formda PLC sistemine aktarır. Bu modüller, genellikle açık/kapalı veya 0/1 şeklindeki dijital sinyalleri algılar. Örneğin, bir butonun basılı olup olmadığını veya bir anahtarın açık veya kapalı olduğunu tespit edebilirler. Bu bilgiler, PLC programı tarafından analiz edilerek ilgili işlemlerin gerçekleştirilmesini sağlar.

Dijital çıkış modülleri ise PLC sisteminden dışarıya dijital sinyaller göndermeyi sağlar. Bu modüller, genellikle röleler veya transistörler aracılığıyla yükleri kontrol ederler. Örneğin, bir motoru açmak veya kapatmak, bir valfi kontrol etmek veya bir lambayı yakmak veya söndürmek gibi işlemler için kullanılırlar. Dijital çıkış modülleri, PLC programı tarafından kontrol edilen işlemleri gerçekleştirmek için uygun düzeyde akım veya gerilim sağlar.

PLC dijital giriş çıkış modülleri genellikle farklı kanallarda sunulur. Kanal sayısı, bir modülün aynı anda kaç adet giriş veya çıkış sinyalini işleyebileceğini belirler. Modüller, genellikle genişleme yuvalarına takılarak PLC sisteminin ölçeğine uygun

bir şekilde yapılandırılabilir. Projede kullanılan dijital giriş çıkış modülü 16 kanallı GXM 16 TA modülü olup Şekil 2.6’da gösterilmiştir.

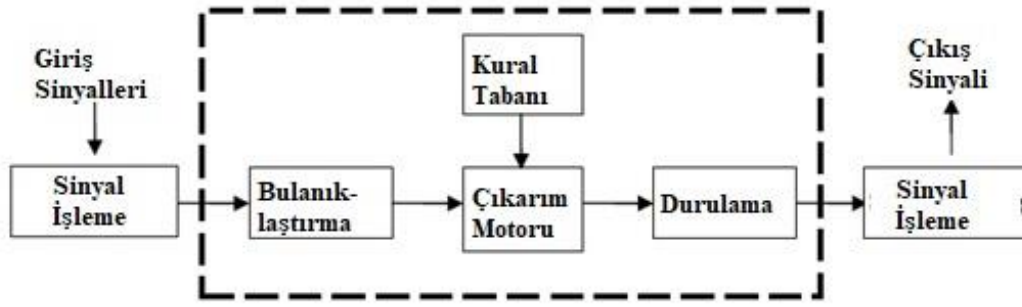


Şekil 2.6 PLC dijital giriş çıkış modülü [29]

2.4 Bulanık Mantık

Bulanık mantık, belirsizlik içeren problemleri ele alan ve insan düşüncesi gibi bulanık kavramlarla çalışan bir matematiksel modeldir. Bulanık mantık, geleneksel ikili mantıkta olduğu gibi sadece doğru (1) veya yanlış (0) sonuçlarını vermeyen bulanık değerlerle çalışır. Bu değerler arasında kısmi doğru, kısmi yanlış veya tamamen belirsiz olan değerler bulunabilir. Bu, gerçek dünyadaki belirsizlikleri ve karmaşıklıkları ele almada büyük bir avantaj sağlar.

Bulanık mantık, birçok uygulama alanında kullanılır. Özellikle yapay zekâ, kontrol sistemleri, veri analizi ve karar verme problemleri gibi alanlarda kullanımı yaygındır. Bulanık mantık, gerçek dünyadaki karmaşık ve belirsiz problemleri çözmek için etkili bir araç sağlar. Bulanık mantık genel yapısı Şekil 2.7’de gösterilmiştir.



Şekil 2.7 Bulanık mantık genel yapısı

2.4.1 Bulanıklaştırma ve Üyelik Fonksiyonları

Bir bulanık küme, belirli bir özellik veya niteliğe sahip olan elemanların bir araya getirildiği bir kümeyi temsil eder.

Bir bulanık küme, bir üyelik fonksiyonu (üyelik derecesi) tarafından tanımlanır. Üyelik fonksiyonu, her elemanın bir bulanık kümede ne kadar üye olduğunu belirten bir değer atar. Bu değer, genellikle 0 ile 1 arasında bir sayıdır. 0, tamamen üye olmadığı, 1 ise tamamen üye olduğu anlamına gelir.

Bulanık kümeler, genellikle üçgen, yamuk veya Gauss şeklindeki üyelik fonksiyonlarıyla temsil edilir. Bu fonksiyonlar, bir elemanın üyelik derecesini belirlemek için kullanılır.

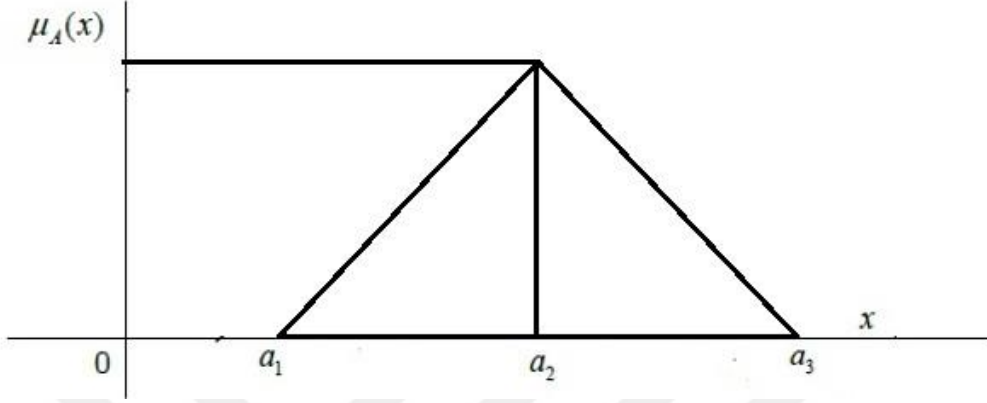
2.4.1.1 Üçgen Üyelik Fonksiyonu

Üçgen üyelik fonksiyonu, bulanık mantıkta kullanılan en yaygın üyelik fonksiyonlarından biridir. Bu fonksiyon, genellikle düzgün bir şekilde artan veya azalan üyelik değerlerini temsil etmek için kullanılır.

- Üçgen üyelik fonksiyonu, üyelik derecesinin üçgen bir şekilde artıp azaldığı bir fonksiyondur.
- Bir üçgen üyelik fonksiyonu, üç parametreyle tanımlanır: A, B ve C.
- A ve C, üyeliğin başladığı ve bittiği değerleri temsil ederken, B, üyeliğin en yüksek değerine ulaştığı orta noktayı belirtir.

Üçgen üyelik fonksiyonunun matematiksel ifadesi (2.1) eşitliği ve grafiksel gösterimi Şekil 2.8’de gösterilmiştir.

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0, & x < a_1 \\ \frac{x - a_1}{a_2 - a_1}, & a_1 \leq x \leq a_2 \\ \frac{a_3 - x}{a_3 - a_2}, & a_2 \leq x \leq a_3 \\ 0, & x > a_3 \end{cases} \quad (2.1)$$



Şekil 2.8 Üçgen üyelik fonksiyonu

Bulanıklaştırma işlemi için sıcaklık değişkeni üzerinden örnek bir üçgen üyelik fonksiyonu verelim. Varsayalım ki sıcaklık değerleri -10 ile 40 arasında değişiyor ve "soğuk", "ılık" ve "sıcak" olmak üzere üç kategoriye ayrılmak isteniyor. Bu durumda aşağıdaki üçgen üyelik fonksiyonları kullanılabilir:

- I. "Soğuk" Kategorisi:
 - Başlangıç noktası (a): -10
 - Tepe noktası (b): 0
 - Bitiş noktası (c): 10
- II. "Ilık" Kategorisi:
 - Başlangıç noktası (a): 5
 - Tepe noktası (b): 20
 - Bitiş noktası (c): 35
- III. "Sıcak" Kategorisi:
 - Başlangıç noktası (a): 25
 - Tepe noktası (b): 35
 - Bitiş noktası (c): 40

Bu üçgen üyelik fonksiyonları, sıcaklık değerlerini "soğuk", "ılık" ve "sıcak" kategorilerine bölerek, her bir sıcaklık değerinin her bir kategoriye ait olma

derecesini temsil eder. Örneğin, bir sıcaklık değeri 8 ise, "soğuk" kategorisine olan üyelik derecesi düşük olacak, "ılık" kategorisine olan üyelik derecesi yüksek olacak

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0, & x < a_1 \\ \frac{x - a_1}{a_2 - a_1}, & a_1 \leq x \leq a_2 \\ 1, & a_2 \leq x \leq a_3 \\ \frac{a_4 - x}{a_4 - a_3}, & a_3 \leq x \leq a_4 \\ 0, & x > a_4 \end{cases} \quad (2.2)$$

ve "sıcak" kategorisine olan üyelik derecesi sıfır olacaktır.

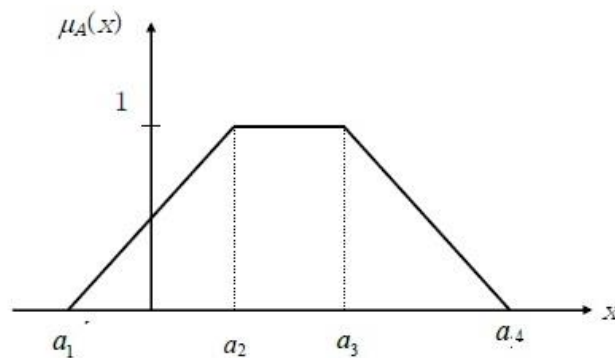
Sıcaklık değeri 30 ise denklem 2.1 örneğe uygulandığı takdirde soğuk üyelik derecesi 0, ılık üyelik derecesi 0,33 ve sıcak üyelik derecesi 0,5 olacaktır.

2.4.1.2 Yamuk Üyelik Fonksiyonu

Yamuk üyelik fonksiyonu, üyelik derecesinin yamuk bir şekilde artıp azaldığı bir fonksiyondur. Bir yamuk üyelik fonksiyonu, A, B, C ve D olmak üzere dört parametreyle tanımlanır. A ve D, üyeliğin başladığı ve bittiği değerleri temsil ederken, B ve C, üyeliğin en yüksek değerine ulaştığı iki orta noktayı belirtir. Bu fonksiyon, üyelik değerlerinin daha yumuşak geçişlere veya daha geniş sınırlara ihtiyaç duyduğu durumlarda kullanılır.

Bu yamuk üyelik fonksiyonu, A ve D noktalarındaki değerlerden B ve C noktalarındaki değerlere doğru yavaşça yükselir ve sonra tekrar düşer. Bu şekilde üyelik derecesi yamuk bir şekilde artar ve azalır.

Yamuk üyelik fonksiyonunun matematiksel ifadesi (2.2) eşitliği ve grafiksel gösterimi Şekil 2.9'da gösterilmiştir.



Şekil 2.9 Yamuk üyelik fonksiyonu

2.4.1.3 Gauss Üyelik Fonksiyonu

Gauss üyelik fonksiyonu iki parametreyle tanımlanır: μ (ortalama) ve σ (standart sapma). Ortalama değeri (μ), eğrinin tepe noktasının konumunu belirtirken, standart sapma (σ), eğrinin genişliğini kontrol eder.

Gauss üyelik fonksiyonunu görsel olarak ifade etmek zor olsa da eğri simetrik ve düzgün bir dağılım sergiler. Eğri, tepe noktasında en yüksek üyelik derecesine ulaşır ve ortalama dan uzaklaştıkça üyelik derecesi azalır.

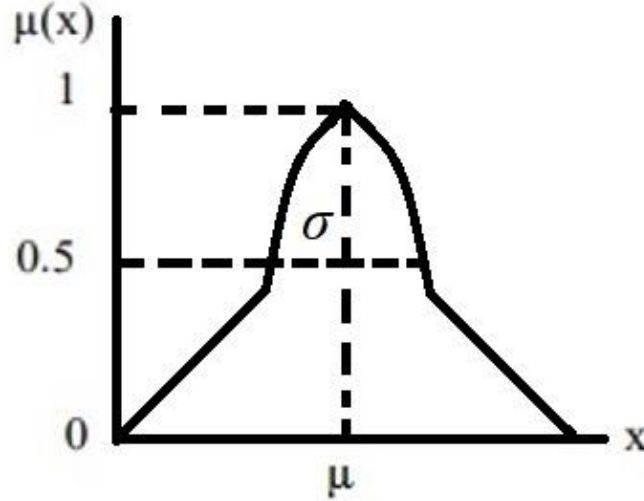
Gauss üyelik fonksiyonunun matematiksel ifadesi (2.3) eşitliği ve grafiksel gösterimi Şekil 2.10'da gösterilmiştir.

$$\mu(x) = e^{\left(\frac{-(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right)} \quad (2.3)$$

Burada, $\mu(x)$ elemanın üyelik derecesini ifade eder, x elemanın değerini temsil eder, μ ortalama değeri belirtir ve σ standart sapmayı gösterir.

