



**T.C.
KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ**

**TERMAL KONFOR ŞARTLARI VE AYDINLATMA
DEĞERLERİNİN BULANIK GENETİK ALGORİTMA
İLE OPTİMİZASYONU**

**SONAY GÖRGÜLÜ BALCI
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM
DALI**

DOKTORA TEZİ

**DANIŞMAN
Prof. Dr. Süleyman ERSÖZ**

KIRIKKALE-2023



**T.C.
KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ**

**TERMAL KONFOR ŞARTLARI VE AYDINLATMA
DEĞERLERİNİN BULANIK GENETİK ALGORİTMA
İLE OPTİMİZASYONU**

**SONAY GÖRGÜLÜ BALCI
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

DOKTORA TEZİ

**DANIŞMAN
Prof. Dr. Süleyman ERSÖZ**

KIRIKKALE-2023

Sonay GÖRGÜLÜ BALCI tarafından hazırlanan “TERMAL KONFOR ŞARTLARI VE AYDINLATMA DEĞERLERİNİN BULANIK GENETİK ALGORİTMA İLE OPTİMİZASYONU” adlı tez çalışması, aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ / OY ÇOKLUĞU ile Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof.Dr.Süleyman ERSÖZ

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Kırıkkale Üniversitesi

İmza.....

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum.

Eş Danışman : Prof.Dr.Ahmet Kürşad TÜRKER

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Kırıkkale Üniversitesi

İmza.....

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum.

Başkan : Prof.Dr.Necaattin BARIŞÇI

Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

İmza.....

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum.

Üye : Doç.Dr.Murat LÜY

Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı,
Kırıkkale Üniversitesi

İmza.....

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum.

Üye : Doç.Dr.Adnan AKTEPE

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Kırıkkale Üniversitesi

İmza.....

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum.

Üye : Dr. Öğr. Üy. Hakan ALTUNAY

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Süleyman Demirel Üniversitesi

İmza.....

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum.

Tez Savunma Tarihi:/...../.....

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Doktora Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

Prof.Dr.Recep ÇALIN
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

İTHAF

Beni yetiştiren aileme, eşim Mustafa BALCI ve ocuklarım Mehmet Sami ve Emre'ye ayrıca değerli hocalarım Doç.Dr.Murat LÜY, Prof.Dr.Süleyman ERSÖZ, Prof.Dr. Necaattin BARIŐCI, Prof.Dr.Ahmed Kürşat TÜRKER, Doç.Dr.Ahmet BAŐAL ve desteklerinden dolayı Öğr.Gör. Nuri Alper METİN'e teőekkür ederim.



ETİK BEYANI

Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Sonay GÖRGÜLÜ BALCI

19.07.2023

ÖZET

TERMAL KONFOR ŞARTLARI VE AYDINLATMA DEĞERLERİNİN BULANIK GENETİK ALGORİTMA İLE OPTİMİZASYONU

Kırıkkale Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora Tezi

Danışman: Prof. Dr. Süleyman ERSÖZ

Eş Danışman: Prof. Dr. Ahmet Kürşat TÜRKER

Temmuz 2023, 89 sayfa

Eğitim kurumları, iş yerleri gibi kalabalık ortamlarda iç ortam hava kalitesinin ve ortam aydınlatma değerlerinin uluslararası belirlenen sınır değerler aralığında tutulmasının öğrenci başarısına veya üretime sağladığı katkılar bilinmektedir. Bu çalışma, iç ortam hava kalitesinin optimizasyonu ile aydınlatma değerlerinin optimizasyonu olmak üzere iki ayrı bölüm olarak ele alınmıştır.

Birinci bölümde çalışma ortamlarında hava kalitesi refahının sağlanması amacıyla bir sistem geliştirilmiştir. Arduino işlemcisi ve bulanık mantık kontrol sisteminin kullanıldığı bu sistem, hareket sensörü HC-SR501 tetiklemesi ile çalışmaya başlamaktadır. Sıcaklık için LM-35 sensörü, nem için DHT-11, hava kalitesi için MQ-135, CO ve patlayıcı gaz için MQ-9 sensörü ile elde edilen anlık verilerin bulanık mantık sistem kural tabanından geçirilmesi sonucunda çalışması uygun görülen çıkışlardan hava filtresi, ısıtıcı ve alarm sistemlerinden hangisinin hangi oranda çalışması gerektiğine karar veren bir sistem tasarlanmıştır. Sistem verimini arttırmak amacıyla bulanık mantık giriş üyelik değerleri genetik algoritma ile optimize edilmiştir.