Gauss üyelik fonksiyonu, elemanın bir bulanık kümedeki üyelik derecesini belirlemek için kullanılır. Üyelik derecesi, elemanın bu Gauss fonksiyon içindeki konumuna ve değerine bağlı olarak 0 ile 1 arasında bir değer alır. Eğer elemanın değeri, ortalama değere yakınsa üyelik derecesi yüksek olur, uzaklaştıkça ise üyelik derecesi azalır.

Gauss üyelik fonksiyonu, daha yumuşak geçişlere ve simetrik dağılımlara ihtiyaç duyulan durumlarda kullanılır. Örneğin, "ortalama bir hız" kavramını bulanık bir şekilde ifade etmek için Gauss üyelik fonksiyonu kullanılabilir. Bu durumda, ortalama hıza yakın değerlere sahip elemanlar yüksek üyelik derecesine sahip olurken, uzaklaştıkça üyelik derecesi azalır.



Şekil 2.10 Gauss üyelik fonksiyonu

Gauss üyelik fonksiyonu, daha yumuşak geçişlere ve simetrik dağılımlara ihtiyaç duyulan durumlarda kullanılır. Örneğin, "ortalama bir hız" kavramını bulanık bir şekilde ifade etmek için Gauss üyelik fonksiyonu kullanılabilir. Bu durumda, ortalama hıza yakın değerlere sahip elemanlar yüksek üyelik derecesine sahip olurken, uzaklaştıkça üyelik derecesi azalır.

2.4.2 Bulanık Kurallar ve Bulanık Çıkarım

Bulanık kurallar, bir bulanık mantık sisteminde kullanılan kural tabanını ifade eder. Kural tabanı, bir dizi bulanık kuralın toplamıdır. Her bir bulanık kural, bir veya daha fazla girişe dayanır ve bir çıktı üretmek için kullanılır. Her bir kural, "eğer X, o zaman Y" şeklinde ifade edilir, burada X girişler ve Y çıktıdır. Bulanık kurallar, gerçek dünyadaki deneyim ve uzman bilgisine dayanarak oluşturulur. Örneğin, "Eğer sıcaklık yüksekse ve nem yüksekse, o zaman hava boğucu olabilir" gibi bir bulanık kural olabilir.

Bulanık çıkarım, bulanık mantık sistemindeki girişlerden çıktıların çıkarılması sürecidir. Bu süreç, bulanık kuralları ve üyelik fonksiyonlarını kullanarak belirsizlikleri yönetir. Bulanık çıkarım, bir veya daha fazla bulanık kurala dayanarak, girişlerin üyelik derecelerini çıkarıp, çıktıların üyelik derecelerini hesaplar. Bu işlem, girişlerin belirsizliklerini dikkate alarak, çıktıların bulanık üyelik derecelerini belirler. Bu bulanık çıkarım sonucunda, bir veya birden fazla çıktı üretilir. Çıktılar, genellikle bulanık küme olarak temsil edilir ve belirli bir üyelik derecesine sahiptir. Bulanık çıkarımda insanın karar verme ve muhakeme

yeteneğine benzer Şekilde bulanık kavramlar değerlendirilir ve bulanık çıkarım yapılarak gerekli çıktılar üretilir. Bu işlemler için farklı bulanık çıkarım yöntemleri mevcuttur.

Mamdani Yöntemi:

Mamdani yöntemi, bulanık çıkarım için en yaygın kullanılan yöntemlerden biridir. Bu yöntem bulanık kurallar ve üyelik fonksiyonlarının bir araya getirildiği çıkarım motoru tarafından gerçekleştirilir. Bu motor, girişlerin üyelik derecelerini kullanarak her bir kuralın çıktısını belirler. Kurallarda içerisinde kullanılan ve/veya mantıksal bağlaçlarına göre max ya da min operatörüne verilirler. Girişler birbirlerine “ve” ile bağlıysa üyelik derecesi “min” operatörüne göre, “veya” ile bağlıysa “max” operatörüne göre hesaplanır. Kural tabanı içerisinde dilsel değerlerin üyelik derecesi 0’dan farklı olması durumunda bu kural tetiklenmiştir. Tetiklenen kuralların ifadelerine göre hesaplanan üyelik dereceleri max/min operatörüne göre değerlendirilir ve sonuç değerindeki dilsel ifadenin üyelik derecesi olarak işleme alınır.

Sugeno Yöntemi:

Sugeno yöntemi, Mamdani yöntemine alternatif bir bulanık çıkarım yöntemidir. Bu yöntemde, bulanık kuralların yanı sıra lineer veya sabit çıktı işlevleri kullanılır. Sugeno yöntemi, çıktıları kesin değerlerle ifade eder. Bulanık kuralların girişlere bağlı olarak belirli bir çıktı değeri ürettiği her bir kuralı ağırlıklandırır. Bu ağırlıklar, genellikle girişlere göre değişir ve kuralın önemini ifade eder. Ardından, bu ağırlıklı çıktı değerleri toplanır. Toplam sonucunda, bir kesin çıktı elde edilir. Bu çıktı, çıkarılan kuralların katkısına göre belirlenir.

Sugeno yöntemi, daha doğrusal ve kesin çıktıları ifade etmek için kullanılır. Bu yöntem, çıktının belirli bir işlevsel formülle ifade edilmesini sağlar. Bu sayede, çıktının matematiksel olarak analiz edilmesi ve daha spesifik sonuçlar üretilmesi kolaylaşır.

Takagi-Sugeno Yöntemi:

Takagi-Sugeno yöntemi, Sugeno yöntemine benzer bir yaklaşımdır, ancak çıktılar kesin değerler yerine bulanık ifadeler olabilir. Bu yöntemde, bulanık kuralların yanı sıra çıktıların belirsizliğini ifade eden üyelik fonksiyonları kullanılır. Çıkarım sürecinde, her bir kural, girişlere dayanarak bir bulanık çıktı üretir. Bu çıktılar,

ağırlıklandırılır ve birleştirilir. Takagi-Sugeno yöntemi hem kesin çıktılar hem de bulanık çıktılar elde etmek için kullanılabilir.

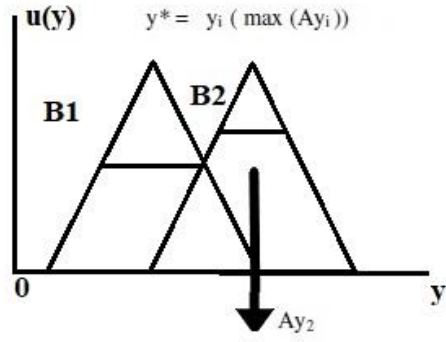
Bu çıkarım yöntemleri, bulanık mantık sistemlerinin farklı uygulama alanlarına göre tercih edilen yöntemlerdir. Mamdani yöntemi genellikle kontrol sistemleri ve karar verme problemleri için tercih edilirken, Sugeno ve Takagi-Sugeno yöntemleri genellikle tahmin ve modelleme problemlerinde kullanılır.

2.4.3 Durulaştırma

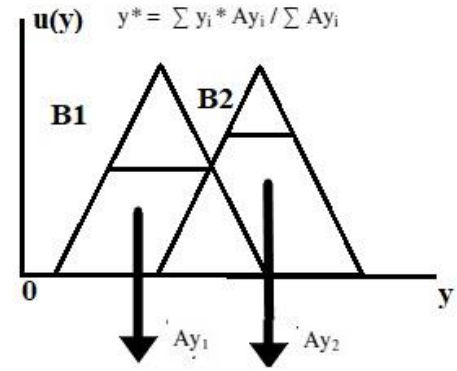
Durulaştırma, bulanık çıkarım sonrası elde edilen bulanıklaştırılmış çıktıları gerçek çıkış işaretine dönüştürülmesi işlemidir. Bulanık mantık sistemi, bu bulanık kümelerin üyelik fonksiyonlarına dayalı olarak çıktıları hesaplar.

Bulanık mantık sisteminde, girdi değerleri belirli bir kural setine göre bulanıklaştırılır ve bu kuralların sonuçları bir veya daha fazla bulanık küme olarak ifade edilir. Bulanık küme, bir değer aralığına ve bu değerlerin olasılıklarına dayanan bir tanım kümesidir. Örneğin, "sıcaklık" girdisi "soğuk", "ılık" ve "sıcak" gibi bulanık kümelerle temsil edilebilir. Bulanık mantık sistemi, bu bulanık kümelerin üyelik fonksiyonlarına dayalı olarak çıktıları hesaplar. Bulanık çıktılar, genellikle bir veya daha fazla bulanık küme olarak ifade edilir. Örneğin, bir "fan hızı" çıktısı "düşük", "orta" ve "yüksek" gibi bulanık kümelerle temsil edilebilir. Durulaştırma, bu bulanık çıktıları net bir çıktıya dönüştürmek için kullanılan bir adımdır. Bu adımda, bulanık çıktıların üyelik fonksiyonları ve değerleri kullanılarak çıktıların kesin değerlere çevrilmesi amaçlanır.

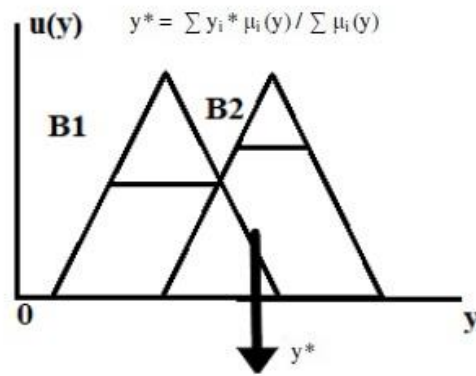
Durulaştırma, bulanık mantık sistemlerinin gerçek dünya uygulamalarında kullanılmasını kolaylaştırır ve sonuçların anlaşılmasını sağlar. Bu işlem, bulanık mantık sistemlerinin çeşitli alanlarda, örneğin otomasyon, kontrol sistemleri, yapay zekâ ve karar destek sistemlerinde kullanılmasını mümkün kılar. Birçok durulaştırma yöntemi bulunmakla birlikte yaygın olarak kullanılan bazı bulanık mantık durulaştırma yöntemleri Şekil 2.11'de gösterilmiştir.



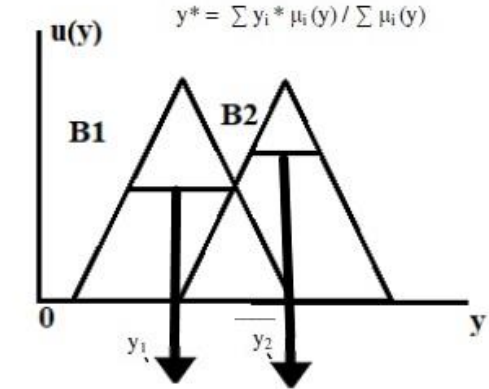
En büyük alan merkezi



Alanların toplam merkezi



Ağırlık merkezi



Yüksekliklerin ortalaması

Şekil 2.11 Durulaştırma yöntemleri

3

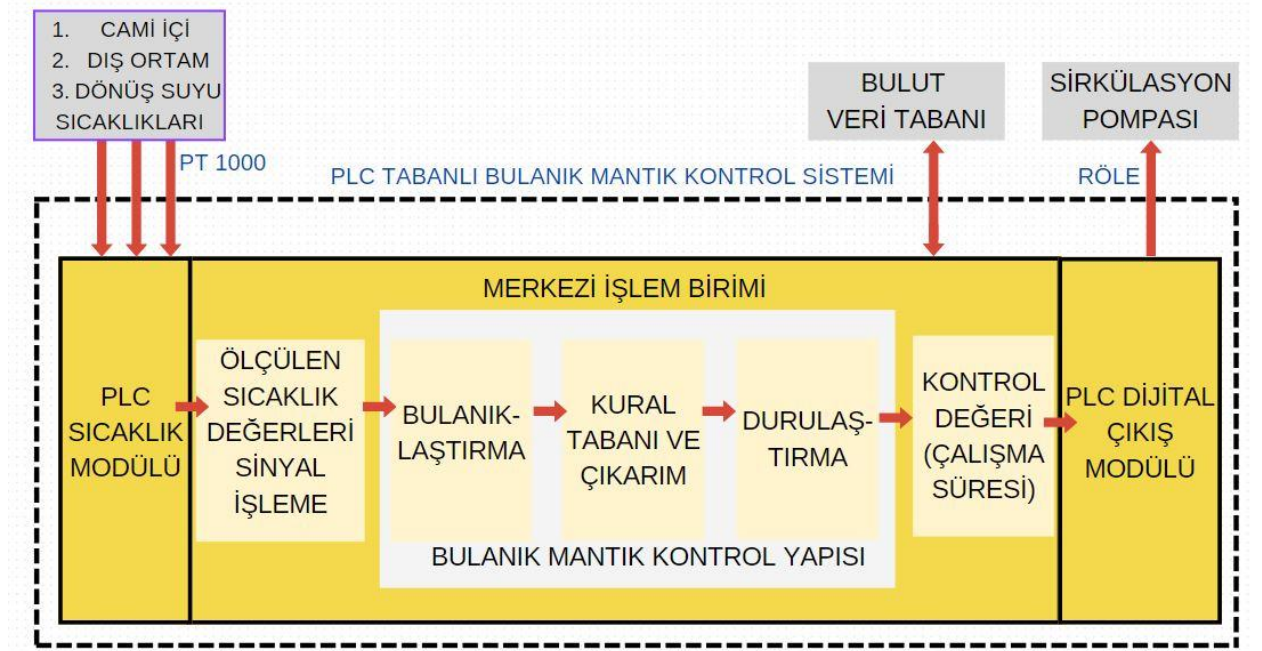
PLC TABANLI BULANIK MANTIK KONTROL SİSTEMİ

3.1 Giriş

Sistemde kullanılacak tüm donanımların elektriksel ve mekaniksel işlemleri tamamlandıktan sonra kontrol sisteminin kurulumu için uygulama kapsamında aşağıdaki adımlar takip edilmiştir.