Çalışmanın ikinci aşamasında, iç ortam aydınlatma ihtiyacının doğal ışık alabilen pencere kenarı ile pencereden uzak bölgesinin farklı olabileceği değerlendirilerek, çalışma odasına yerleştirilen 6 sensör ve dimmer röleler aracılığı ile iç ortam aydınlatma değerinin homojen bir şekilde uluslararası belirlenen standart değerler arasında kalması sağlanmıştır.

Anahtar kelimeler: Arduino, Bulanık Mantık, Hava Kalitesi, Genetik Optimizasyon, Ergonomi

ABSTRACT

OPTIMIZATION OF THERMAL COMFORT CONDITIONS AND LIGHTING VALUES WITH FUZZY GENETIC ALGORITHM

Kırıkkale University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Industrial Engineering, PhD Thesis

Supervisor: Prof. Dr. Süleyman ERSÖZ

Co-Supervisor: Prof. Dr. Ahmed Kürşat TÜRKER

July 2023, 89 pages

It is known that keeping indoor air quality and ambient lighting values within the internationally determined limit values in crowded environments such as educational institutions and workplaces contributes to student success or production. This study has been handled in two separate sections, the optimization of indoor air quality and the optimization of lighting values.

In the first part, a system has been developed in order to ensure air quality welfare in working environments. This system, in which Arduino processor and fuzzy logic control system (FLC) are used, starts to work with the trigger of the motion sensor HC-SR501. LM-35 sensor for temperature, DHT-11 for humidity, MQ-135 for air quality, CO and MQ-9 sensor for explosive gas are designed to determine which of the air filter, heater and alarm systems should work at what rate from the outlets deemed appropriate to work by passing the instant data obtained through the fuzzy logic system rule base. In order to increase system efficiency, fuzzy logic input membership values were optimized by genetic algorithm.

In the second part of the study, it was evaluated that the indoor lighting needs may be different according to the window edges that can receive natural light and away from the window, and it was ensured that the indoor lighting value remained homogeneously within the internationally determined standard values by means of 6 sensors and dimmer relays placed in the study room.

Keywords: Arduino, Fuzzy Logic, Air Quality Optimization, Genetic Algorithm, Ergonomics.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa

ÖZET	iv
ABSTRACT	v
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
SİMGELER DİZİNİ	xii
KISALTMALAR DİZİNİ	xiii
1. GİRİŞ	1
1.1. Literatür Özetleri	5
2. MATERYAL VE YÖNTEM.....	15
2.1. Bulanık Mantık.....	15
2.1.1.Bulanık Çıkarım Yöntemleri	17
2.1.2.Durulaştırma ve Keskin Değere Dönüşüm	20
2.2. Bulanık Mantık Denetleyicisi (BMD).....	25
2.2.1.Bulanık Çıkarım Sistemlerinin Ayarlanması	26
2.3. Genetik Algoritma.....	27
2.3.1. Çaprazlama İşlemi	29
2.3.2. Mutasyon	30
2.3.3. Bireylerin Ceza, Uygunluk ve Olasılık Değerlerinin Bulunması	31
2.3.4. Genetik Algoritmada Seçim Yöntemleri	32
2.3.5. GA Kodlama Türleri.....	33
2.4. Bulanık-Genetik Sistemler	37
2.5. Arduino.....	38
2.5.1.Arduino Uno	39
2.5.2.Arduino Mega 2560.....	40
2.6. Arduino üzerinde kullanılan diğer devre elamanları.....	41
2.6.1. LDR (Işık Bağımlı Direnç-Light Dependent Resistor)	41
2.6.2. LM393 Entegre Devresi	43
2.6.3. Kontak(Switch) Tipleri.....	43
2.6.4. AC Işık Parlaklık Ayarlayıcı Dimmer Modül	45
3. BULGULAR.....	48