- I. Sistemde giriş-çıkış kontrol sistemi parametreleri belirlenmiştir.
- II. Uzman bilgilerine göre bulanık mantık kontrol yapısının oluşturulmuştur.
- III. Bulanık Mantık kontrol yapısının PLC sisteminde çalışabilmesi için gerekli konfigürasyon ve kod yazılımı yapılmıştır.
- IV. Sistemin çalıştırılıp alınan sonuçlara göre performansı değerlendirilmiştir.

Kontrol sistemine ait kavramsal yapı Şekil 3.1’de gösterilmiştir.



Şekil 3.1 Sistemin kavramsal yapısı

3.2 Bulanık Mantık Kontrol Yapısı

3.2.1 Sistemin Giriş Çıkış Parametreleri

Karar mekanizmasını oluşturmada kullanılacak olan giriş ve çıkış parametreleri Şekil 3.2'deki blok diyagramında gösterilmiştir. Cami içerisinde, dış ortamdaki ve dönüş suyundan PT1000 sıcaklık sensörleri ile alınan değerler giriş değerleridir. Kontrol parametresi olarak kullanılan sirkülasyon pompa çalışma süresi ise sistemin çıkış değeridir.



Şekil 3.2 Giriş çıkış parametreleri blok diyagramı

Giriş parametreleri;

- Cami içi anlık sıcaklık değeri,
- Dış ortam anlık sıcaklık değeri,
- Dönüş suyu sıcaklık değeri,

Çıkış parametresi;

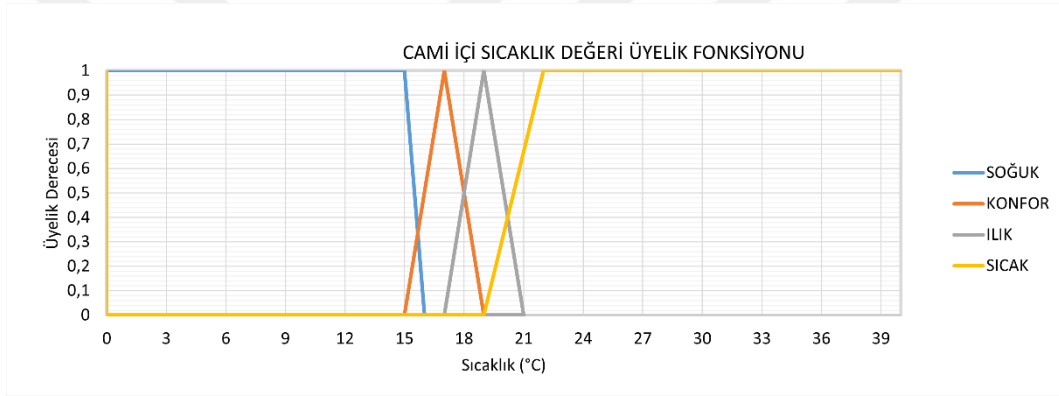
- Sirkülasyon pompasının çalışma süresi, (namaz vakitlerinden önce) olarak belirlenmiştir.

3.2.2 Giriş Çıkış Parametrelerinin Bulanıklaştırılması

Cami içi sıcaklık değeri üyelik fonksiyonu bulanıklaştırma işlemi detayları Tablo 3.1'de, Şekil 3.3'te ve (3.1) eşitliğinde gösterilmiştir.

Tablo 3.1 Cami içi sıcaklık değeri üyelik fonksiyonu (CI)

Üyelik Fonksiyonu	Tipi	Değerler (°C)
Soğuk	Yamuk	0:0:15:16
Konfor	Üçgen	15:17:19
Ilık	Üçgen	17:19:22
Sıcak	Yamuk	19:22:40:40

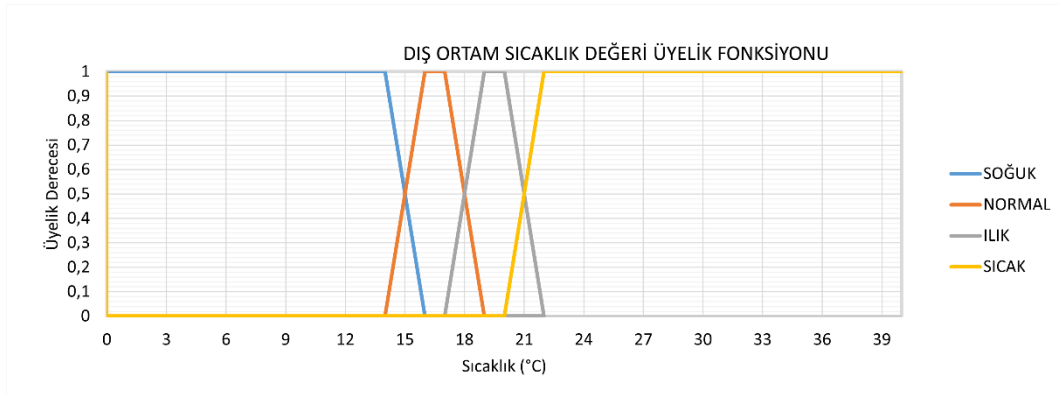
**Şekil 3.3** Cami içi sıcaklık değeri üyelik fonksiyonu (CI)

$$\begin{aligned}
\mu_{soğuk}(x) &= \begin{cases} x \leq 15 ; 1 \\ 15 < x < 16 ; (16-x)/1 \\ x \geq 16 ; 0 \end{cases} \\
\mu_{konfor}(x) &= \begin{cases} 15 < x \leq 17 ; (x-15)/2 \\ 17 < x < 19 ; (19-x)/2 \end{cases} \\
\mu_{ılık}(x) &= \begin{cases} 17 < x \leq 19 ; (x-17)/2 \\ 19 < x < 22 ; (22-x)/3 \end{cases} \\
\mu_{sıcak}(x) &= \begin{cases} 19 < x \leq 22 ; (x-19)/3 \\ 22 < x < 40 ; 1 \end{cases}
\end{aligned} \tag{3.1}$$

Dış ortam sıcaklık değeri üyelik fonksiyonu bulanıklaştırma işlemi detayları Tablo 3.2’de, Şekil 3.4’te ve (3.2) eşitliğinde gösterilmiştir.

Tablo 3.2 Dış ortam sıcaklık değeri üyelik fonksiyonu (DO)

Üyelik Fonksiyonu	Tipi	Değerler (°C)
Soğuk	Yamuk	0:0:14:16
Normal	Yamuk	14:16:17:19
Ilık	Yamuk	17:19:20:22
Sıcak	Yamuk	20:22:40:40

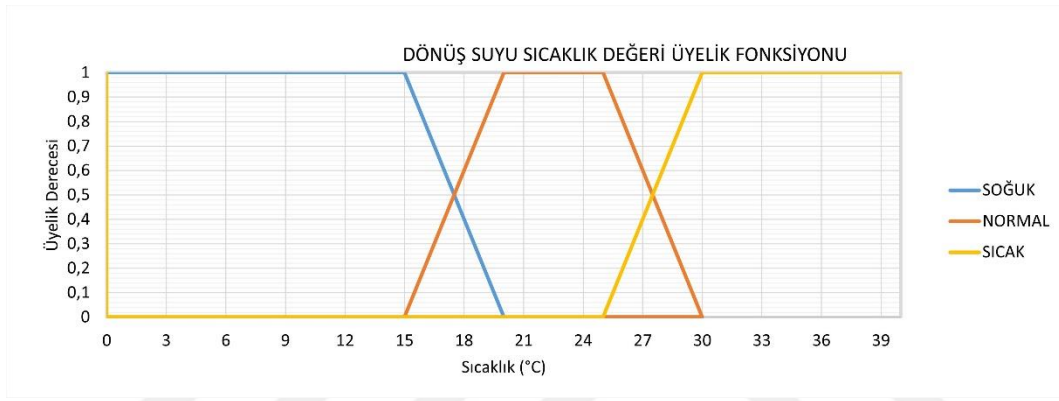
**Şekil 3.4** Dış ortam sıcaklık değeri üyelik fonksiyonu (DO)

$$\begin{aligned}
\mu_{soğuk}(x) &= \begin{cases} 0 < x \leq 14 ; 1 \\ 14 < x < 16 ; (16-x)/2 \\ x \geq 16 ; 0 \end{cases} \\
\mu_{normal}(x) &= \begin{cases} 14 < x \leq 16 ; (x-14)/2; \\ 16 < x \leq 17 ; 1 \\ 17 < x < 19 ; (19-x)/2 \end{cases} \\
\mu_{ılık}(x) &= \begin{cases} 17 < x \leq 19 ; (x-17)/2; \\ 19 < x \leq 20 ; 1 \\ 20 < x < 22 ; (22-x)/2 \end{cases} \\
\mu_{sıcak}(x) &= \begin{cases} 20 < x \leq 22 ; (x-20)/2; \\ 22 < x \leq 40 ; 1 \end{cases}
\end{aligned} \tag{3.2}$$

Dönüş suyu sıcaklık değeri üyelik fonksiyonu bulanıklaştırma işlemi detayları Tablo 3.3'te, Şekil 3.5'te ve (3.3) eşitliğinde gösterilmiştir.

Tablo 3.3 Dönüş suyu sıcaklık değeri üyelik fonksiyonu (DS)

Üyelik Fonksiyonu	Tipi	Değerler (°C)
Soğuk	Yamuk	0:0:15:20
Normal	Yamuk	15:20:25:30
Sıcak	Yamuk	25:30:40:40



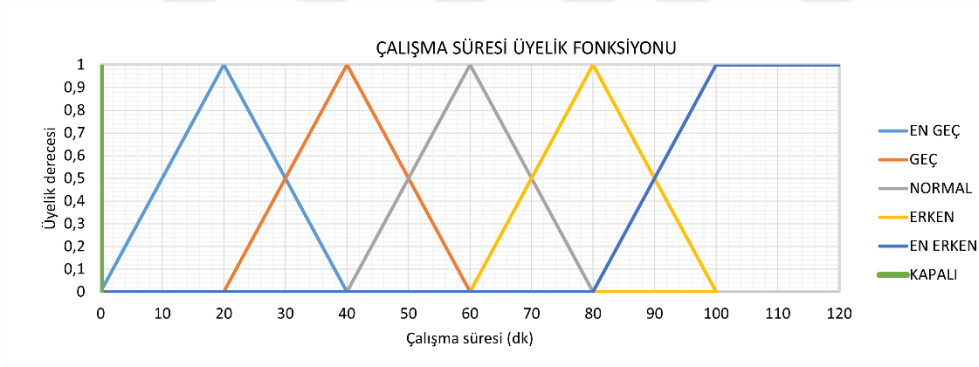
Şekil 3.5 Dönüş suyu sıcaklık değeri üyelik fonksiyonu (DS)

$$\begin{aligned}\mu_{soğuk}(x) &= \begin{cases} 0 < x \leq 15 ; 1 \\ 15 < x < 20 ; (20-x)/5 \\ x \geq 20 ; 0 \end{cases} \\ \mu_{normal}(x) &= \begin{cases} 15 < x \leq 20 ; (x-15)/5 \\ 20 < x \leq 25 ; 1 \\ 25 < x < 30 ; (30-x)/5 \end{cases} \\ \mu_{sıcak}(x) &= \begin{cases} 25 < x \leq 30 ; (x-25)/5 \\ 30 < x \leq 40 ; 1 \end{cases}\end{aligned}\quad (3.3)$$

Çalışma süresi üyelik fonksiyonu bulanıklaştırma işlemi detayları Tablo 3.4'te, Şekil 3.6'da ve (3.4) eşitliğinde gösterilmiştir.

Tablo 3.4 Çalışma süresi üyelik fonksiyonu (ÇS)

Üyelik Fonksiyonu	Tipi	Değerler (dk)
Kapalı	Tek Çizgi	0
En geç	Üçgen	0:20:40
Geç	Üçgen	20:40:60
Normal	Üçgen	40:60:80
Erken	Üçgen	60:80:100
En Erken	Yamuk	80:100:120:120



Şekil 3.6 Çalışma süresi üyelik fonksiyonu (ÇS)

$$\begin{aligned}
\mu_{enge\check{c}}(x) &= \begin{cases} 0 < x < 20 & ;(x-0)/20; \\ 20 < x < 40 & ;(40-x)/20 \end{cases} \\
\mu_{ge\check{c}}(x) &= \begin{cases} 20 < x < 40 & ;(x-20)/20; \\ 40 < x < 60 & ;(60-x)/20 \end{cases} \\
\mu_{normal}(x) &= \begin{cases} 40 < x < 60 & ;(x-40)/20; \\ 60 < x < 80 & ;(80-x)/20 \end{cases} \\
\mu_{erken}(x) &= \begin{cases} 60 < x < 80 & ;(x-60)/20; \\ 80 < x < 100 & ;(100-x)/20 \end{cases} \\
\mu_{enerken}(x) &= \begin{cases} 80 < x < 100 & ;(x-80)/20; \\ 100 \leq x & ;1; \end{cases} \\
\mu_{kapalı}(x) &= \{x;0\}
\end{aligned} \tag{3.4}$$

3.2.3 Bulanık Mantık Kural Tabanı ve Çıkarım Mekanizması

Bir bulanık sistem tasarlanmasına karar verildikten sonra ilk yapılacak işlem, EĞER, O HALDE kurallar tablosunu elde etmektir. Bu kurallar, genelde uzman bilgilerinden yararlanılarak oluşturulur. Kurallar oluşturulurken giriş parametreleri birbirlerine AND kapısı ile bağlanmıştır. Her bir kuralın çıkışına ait üyelik fonksiyonunun üyelik derecesi “AND” bağlacı kullanıldığı için girişlerin üyelik derecesi minimum olanı alınarak hesaplanmıştır. Giriş parametrelerinin üyelik fonksiyonlarının sayılarına bağlı olarak kural adeti değişmektedir. Cami içi sıcaklık 4, dış ortam sıcaklık 4 ve dönüş suyu sıcaklık 3 üyelik fonksiyonu olmak üzere bu sayıların çarpımından çıkan sonuç olarak 48 adet kural oluşturulmuştur. Tablo 3.5’te ve 3.6’da kural tabloları gösterilmiştir.

Tablo 3.5 Isıtma modu kural tablosu

No	CI	DO	DS	ÇS
1	Soğuk	Soğuk	Soğuk	En Erken
2	Soğuk	Soğuk	Normal	En Erken
3	Soğuk	Soğuk	Sıcak	En Erken

Tablo 3.5 Isıtma modu kural tablosu (devamı)

4	Soğuk	Normal	Soğuk	En Erken
5	Soğuk	Normal	Normal	En Erken
6	Soğuk	Normal	Sıcak	Erken
7	Soğuk	Ilık	Soğuk	En Erken
8	Soğuk	Ilık	Normal	Erken
9	Soğuk	Ilık	Sıcak	Erken
10	Soğuk	Sıcak	Soğuk	Erken
11	Soğuk	Sıcak	Normal	Erken
12	Soğuk	Sıcak	Sıcak	Erken
13	Konfor	Soğuk	Soğuk	Erken
14	Konfor	Soğuk	Normal	Erken
15	Konfor	Soğuk	Sıcak	Erken
16	Konfor	Normal	Soğuk	Normal
17	Konfor	Normal	Normal	Normal
18	Konfor	Normal	Sıcak	Geç
19	Konfor	Ilık	Soğuk	Normal
20	Konfor	Ilık	Normal	Geç
21	Konfor	Ilık	Sıcak	En Geç
22	Konfor	Sıcak	Soğuk	Geç
23	Konfor	Sıcak	Normal	En Geç

Tablo 3.5 Isıtma modu kural tablosu (devamı)

32	Ilık	Ilık	Normal	En Geç
33	Ilık	Ilık	Sıcak	Kapalı
34	Ilık	Sıcak	Soğuk	En Geç
35	Ilık	Sıcak	Normal	En Geç
36	Ilık	Sıcak	Sıcak	Kapalı
37	Sıcak	Soğuk	Soğuk	Normal
38	Sıcak	Soğuk	Normal	Normal
39	Sıcak	Soğuk	Sıcak	Geç
40	Sıcak	Normal	Soğuk	Geç
41	Sıcak	Normal	Normal	En Geç
42	Sıcak	Normal	Sıcak	Kapalı
43	Sıcak	Ilık	Soğuk	En geç
44	Sıcak	Ilık	Normal	Kapalı
45	Sıcak	Ilık	Sıcak	Kapalı
46	Sıcak	Sıcak	Soğuk	En Geç
47	Sıcak	Sıcak	Normal	Kapalı
48	Sıcak	Sıcak	Sıcak	Kapalı

Tablo 3.6 Soğutma modu kural tablosu

No	CI	DO	DS	ÇS
1	Sıcak	Sıcak	Soğuk	Geç
2	Sıcak	Sıcak	Normal	Normal
3	Sıcak	Sıcak	Sıcak	Erken
4	Sıcak	Ilık	Soğuk	En Geç
5	Sıcak	Ilık	Normal	Geç
6	Sıcak	Ilık	Sıcak	Normal

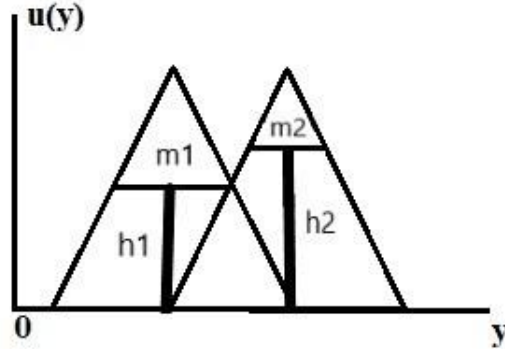
Soğutma modu ile ısıtma modu arasında seçim bir anahtar üzerinden yapılarak aktifleştirilir. Soğutma modunda sistem yukarıda belirtilen kurallar tablosu ve yaz aylarının başlamasıyla aktifleştirilir.

Kural tablosu oluşturulduktan sonra sistemin girdilerine göre aktif olan kuralların çıktılarına ait üyelik dereceleri atamaları AND bağlacı kullanıldığı için minimum değere sahip girdi değerinin üyelik derecesine göre yapılır. Aktif olan kuralların tamamı yani üyelik derecesi 0'dan büyük olan kurallar birleştirilerek durulaştırma işlemine tabi tutulur.

3.2.4 Durulaştırma

Pek çok farklı durulaştırma yöntemi mevcut olup Ağırlıklı Plato Ortalama Metodu (Weighted Plateau Average Method-WPA) metodunda tüm çıkış üyelik fonksiyonların platolarının (core) orta noktaları ağırlıklandırılır. Bu ağırlıklar, ya her bir platonun yüksekliği(h) ya da üyelik fonksiyonun üyelik dereceleridir. PLC ile yapılacak olan bu uygulamada WPA (Weighted Plateau Average Method) yöntemi durulama işleminde kullanılmıştır [30] Aktif olan tüm kuralların bulanık değerleri ve üyelik dereceleri kullanılarak durulaştırma yapılmaktadır. Durulaştırma yöntemine ait grafik Şekil 3.7'de gösterilmiştir.

$$WPA = \frac{\sum_{i=1}^n m_i \times h_i}{\sum_{i=1}^n h_i} \quad (3.5)$$



Şekil 3.7 Ağırlıklı Plato Ortalama Metodu (WPA)

3.3 PLC Programlama

Bulanık kontrol sistemin PLC programına entegrasyonu yapılırken aşağıdaki adımlar takip edilmiştir.

- I. Giriş sinyalleri ölçeklendirildi.
- II. Girdiler üyelik fonksiyonlarına göre atandı ve üyelik dereceleri hesaplandı.
- III. Bulanık kural tabanına göre çıkarım motoru çalıştırıldı ve aktif olan kurallar tespit edildi.
- IV. Aktif olan kuralların üyelik fonksiyonlarına ve üyelik derecelerine göre çıktılar elde edildi.
- V. Elde edilen çıktılar durulama işlemine tabi tutuldu.
- VI. Çıktı sinyali ölçeklendirildi ve algorithmada ilgili yere kontrol değeri olarak gönderildi.

PLC ile programlama yaparken farklı programlama dillerinden yararlanıldı. PLC programlamada genellikle Ladder Logic (Merdiven Diyagramı), Function Block Diagram (Fonksiyon Blok Diyagramı), Structured Text (Yapılandırılmış Metin), Instruction List (Komut Listesi), Sequential Function Chart (SFC) ve C diline benzer programlama dilleri kullanılmakta olup bu çalışma kapsamında matematiksel işlemler için genellikle C programlama dili kullanılmış olup atama ve karşılaştırma işlemlerinin bir kısmında merdiven diyagramından yararlanılmıştır [31].

3.3.1 Giriş Parametrelerinin Bulanıklaştırılma İşlemi

PLC analog giriş modülündeki sıcaklık değerlerinin ham verisi ölçeklendirildikten sonra giriş değerleri için bulanıklaştırma işlemi yapılmıştır. Bulanıklaştırma işleminde tüm giriş parametrelerinin üyelik fonksiyonlarına ait eşitlik referans alınarak PLC kodu yazılmıştır. Yapılan kodlamalarla alakalı detaylı bilgiler Ek A'da verilmiştir.

3.3.2 Bulanık Kural Çıkarım Mekanizmasının Oluşturulması

Bulanık kural tabanında belirtilen kurallara göre gerekli PLC programı yazılarak elde edilen bulanık girdiler bu mekanizma içerisinde değerlendirilerek kuralların hangilerinin aktif olup olmadığının kontrolü gerçekleşir.

Kural tablosunun işletilmesi için oluşturulan PLC programı ile ilgili kapsamlı bilgi Ek A'da verilmiştir. Her bir kural için bir üyelik derecesi oluşturulmuştur. Üyelik derecesi 0 ise o kurallar aktif olmamış, üyelik derecesi sıfırdan farklı ise o kural aktif olmuş anlamına gelmektedir.

Tablo 3.5 ve 3.6'da yer alan kural tablosuna göre bütün kurallar için benzer Şekilde kod yazılarak o kuralın aktif olup olmadığı ve üyelik derecesi belirlenir.

3.3.3 Durulaştırma İşlemi

Tablo 3.5 ve 3.6'da kural tablolarında yer alan bulanık çıktıların hangilerinin hangi kurallar sonucunda tetiklendiği bilinmektedir. Bunlar dikkate alınarak o bulanık çıktılar için aşağıdaki gruplama yapılabilir. Aynı çalışma süresi üyelik fonksiyonun tetikleyen kurallar aşağıdaki gibi gruplandırılırlar.

- EN ERKEN: 1, 2, 3, 4, 5, 7
- ERKEN: 6, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15
- NORMAL: 16, 17, 19, 25, 26, 27, 28, 37, 38
- GEÇ: 18, 20, 22, 29, 30, 31, 39, 40
- ÇOK GEÇ: 21, 23, 24, 32, 34, 35, 41, 43, 46
- KAPALI: 33, 36, 42, 44, 45, 47, 48

Durulaştırma işleminde Ağırlıklı Plato Ortalama Metodu yöntemi tercih edildiğinden tüm çıkış üyelik fonksiyonların platolarının (core) orta noktaları ağırlıklandırılır.

Üçgen tip olan üyelik fonksiyonlarının orta noktalarının hesaplanması başlangıç ve bitiş noktalarının toplanarak ikiye bölünür.