3.1. Genetik Algoritma ile Optimizasyon Tasarımı	51
3.1.2. Ortalama Kare Kök Hatasının (RMSE) bulunması	54
3.2. Genetik Optimizasyon için Arduino Devre Tasarımı	54
4. TARTIŞMA ve SONUÇLAR	58
4.1. İç ortam Hava Kalitesinin Genetik Algoritma ile Optimizasyonu Uygulama Sonuçları	58
4.1.1. Havalandırma için Bulanık Üyelik Değerlerinin Optimizasyonu	58
4.1.2. Isıtıcı için Bulanık Üyelik Değerlerinin Optimizasyonu	60
4.1.3. Havalandırma ve Isıtıcı Çıkışına göre kural tabanı	63
4.1.4. İç Ortam Hava Kalitesi Uygulama Sonuçları	65
4.1.5. Deney Sonuçlarının Kural Tabanı ile Açıklanması	68
4.2. Aydınlatma Tasarımı Uygulama Sonuçları	72
4.2.1. Aydınlatma Sistemi Optimizasyonu ile ilgili yapılan Deneylerin Sonuçları	72
4.2.2. LDR (Light Dependent Resistor) Tasarımı	72
4.2.3. AC Işık Parlaklık Ayarlayıcı Dimmer Modül	74
4.2.4. LDR (Light Dependent Resistor) Tasarımı uygulama sonuçları	75
4.2.5. AC Işık Parlaklık Ayarlayıcı Dimmer Tasarımı Uygulama Sonuçları	78
5. ÖNERİLER	80
KAYNAKLAR	81
EKLER	85
Ek-1 Çaprazlama ve Mutasyon Sözde Kodları	85
Ek-2 Genetik Optimizasyon Matlab Kodu	87
Ek-3 Ortalama Karekök Hatası (RMSE) için kullanılan Matlab Kodu:	88
ÖZGEÇMİŞ	89

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 1. 1. Genetik Algoritma ile yapılan araştırmaların karşılaştırılması	10
Çizelge 1. 2. Aydınlatma ile ilgili yapılan araştırmaların karşılaştırılması	14
Çizelge 2. 1. Başlıca optimizasyon teknikleri	26
Çizelge 3. 1. Uluslararası İç Ortam Hava Kalitesi Sınır Değerleri HKI (AQI) 0~500.....	50
Çizelge 3. 2. Ulusal ve Uluslararası İç Hava Kalitesi Standart Değerleri	56
Çizelge 3. 3. Bulanık Mantık başlangıç giriş üyelik değerleri	56
Çizelge 4. 1. Havalandırma çıkışına göre kural tabanı	58
Çizelge 4. 2. Isıtıcı çıkışına göre kural tabanı	60
Çizelge 4. 3. Çalışmanın deneysel sonuçları	62
Çizelge 4. 4. Havalandırma ve Isıtıcı Çıkışına göre kural tabanı	63

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1. 1. İç Ortam Kalitesine Etki Eden Faktörler ve Olası Etkileri.....	2
Şekil 1. 2. Hava kalitesi ile öğrenci başarı oranları arasındaki ilişki (Toksoy vd, 2015).....	3
Şekil 2. 1. Bulanık Çıkarım Birimi (Ataşoğlu, 2019).....	15
Şekil 2. 2. Bulanık mantık sıcaklık gösterimi.....	16
Şekil 2. 3. Üyelik fonksiyonları ile bulanıklaştırılmış siyah-beyaz renk evreni.....	16
Şekil 2. 4. Mamdani tipi bulanık çıkarım örneği (Yılmaz M. ve Arslan E., 2005).....	17
Şekil 2. 5. Araç problemi için uygulanan Mamdani Bulanık Mantık Yöntemi çıkarımı örneği	18
Şekil 2. 6. Sugeno çıkarım yöntemi.....	19
Şekil 2. 7. Başlıca Durulaştırma Yöntemleri.....	20
Şekil 2. 8. Maksimum üyelik yöntemi.....	21
Şekil 2. 9. İlk en büyük (First of Max) ve Son en büyük (Last of Max) Yöntemi	21
Şekil 2. 10. Maksimum Üyelik değerlerinin Ortalaması Yöntemi	22
Şekil 2. 11. Ağırlık Merkezi Yöntemi	22
Şekil 2. 12. Ağırlıklı Ortalama Yöntemi	23
Şekil 2. 13. Toplamların Ortalaması Yöntemi.....	24
Şekil 2. 14. En Büyük Alan Merkezi Yöntemi.....	24
Şekil 2. 15. Bulanık denetleyici yapısı	25
Şekil 2. 16. Genetik Algoritmanın Bulanık Çıkarım Sistemine Uygulama Yöntemi.....	26
Şekil 2. 17. Genetik Algoritma (GA) uygulama adımları	28
Şekil 2. 18. Çaprazlama Gösterimi	29
Şekil 2. 19. Genetik Algoritma Çaprazlama Çeşitleri	30
Şekil 2. 20. Mutasyon Gösterimi	31
Şekil 2.21. GGA Genel Akış Şeması (Bağış ve Özçelik, 2007).....	34
Şekil 2.22. Bulanık genetik algoritma yapısı.....	37
Şekil 2. 23. Arduino Uno.....	39
Şekil 2. 24. Arduino Mega 2560.....	40
Şekil 2. 25. LDR Sensor-Röle Modülü (Srd-05vdc-sl-c)	41
Şekil 2. 26. LDR direncinin ışık şiddeti ile değişimi (Kulaksız S., 2020).....	41
Şekil 2. 27. LDR ile Motor Kontrolü (Kulaksız S., 2020).....	42
Şekil 2. 28. LM393 Pin Bağlantıları.....	43
Şekil 2. 29. a) NO kontaklı röle veya kontaktörün şemasal gösterimi, b) NO kontağın durumu, c) NO buton kontağı görülmektedir. (Uskon, Akışkan Kontrol Sistemleri).....	44