Yamuk tip olan üyelik fonksiyonlarının orta noktalarının hesaplanması ise üçgen tipten biraz farklı olarak denklem 3.6 uygulanarak bulunur.

$$\begin{aligned} \text{Orta nokta} = & ((\text{Üyelik derecesi} * (\text{bitiş} - \text{başlangıç}) \\ & + \text{başlangıç}) + \text{bitiş})/2; \end{aligned} \quad (3.6)$$

Yamuk tip üyelik fonksiyonuna sahip “en erken” bulanık çıktısı için orta nokta değerleri denklem 3.7’ de gösterildiği Şekilde hesaplanır.

$$\begin{aligned} \text{ORTALAMA_KURAL_1_U} &= (((\text{KURAL_1_U} * 20/100) + 80) + 120)/2 \\ \text{ORTALAMA_KURAL_2_U} &= (((\text{KURAL_2_U} * 20/100) + 80) + 120)/2 \\ \text{ORTALAMA_KURAL_3_U} &= (((\text{KURAL_3_U} * 20/100) + 80) + 120)/2 \\ \text{ORTALAMA_KURAL_4_U} &= (((\text{KURAL_4_U} * 20/100) + 80) + 120)/2 \\ \text{ORTALAMA_KURAL_5_U} &= (((\text{KURAL_5_U} * 20/100) + 80) + 120)/2 \\ \text{ORTALAMA_KURAL_7_U} &= (((\text{KURAL_7_U} * 20/100) + 80) + 120)/2 \end{aligned} \quad (3.7)$$

Üçgen tip üyelik fonksiyonuna sahip “erken, normal, geç, çok geç” bulanık çıktıları için başlangıç ve bitiş noktaları toplanıp ikiye bölünerek orta noktalar hesaplanır.

Bu hesaplama göre ;

- Erken ; Başlangıç(60), Bitiş (100), Orta(80)
- Normal ; Başlangıç(40), Bitiş (80), Orta(60)
- Geç ; Başlangıç(20), Bitiş (60), Orta(40)
- Çokgeç ; Başlangıç(0), Bitiş (40), Orta(20)

olarak bulunur.

Durulaştırma işleminde hesaplanan orta noktaların ağırlık değerlerini üyelik dereceleri ile çarpıp topladıktan sonra elde edilen toplam değeri, tüm üyelik fonksiyonlarının üyelik derecelerinin toplamına bölerek durulaştırılmış değer bulunur. Kapalı üyelik fonksiyonun etkisi 0 olduğu için formüle dahil edilmemiştir.

Bu işlemler için PLC’de yapılan işlemler denklem 3.8, 3.9 ve 3.10’da gösterilmiştir.

Denklem 3.8’de kuralların ağırlıklarının toplamaları bulunur.

$$\begin{aligned} \text{TOPLAM_DEGER} = & (\text{ORTALAMA_KURAL_1_U} * \text{KURAL_1_U}) + (\text{ORTALA} \\ & \text{MA_KURAL_2_U} * \text{KURAL_2_U}) + (\text{ORTALAMA_KURAL_3_U} * \text{KURAL_3_U} \\ &) + (\text{ORTALAMA_KURAL_4_U} * \text{KURAL_4_U}) + (\text{ORTALAMA_KURAL_5_U} \\ & * \text{KURAL_5_U}) + (\text{ORTALAMA_KURAL_7_U} * \text{KURAL_7_U}) + (80 * (\text{KURAL} \\ & \text{_6_U} + \text{KURAL_8_U} + \text{KURAL_9_U} + \text{KURAL_10_U} + \text{KURAL_11_U} + \text{KURA} \\ & \text{L_12_U} + \text{KURAL_13_U} + \text{KURAL_14_U} + \text{KURAL_15_U})) + (60 * (\text{KURAL_} \\ & \text{16_U} + \text{KURAL_17_U} + \text{KURAL_19_U} + \text{KURAL_25_U} + \text{KURAL_26_U} + \text{KU} \quad (3.8) \\ & \text{RAL_27_U} + \text{KURAL_28_U} + \text{KURAL_37_U} + \text{KURAL_38_U})) + (40 * (\text{KURA} \\ & \text{L_18_U} + \text{KURAL_20_U} + \text{KURAL_22_U} + \text{KURAL_29_U} + \text{KURAL_30_U} \\ & + \text{KURAL_31_U} \quad + \text{KURAL_39_U} \\ & + \text{KURAL_40_U})) + (20 * (\text{KURAL_21_U} + \text{KURAL_23_U} + \text{KURAL_24_U} + \text{K} \\ & \text{URAL_32_U} + \text{KURAL_34_U} + \text{KURAL_35_U} + \text{KURAL_41_U} + \text{KURAL_43_} \\ & \text{U} + \text{KURAL_46_U})) + (0 * (\text{KURAL_33_U})); \end{aligned}$$

Her bir kuralın üyelik derecesi denklem 3.9’da toplanır.

$$\begin{aligned} \text{TOPLAM_KURAL_DEGERLERI} = & \text{KURAL_1_U} + \text{KURAL_2_U} + \text{KURAL_3_} \\ & \text{U} + \text{KURAL_4_U} + \text{KURAL_5_U} + \text{KURAL_6_U} + \text{KURAL_7_U} + \text{KURAL_8_U} \\ & + \text{KURAL_9_U} + \text{KURAL_10_U} + \text{KURAL_11_U} + \text{KURAL_12_U} + \text{KURAL_1} \\ & \text{3_U} + \text{KURAL_14_U} + \text{KURAL_15_U} + \text{KURAL_16_U} + \text{KURAL_17_U} + \text{KUR} \\ & \text{AL_18_U} + \text{KURAL_19_U} + \text{KURAL_20_U} + \text{KURAL_21_U} + \text{KURAL_22_U} + \\ & \text{KURAL_23_U} + \text{KURAL_24_U} + \text{KURAL_25_U} + \text{KURAL_26_U} + \text{KURAL_27} \quad (3.9) \\ & \text{_U} + \text{KURAL_28_U} + \text{KURAL_29_U} + \text{KURAL_30_U} + \text{KURAL_31_U} + \text{KURA} \\ & \text{L_32_U} + \text{KURAL_33_U} + \text{KURAL_34_U} + \text{KURAL_35_U} + \text{KURAL_36_U} + \text{K} \\ & \text{URAL_37_U} + \text{KURAL_38_U} + \text{KURAL_39_U} + \text{KURAL_40_U} + \text{KURAL_41_} \\ & \text{U} + \text{KURAL_42_U} + \text{KURAL_43_U} + \text{KURAL_44_U} + \text{KURAL_45_U} + \text{KURAL} \\ & \text{_46_U} + \text{KURAL_47_U} + \text{KURAL_48_U}; \end{aligned}$$

Denklem 3.10’da ise durulaştırma değerin bulunması için kuralların toplam ağırlıkları kuralların üyelik derecelerinin toplamına bölünerek ortalama değeri bulunur.

$$DGS_DURU_DEGER=TOPLAM_DEGER/TOPLAM_KURAL_DEGERLERI; \quad (3.10)$$

“DGS_DURU_DEGER” değişkeni değeri sistemin namaz vaktinden ne kadar süre önce devreye gireceğini belirleyen süreyi ifade eder.

Programda ısıtma modu aktifleştirildikten sonra gerçek zaman saati ile alınan namaz vakitlerine göre namaz başlangıç zamanından “DGS_DURU_DEGER” değişkenin değeri kadar önce sirkülasyon pompası devreye sokulur. Namaz vakti girdikten sonra da sabit belirlenen bir süre kadar pompa çalışmaya devam eder.

Bulanık mantık kontrolü ile PLC kullanılarak yapılan kontrol sisteminde farklı sıcaklık değerlerine göre hesaplanan çalışma süreleri tablo 3.7’de gösterilmiştir.

Tablo 3.7 Bulanık mantık tabanlı kontrol sistemi çalışma süreleri

No	CI (°C)	DO (°C)	DS (°C)	ÇS (dk)
1	16,2	14,1	29,4	76
2	16,2	15,1	29,5	60
3	16	9,2	32,1	80
4	15	11,9	29,4	107
5	16,3	16,1	29,7	41

3.3.4 Verilerin Kayıt Edilmesi ve İzlenmesi

PLC’de çalışan bulanık tabanlı kontrol programı anlık değişen sıcaklık değerlerine göre sürekli olarak çalışma süresini hesaplamaktadır. Anlık sıcaklık değerleri ve çalışma süresi gerçek zaman saati verisi ile ilişkilendirilerek PLC’den veri toplama modülüne modbus TCP haberleşme protokolü ile gönderilir. Veri toplama modülü internet üzerinden bu verileri kendi özel bulut veri tabanında saklamakta ve bunları birer dakikalık periyotlarla arşivlemektedir. Aynı zamanda internet sitesi üzerinden sistem anlık takip edilebilmektedir.

3.4 Uygulama ve Değerlendirme

Bulanık mantık tabanlı kontrol yapısı oluşturulduktan sonra PLC kullanılarak yapılan otomasyon sistemi gerekli saha çalışmaları yapıldıktan sonra sistem 2023 Şubat ayının başlangıcında devreye alınmıştır. Isı pompaları aktifleştirilerek gerekli çalışma şartları hazırlanmıştır. Vanaların, boruların ve kolektörlerin ayarlamaları yapıldıktan sonra sistem manuel olarak test edilmiştir ve düzgün çalıştığı gözlemlendikten sonra sistem ısıtma modunda otomatik olarak çalıştırılmaya başlanmıştır.

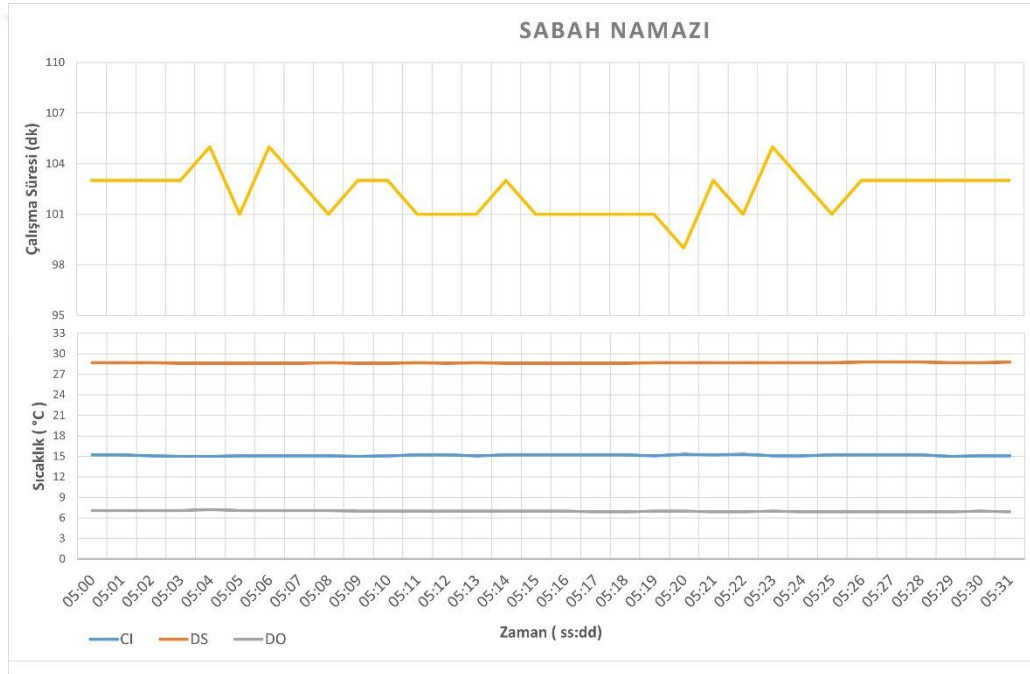
PLC tabanlı bulanık mantık kontrol yapısı ile çalışan sistem herhangi bir dışarıdan müdahaleye ihtiyaç duymaksızın namaz vakitlerini de otomatik olarak güncelleyerek sirkülasyon pompasını namaz vakitlerine göre çalıştırmaktadır.

Şekil 3.8’de 2023 Şubat ayı içerisinde sabah namazı vaktinden önce dış ortam sıcaklığı altı °C, iç ortam sıcaklığı 15 °C civarında iken sistem ortalama çalışma süresini 100 dakika civarında ayarlayarak namaz vaktinden önce sistemi çalıştırmıştır. Aynı günün öğle saatlerine doğru Şekil 3.9’da görüldüğü üzere iç ortam sıcaklığı 15 °C iken dış ortam sıcaklığı 15 °C’ye kadar yükseldiği için sistem çalışma süresini 80 dakika ile 45 dakika arasında ayarlayarak öğle namazı vaktinden önce sistemi çalıştırmıştır. İkinci namazına ilişkin sonuçlar Şekil 3.10’da belirtilmiş olup, dış ortam sıcaklığının ve dönüş suyu sıcaklığının öğle namazına göre biraz daha artmasına bağlı olarak çalışma süresi 60 dakika civarına kadar düşmüştür. Şekil 3.11’de akşam namazı, Şekil 3.12’de yatsı namazına ilişkin sonuçlar verilmiş olup dış ortam sıcaklığının düşmesi ile çalışma süresi 80 dakika

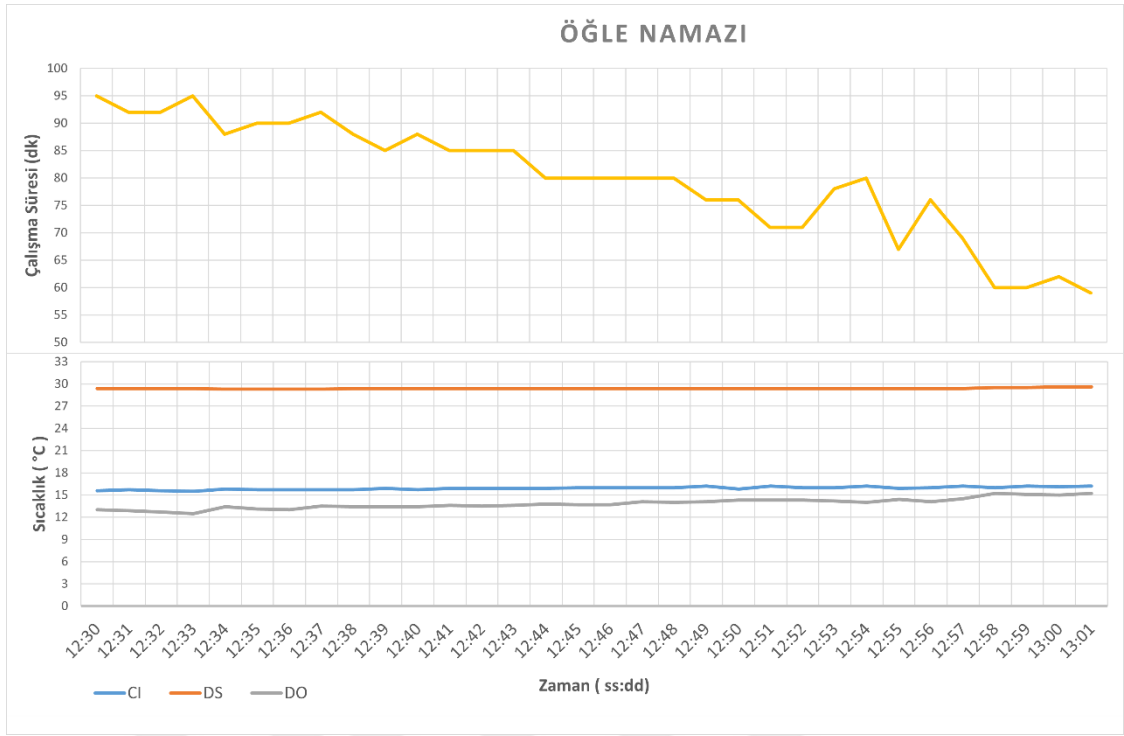
olarak ayarlanmıştır. Akşam ve yatsı namaz araları birbirine çok yakın olduğu için grafiklerden değerlerin birbirine yakın olduğu görülmüştür.

Şekil 3.13'te 2023 Mart ayı içerisinde akşam namazı vakti öncesinde dış ortam sıcaklığı yedi °C civarında iç ortam sıcaklığı 16 °C civarında iken çalışma süresi ortalama 80 dakika civarında ayarlanarak akşam namazından önce sistem çalıştırılmış ve dönüş suyu sıcaklığı 32 °C civarına ulaşmıştır.

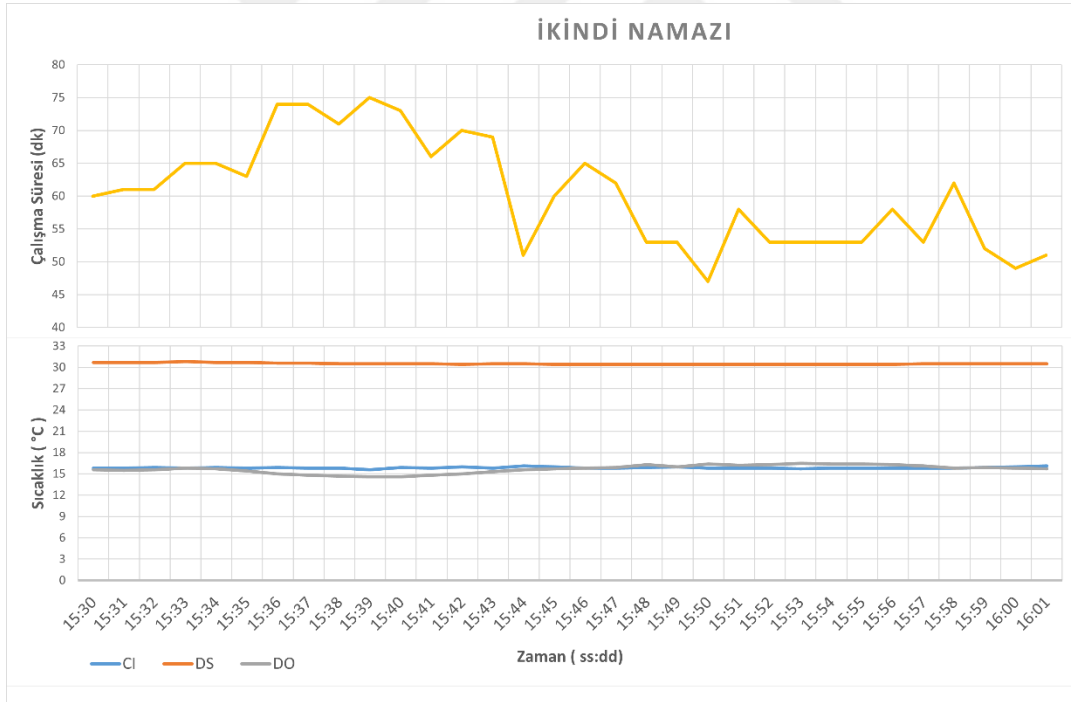
Kış ayları içerisinde günlük sıcaklık değişimlerine göre çalışma sürelerinde sağlanan bu düşüş ile sistem gereksiz yere çalışmadığı için enerji tasarrufunun sağlandığı görülmüştür. Bu tasarruf sağlanırken sistem ısıtma ihtiyacını yeterli düzeyde karşılamaya devam etmiştir.



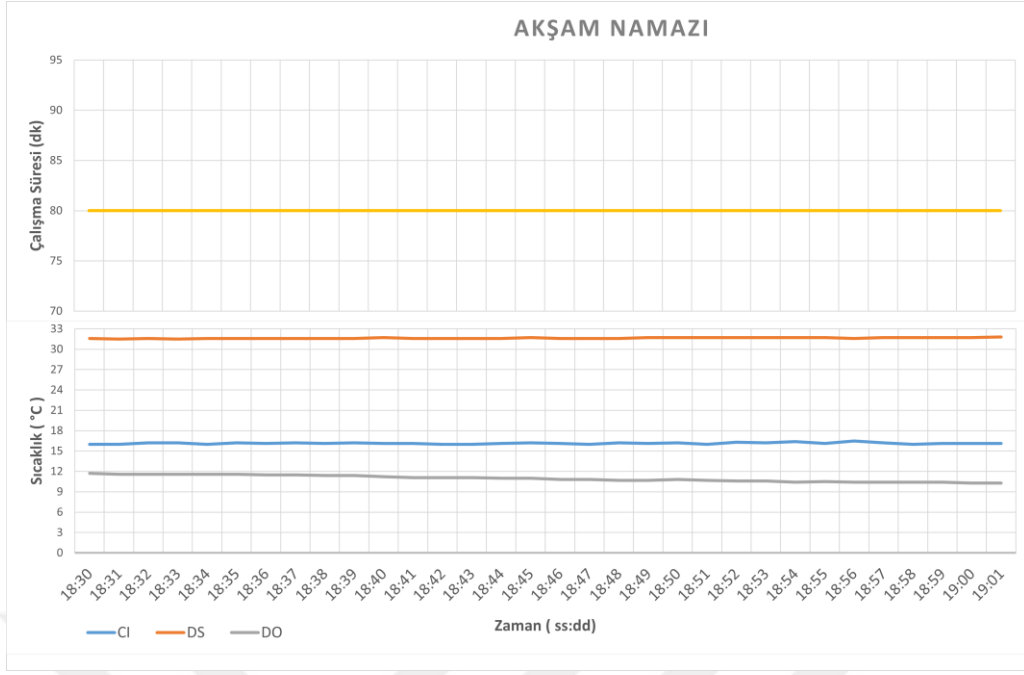
Şekil 3.8 22.Şubat.2023 sabah namazı grafiği



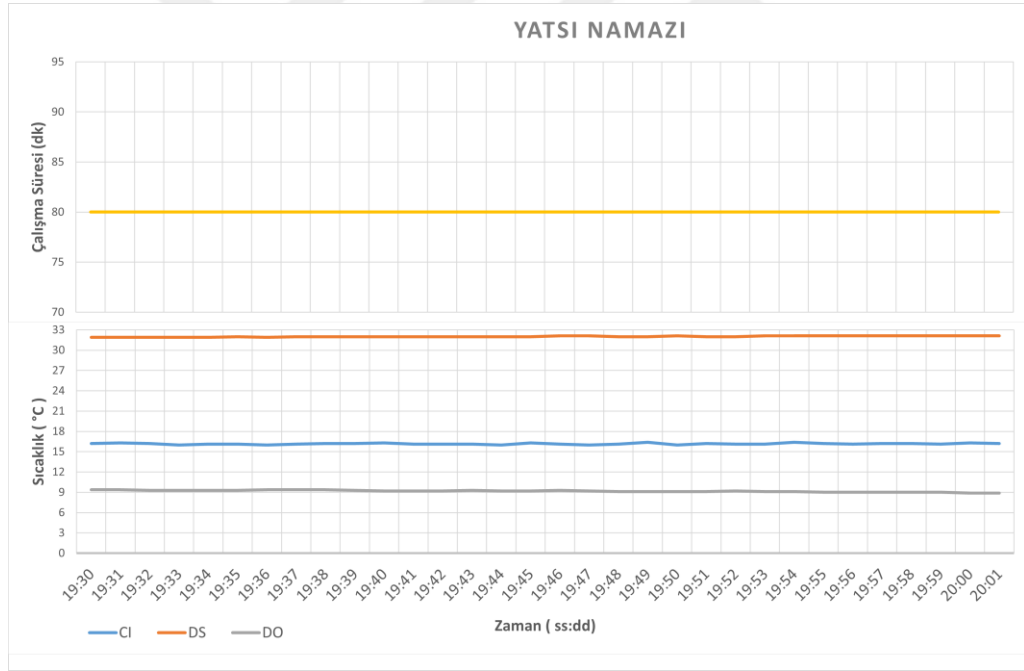
Şekil 3.9 22.Şubat.2023 öğle namazı grafiği



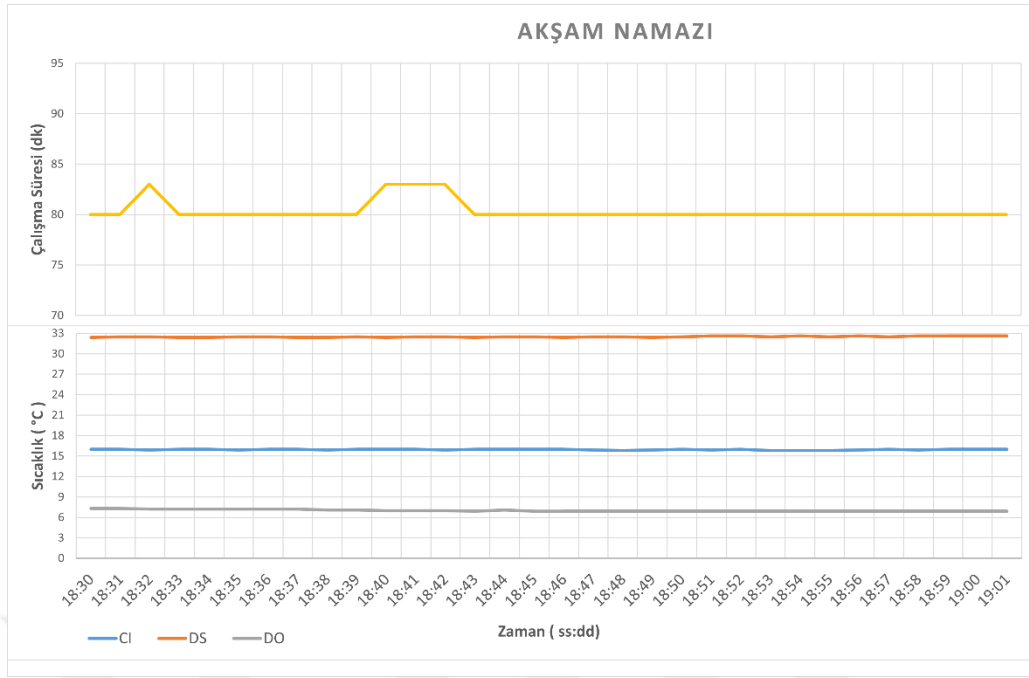
Şekil 3.10 22.Şubat.2023 ikindi namazı grafiği



Şekil 3.11 22.Şubat.2023 akşam namazı grafiği



Şekil 3.12 22.Şubat.2023 yatsı namazı grafiği



Şekil 3.13 14.Mart.2023 akşam namazı grafiği

Bu tarz sistemlerin klasik otomasyon sistemleriyle kontrol edilebilmesi için namaz vakitlerinden ne kadar süre önce çalışacağını belirleyen bir ayar süresi girilmesi gerekmektedir veya kullanıcı tarafından açma kapamanın yapılması gerekmektedir. Camide kontrol sistemi olmadan önce hava sıcaklığına bağlı olarak ısıtma sistemi görevliler tarafından namaz vakitlerinden yaklaşık iki saat önce veya sabah ile yatsı namazı arasında sürekli olarak çalıştırılıyordu.

Isıtma ve soğutma sistemlerinin dinamik yapılarından dolayı bu sistemlerin kontrolünde giriş parametrelerinin sadece sayısal değerlerinin referans alınması yeterli olmamaktadır. Giriş parametrelerinin birbirleriyle olan ilişkisini dikkate almadan bir kontrol sistemi tasarlamak hem çok zor hem de verimsiz olacaktır. Bulanık mantık tabanlı kontrol sisteminde cami içi sıcaklık, dış ortam sıcaklık ve dönüş suyu sıcaklık değerlerinin birbirleriyle olan ilişkisine ve değerlerine göre sistemin ısıtma ihtiyacını belirlemesi ve ona göre sistemi çalıştırması sağlanmıştır. Geliştirilen kontrol sistemiyle herhangi bir müdahaleye ihtiyaç duymadan sistemin çalışması sağlanmıştır. Enerji tasarruf hesabı denklem 3.11’de belirtilmiştir.

$$\text{Enerji Tasarrufu(\%)} = (570 - \text{TOPLAM ÇALIŞMA SÜRESİ}) / 570; \quad (3.11)$$

Kontrol sistemi kurulmadan önce ısıtma sisteminin genellikle namaz vakitlerinden iki saat önce sabit süre ayarı ile çalıştırılmasının yeterli olduğu düşünülüyordu. Bu veriye istinaden kontrol sistemi kurulduktan sonra otomatik hesaplanan çalışma süresi ile sabit çalışma süresi arasındaki ilişkiye göre enerji tasarruf oranı hesaplanmıştır. Günde beş vakit namaz üzerinden çalışma süreleri dikkate alınmıştır. Akşam namazı ile yatsı namazı arasındaki zaman farkı kış aylarında İstanbul’da ortalama 90 dakika civarında olduğundan kontrol sistemi kurulmadan önce sistemin toplam çalışma süresi 570 dakika olarak alınmıştır. Bu hesaplama ait matematiksel işlem denklem 3.11’de gösterilmiştir. Denklemden ifade edilen “TOPLAM ÇALIŞMA SÜRESİ” kontrol sistemi kurulduktan sonra elde edilen toplam çalışma süresidir.

Isıtma moduyla ilgili çalışmalar şubat ayından itibaren yapılmıştır. Gün içerisinde değişen hava sıcaklığına bağlı olarak bazı namaz vakitlerinde sistemin normalden ortalama 20 dakika daha az süreyle çalıştığı görülmüştür. Hava sıcaklığının nispeten yüksek olduğu günlerde ise sistem sürekli olarak normalden daha az süreyle çalışmış hatta kış aylarında dahi namaz vaktinden 40 dakika öncesine kadar çalışma sürelerinin düştüğü gözlemlenmiştir. Günlük toplam çalışma sürelerinin genellikle ortalama 425 ile 510 dakika arasında olmasına istinaden sistemin aktif çalışma esnasında gereksiz çalışmayı önleyerek %10 ile %25 arasında bir enerji tasarrufu sağladığı görülmüştür. Isıtma modunda enerji tasarrufu sağladığını doğrulayan bulanık mantık tabanlı kontrol sistemi soğutma modunda da aynı performansı gösterecektir.

4.1 Sonuçlar

Bu çalışmada bir caminin radyant ısıtma ve soğutma sistemi PLC kullanılarak bulanık mantık tabanlı kontrolü gerçekleştirilmiştir. Cami içi sıcaklık, dış ortam sıcaklık ve dönüş suyu sıcaklık bilgilerinin birbirleriyle olan ilişkileri dikkate alınarak bir kural tabanı oluşturulmuştur. Uzman bilgisinde dayanarak oluşturulan kural tabanında aktif olan kuralların ağırlıklı ortalamaları alınarak sirkülasyon pompasının namaz vakitlerinden önceki çalışma süresi belirlenmiştir.

Sistemin donanımında mevcut altyapı kullanılmış, ilave PT1000 sıcaklık sensörleri eklenmiş ve gerekli kumanda panoları kullanılmıştır. PLC panosunda sıcaklık modülü üzerinden veriler toplanarak anlık izleme ve kayıt işlemleri için internet üzerinden bulutta yer alan veri tabanına aktarılmıştır. PLC programlamada genellikle C dili kullanılmış olup, kısmi olarak merdiven diyagramları da kullanılmıştır.

Kurulan otomasyon sistemi ile radyant ısıtma ve soğutma sisteminin çalıştırılması için bulanık mantık tabanlı kontrol mekanizması geliştirilmiştir. Bu mekanizmada insan karar verme mekanizması taklit edilmiş olup aynı anda birden çok parametreye bağlı olarak sistem çalıştırılmıştır. Giriş parametreleri olarak kullanılan cami iç sıcaklığı, dış ortam sıcaklığı, boru dönüş suyu sıcaklığı üyelik dereceleri “VE” bağlaçları ile bağlanarak toplamda 48 adet ısıtma kuralı ve altı adet soğutma kuralı oluşturulmuştur. Aktif olan kuralların ağırlıklı ortalamaları alınarak elde edilen çalışma süresi sirkülasyon pompasının namaz vakitlerinden önceki çalışma süresi olarak kullanılmıştır. PLC’nin dahili özelliklerinde bulunan namaz vakit bilgilerine göre çalışma süresi referans alınarak sirkülasyon pompasının açma kapama işlemi gerçekleştirilmiştir. Kontrol mekanizmasının yönetimi ve tüm birimler arasındaki haberleşme merkezi işlem birimi olan PLC tarafından yapılmaktadır.

Isıtma ve soğutma sistemleri için kurulan konvansiyonel kontrol sistemleri genellikle sabit süreye göre veya kişiye bağlı olarak çalışmaktadır. Geliştirilen kontrol sistemi ile bu çalışma şekillerinden farklı olarak aynı anda birçok parametre

veri olarak işlenmiş ve aynı zamanda birbirleriyle olan ilişkileri değerlendirilerek bir karar mekanizması modellenmiştir. Bu sayede ısıtma ve soğutma sistemi kişiden bağımsız ve değişken çevre koşullarına uyum sağlayarak enerji tasarrufu sağlayacak şekilde çalıştırılmıştır. Çalışma süresinin limitlerinin belirlenmesiyle verimli çalışmaya engel olabilecek sürekli çalışma veya sık açma kapama işlemlerinin önüne geçilmiştir. Aynı zamanda caminin namaz vakitlerinde ısıtma ihtiyacı yeterli oranda karşılanmıştır.

Kurulan sistemin sürekli kontrolü ve takibi için uzaktan izleme sistemi kurulmuştur. İnternet üzerinden erişim sağlandığı takdirde sistemin anlık verilerine erişilebilmekte ve bulutta yer alan veriler arşivlenebilmektedir. Sistem 2023 Şubat ayı başından itibaren aktif bir şekilde çalışmaya başlamış olup sonuçlar kayıt altına alınarak analiz edilmiştir.

Buna göre 2023 Şubat ayı içerisinde aynı gündeki beş farklı namaz vakitleri sonuçları dikkate alındığında kontrol sisteminin değişken sıcaklık değerlerine göre çalışma süresini ayarladığı görülmüştür. Kontrol sisteminin kurulumundan önceki çalışma şekli ile radyant ısıtma sistemi günde ortalama 570 dakika civarında çalıştırılmaktadır. 22 Şubat 2023 günü verileri dikkate alındığında kontrol mekanizmasının aktif olduğu zaman sistemin 415 dakika civarında çalıştığı görülmüştür. Bu bilgilere istinaden 2023 Şubat ayında soğuk günlerde dahi gereksiz çalışmanın önüne geçilerek sistemin %25 civarında enerji tasarrufu sağlamıştır. Sistemin en önemli özelliklerinden biri de enerji tasarrufu sağlarken soğuk hava koşullarında dahi caminin ısınma ihtiyacında bir eksiklik ortaya çıkmamıştır.

Sistemin daha sonraki bilimsel çalışmalarda kullanılabilmesi için PLC programlama açık kaynak kodlu olarak yapılmıştır. Bu kontrol mekanizması ile bulanık mantık veya PID kontrole ilişkin çalışmalar yapılabilmektedir.

4.2 Öneriler

Kurulan endüstriyel otomasyon sistemine sensörler yolu ile daha fazla veri alınarak sistem ile alakalı daha geniş yelpazede bilgiler edinilebilir. Gidiş suyu sıcaklığı ve dönüş suyu sıcaklığı bilgileri ile aynı hatlardaki akış bilgileri eşleştirildiği takdirde sistemin ısı transferi hakkında daha detaylı bilgiye sahip olunabilir. İç ve dış ortama yerleştirilen sıcaklık sensörlerinin sayıları arttırılarak birden fazla noktadan sıcaklık ölçümleri yapılabilir.

Isı pompaları, kazanlar, termal enerji depolama sistemi ve kolektör arasında bulunan manuel vanalar otomatik vanalar ile değiştirilerek sistemde yer alan tüm ekipmanların kontrolü otomatikleştirilebilir. Bu sayede ısı pompalarından, termal enerji depolama sistemine veya cami zemininde gömülü borulara ısı transferi sağlanması amacıyla hat üzerindeki gerekli vanaların ve pompaların çalışması otomatik olarak gerçekleştirilebilir.

Bununla birlikte cami gibi kesikli enerji tüketen yapıların tüm ısıtma ve soğutma sistemlerinin tek merkezden kontrol edilecek bir yapıda olması optimum enerji tüketimi açısından önemlidir. Bunu sağlamak amacıyla cami içi ortam sıcaklık değeri, nem değeri, CO₂ seviyesi vb. değerler de dikkate alınarak ortam sıcaklığını kontrol eden havalandırma sistemleri vb. yapılar ile yerden ısıtma sistemi koordineli çalışabilir. Ayrıca makine öğrenmesi yöntemi ile de cami yoğunluk bilgileri de kullanılarak daha efektif kontrol sistemleri geliştirilebilir.

- [1] L.A. Zadeh, "Fuzzy Sets", *Information and Control*, vol. 8, pp. 338-353, 1965.
- [2] Buildings A source of enormous untapped efficiency potential. <https://www.iea.org/topics/buildings> , Erişim tarihi: 10.03.2023.
- [3] A. Attia, S. F. Rezekâ and A. M. Saleh, " Fuzzy logic control of air-conditioning system in residential buildings", *Alexandria Engineering Journal*, vol. 54, Issue 3, pp. 395-403, 2015.
- [4] I. Budaiwi and A. Abdou, " HVAC system operational strategies for reduced energy consumption in buildings with intermittent occupancy: The case of mosques", *Energy Conversion and Management*, vol. 73, pp. 37-50, 2013.
- [5] M. Krzaczek, J. Florczuk and J. Tejchman, "Improved energy management technique in pipe-embedded wall heating/ cooling system in residential buildings", vol. 254, 2019, doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.113711.
- [6] G. Ulpiani, M. Borgognoni, A. Romagnoli and C. D. Perna, "Comparing the performance of on/off, PID and fuzzy controllers applied to the heating system of an energy-efficient building", *Energy and Buildings*, vol. 116, pp. 1-17, 2016.
- [7] C. Hu, R. Xu and X. Meng, "A systemic review to improve the intermittent operation efficiency of air-conditioning and heating system", *Journal of Building Engineering*, vol. 60, 2022, doi.org/10.1016/j.jobee.2022.105136.
- [8] E. Tunçbilek, M. Arıcı, M. Krajčák, S. Nižetić and H. Karabay," Thermal performance-based optimization of an office wall containing PCM under intermittent cooling operation", *Applied Thermal Engineering*, vol. 179, 2020, doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2020.115750.
- [9] J. Ge, S. Li, S. Chen, X. Wang, Z. Jiang and C. Shen," Energy-efficiency strategies of residential envelope in China's Hot Summer–Cold Winter Zone based on intermittent thermal regulation behaviour", *Journal of Building Engineering*, vol. 44, 2021, doi.org/10.1016/j.jobee.2021.103028.
- [10] J. Wang, S. Liu, Z. Liu, X. Meng, C. Xu and W. Gao," An experimental comparison on regional thermal environment of the high-density enclosed building groups with retro-reflective and high-reflective coatings", *Energy and Buildings*, vol. 259, 2022, doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.111864.
- [11] F. Liu, L. Yan, X. Meng and C. Zhang, »A review on indoor green plants employed to improve indoor environment", *Journal of Building Engineering*, vol. 53, 2022, doi.org/10.1016/j.jobee.2022.104542.
- [12] S. Jacquet, C. L. Bel and D. Monfet, "In situ evaluation of thermostat setback scenarios for all-electric single-family houses in cold climate", *Energy and Buildings*, vol. 154, pp. 538-544, 2017.
- [13] J. Ling, H. Tong, J. Xing and Y. Zhao," Simulation and optimization of the operation strategy of ASHP heating system: A case study in Tianjin", *Energy and Buildings*, vol. 226, 2020, doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110349.

- [14] M. S. Kim, Y. Kim and K. S. Chung, "Improvement of intermittent central heating system of university building", *Energy and Buildings*, vol. 42, pp. 83-89, 2010.
- [15] S.H. Cho and M. Zaheer-uddin, "Predictive control of intermittently operated radiant floor heating systems", *Energy Conversion and Management*, vol. 44, Pp. 1333-1342, 2003.
- [16] M. Gwerder, J. Tödtli, B. Lehmann, V. Dorer, W. Güntensperger and F. Renggli, "Control of thermally activated building systems (TABS) in intermittent operation with pulse width modulation", *Applied Energy*, vol. 86, pp. 1606-1616, 2009.
- [17] M. F. Tosun, A. A. Gençkal and R. Şenol, "Fuzzy Logic Based Room Temperature Control with Modern Control Methods", *Süleyman Demirel University Journal of Natural and Applied Sciences*, vol. 23, pp. 992-999, 2019.
- [18] C. Ma, Y. Liu, C. Song and D. Wang, "The Intermittent Operation Control Strategy of Low-Temperature Hot-Water Floor Radiant Heating System", *Proceedings of the 8th International Symposium on Heating, Ventilation and Air Conditioning*, vol. 263, pp. 259-268, 2014.
- [19] M. Ayan and R. Şenol, "Fuzzy Logic Based - Remote Access Greenhouse Automation", *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, vol. 4 , pp. 734-746, 2016.
- [20] A. Behzadi, S. Holmberg, C. Duwig, F. Haghighat, R. Ooka and S. Sadrizadeh, "Smart design and control of thermal energy storage in low-temperature heating and high-temperature cooling systems: A comprehensive review", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 166, 2022, doi.org/10.1016/j.rser.2022.112625.
- [21] S. Yılmaz, A. Gedik and H. Dinçer, "PLC'lerde Bulanık Denetim Uygulamaları", *Endüstri Otomasyon Dergisi*, no.20, pp.78-83,1998.
- [22] U. Fidan, Ö. F. Bay, "Bulanık Mantık Tabanlı Mikrodenetleyicili Sıcaklık Denetim Sistemi", *Journal of Polytechnic*, vol. 5, no.2, pp. 111-119, 2002.
- [23] A. Tüysüzyan, "İkinci Dereceden Ölü Zamanlı Bir Sistemde Bulanık Mantık Uygulaması", *Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, 2007.
- [24] Ö. Boyacı, "Bulanık Mantık Kullanılarak PLC ile Hidrolik Pres Pistonunun Konum Kontrolü", *Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, 2015.
- [25] A. Çatka, "Bir Hidrolik Derin Çekme Pres Makinesinin PLC Tabanlı Bulanık Mantık Kontrolü", *Yüksek Lisans Tezi, Konya Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü*, 2019.
- [26] C. Karkuzu and S. Öztürk, "PLC ile Bulanık Mantık Tabanlı Hata Düzeltmeli Üç Fazlı Motor Hız Kontrolü", *Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Mühendisliği 11. Ulusal Kongresi ve Fuarı Bildiriler-1 Kitabı, İstanbul, Türkiye, 22-25 Eylül 2005*, s. 78-81.

- [27] Y. Hu, X. Xia and J. Wang, "Research on operation strategy of radiant cooling system based on intermittent operation characteristics", *Journal of Building Engineering*, vol. 45, 2022, doi.org/10.1016/j.jobbe.2021.103483.
- [28] L. Jiying, " Optimization of Control Strategies for the Radiant Floor Cooling System Combined with Displacement Ventilation: A Case study of an Office Building in Jinan, China", *International Journal of Architectural Engineering Technology*, vol. 6, pp. 33-48, 2019.
- [29] <https://gmtcontrol.com/plc/>. Erişim tarihi: 10.03.2023.
- [30] H. Erdun, "Fuzzy Logic Defuzzification (Bulanıklaştırma) Methods with Examples:", September 2020, DOI:10.13140/RG.2.2.19014.09282.
- [31] M. A. Öner, Serdar Solak, "PLC Tabanlı Uygulamalar: Mill Makinelerinde Oluřacak İř Kazalarının PLC Kullanılarak Önleneesi", *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, no 20, Aralık 2020, s.101-110.



A

PLC KODLARI VE PLC ÖZELLİKLERİ

```
if (IC_ORTAM_SIC > 0 && IC_ORTAM_SIC < 160 ){
COT_SOGUK=1;}
else {COT_SOGUK =0;}
if (IC_ORTAM_SIC > 150 && IC_ORTAM_SIC < 190 ){
COT_KONFOR =1;}
else {COT_KONFOR =0;}
if (IC_ORTAM_SIC > 170 && IC_ORTAM_SIC < 220 ){
COT_ILIK =1;}
else {COT_ILIK =0;}
if (IC_ORTAM_SIC > 190 && IC_ORTAM_SIC < 400 ){
COT_SICAK =1;}
else {COT_SICAK =0;}
// Cami içi ortam sıcaklığı “soğuk” üyelik fonksiyonuna ait üyelik derecelerinin hesaplanması;
if (COT_SOGUK ==1 ) {
    if ( IC_ORTAM_SIC < 150){
        COT_SOGUK_U=100; }
    if ( IC_ORTAM_SIC >= 150 && IC_ORTAM_SIC < 160){
        COT_SOGUK_U = ((160-IC_ORTAM_SIC ) *100)/10; // real integer donusumu için 100 ile
        carpıldı ;
    }
}
}else{COT_SOGUK_U=0;
}
```

```

// Cami içi ortam sıcaklığı "konfor" üyelik fonksiyonuna ait üyelik derecelerinin hesaplanması;
if (COT_KONFOR ==1 ) {
    if ( IC_ORTAM_SIC > 150 && IC_ORTAM_SIC < 170){
        COT_KONFOR_U = ((IC_ORTAM_SIC-150)*100)/20; // real integer donusumu için 100 ile
carpıldı ; }
    if ( IC_ORTAM_SIC >= 170 && IC_ORTAM_SIC < 190){
        COT_KONFOR_U = ((190-IC_ORTAM_SIC)*100)/20; // real integer donusumu için 100 ile
carpıldı; }}
    else{COT_KONFOR_U=0;}

Cami içi ortam sıcaklığı "ılık" üyelik fonksiyonuna ait üyelik derecelerinin hesaplanması;
if (COT_ILIK ==1 ) {
    if ( IC_ORTAM_SIC > 170 && IC_ORTAM_SIC < 190){
        COT_ILIK_U = ((IC_ORTAM_SIC-170)*100)/20; // real integer donusumu için 100 ile carpıldı ; }
    if ( IC_ORTAM_SIC >= 190 && IC_ORTAM_SIC < 220){
        COT_ILIK_U = ((220-IC_ORTAM_SIC)*100)/30; // real integer donusumu için 100 ile carpıldı
}}
    else{COT_ILIK_U=0;}

// Cami içi ortam sıcaklığı "sıcak" üyelik fonksiyonuna ait üyelik derecelerinin hesaplanması;
if (COT_SICAK ==1 ) {
    if ( IC_ORTAM_SIC >= 220 && IC_ORTAM_SIC < 400){
        COT_SICAK_U=100; }
    if ( IC_ORTAM_SIC > 190 && IC_ORTAM_SIC < 220){
        COT_SICAK_U = ((IC_ORTAM_SIC-190)*100)/30; // real integer donusumu için 100 ile carpıldı ;
}
}
else{COT_SICAK_U=0;}

```

Şekil A.2 Cami iç ortam ılık ve sıcaklık üyelik fonksiyonu

```

//      KURAL      1      KONTROL      VE      KARŞILAŞTIRMA
1.      COT soğuk ise DOT soğuk ise DST soğuk ise o zaman DGS en erken;

if(COT_SOGUK && DOT_SOGUK && DST_SOGUK ) {

    if ( DOT_SOGUK_U < COT_SOGUK_U && DOT_SOGUK_U <
DST_SOGUK_U){

        KURAL_1_U = DOT_SOGUK_U ;

    }

    if ( COT_SOGUK_U < DOT_SOGUK_U && COT_SOGUK_U <
DST_SOGUK_U){

        KURAL_1_U = COT_SOGUK_U ;

    }

    if ( DST_SOGUK_U <= COT_SOGUK_U && DST_SOGUK_U <=
DOT_SOGUK_U){

        KURAL_1_U = DST_SOGUK_U ;

    }

}

else{KURAL_1_U=0;}

```

Şekil A.3 Kuralların işletilmesini ve üyelik derecelerini hesaplayan program

PLC CPU Modülleri Genel Özellikler

Özellik	Bölüm	Açıklama
Genel	Besleme	24 VDC, $\pm\%15$ tolerans
	Güç	Max 3W @ 24 VDC
	CPU İşlem hızı	220 MIPS Arm CortexM4F
	Program dili	GMT Soft/GMT Suite editör yazılımı ile merdiven (ladder) metodu
	Program kapasitesi	64 kB Ladder derlenmiş hali
	RTC (Gerçek zaman saati)	Saat ve tarih bilgisine göre program yazabilme imkanı
	İşlemler	Lojik, matematiksel, haberleşme, hızlı sayıcı, hızlı plus çıkışları, zamanlayıcılar ve özel fonksiyon blokları
İletişim portları	Ethernet portu	100 MB ethernet portu üzerinden programlama, link kuma, MODBUS TCP Master/Slave desteği, WMI teknolojisi ile internet üzerinden cihaza erişim imkanı
	USB portu	USB portu üzerinden PC bağlantısı ile programlama ve link kuma. Harici disk bağlantı desteği ile otomatik kayıt olarak dosya oluşturma.
	RS232	ASCII veya MODBUS RTU protokolü ile 4800 ...115200bps hız desteği
	RS485	ASCII veya MODBUS RTU protokolü ile 4800 ...115200bps hız desteği
Hafıza alanı (GMT Soft)	Tam sayı değişkenler	32 bit işaretli 1024 adet, 16 bit işaretli 512 adet
	Ondalık değişkenler	32 bit işaretli 1024 adet değişken
	Sayıcılar	32 bit artan/azalan sayıcı bloğu 256 adet
	Zamanlayıcılar	1 ms çözünürlüklü, 4 tipte 128 adet 32 bit zamanlayıcı
	Sistem değişkenleri	32 bit işaretli 128 adet değişken
	Sanal röleler	1024 adet
	Sistem röleleri	256 adet
Hafıza alanı (GMT Suite)	Program boyutu	196 Kbyte
	Operand kullanımı	10 Kbyte
Çalışma ortamı	Sıcaklık	0..+50 °C çalışma aralığı (buzlanmadan)
	Nem	5..95%rH
	Ortam	Yanıcı ve aşındırıcı gaz bulunmayan

Tablo A.1 GMT PLC genel özellikleri

TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR

Konferans Bildirileri

1. S. Ezber, E. Akdoğan and Z. Gemici, “Fuzzy Logic Based Heating And Cooling Control In Buildings Using Intermittent Energy”, 12th International Symposium on Intelligent Manufacturing and Service Systems, 26-28 May 2023, Sakarya University, Türkiye.