Şekil 2. 30. a) NC kontaklı röle veya kontaktörün şemasal gösterimi, b) NC kontağın durumu, c) NC buton kontağı görülmektedir. (Uskon, Akışkan Kontrol Sistemleri)	44
Şekil 2. 31. Dimmer devre şeması (electroduino.com)	45
Şekil 2. 32. AC Işık Parlaklık Ayarlayıcı Dimmer Modül	46
Şekil 2. 33. Sıfır Geçiş Noktası (Zero-Cross) Gösterimi	46
Şekil 3. 1. Önerilen Sistem Blok Şeması	48
Şekil 3. 2. a) Havalandırma çıkışına göre optimizasyon b) Isıtıcı çıkışına göre optimizasyon c) Hem havalandırma hem de ısıtıcı çıkışına göre optimizasyon	49
Şekil 3. 3. Genetik optimizasyon tasarım ve uygulama metodolojisi	50
Şekil 3. 4. Bulanık mantık sistemi çıkışlarının genetik optimizasyon sisteminde giriş olarak kullanılması	51
Şekil 3. 5. Genetik optimizasyon parametrelerine ait girişlerin Matlab'de tanımlanması	53
Şekil 3. 6. Matlab 2018b ile Genetik Optimizasyonun gerçekleştirilmesi	53
Şekil 3. 7. Arduino Devre Tasarımı	54
Şekil 3. 8. Arduino 1.8.13 ile program yazılımının yapılması	55
Şekil 3. 9. Arduino 1.8.13 ile program yazılımının gerçekleştirilmesi	55
Şekil 3. 10. a) Havalandırma çıkışına göre hazırlanan kural tabanı b) Isıtıcı çıkışına göre hazırlanan kural tabanı c) Hem havalandırma hem ısıtıcı çıkışlarına göre kural tabanı	57
Şekil 4. 1. Havalandırma çıkış değerleri üyelik fonksiyonları	58
Şekil 4. 2. a) Sıcaklık değerinin havalandırmaya göre optimizasyonu b) Hava Kalitesi değerinin havalandırmaya göre optimizasyonu c) Nem değerinin havalandırmaya göre optimizasyonu	59
Şekil 4. 3. Isıtıcı çıkışı için üyelik fonksiyonları	60
Şekil 4. 4. a) Sıcaklık değerinin ısıtıcıya göre optimizasyonu b) Isıtıcıya göre Hava Kalitesi değerinin optimizasyonu c) Nem değerinin ısıtıcıya göre optimizasyonu	61
Şekil 4. 5. Arduino ile tasarlanan havalandırma ve ısıtma bulanık kontrol sistemine ait devre tasarımı	63
Şekil 4. 6. Havalandırma ve ısıtıcı sistemlerinin Bulanık Genetik Sistemle Kontrolü	64
Şekil 4. 7. Deney Sonuçları-1	65
Şekil 4. 8. Deney Sonuçları-2	66
Şekil 4. 9. Deney Sonuçları-3	67
Şekil 4. 10. Sıcaklık Üyelik Değerlerinde Sıcaklık=15 değerinin Hesaplanması	68
Şekil 4. 11. Hava Kalitesi Üyelik Değerlerinde Hava Kalitesi=25 değerinin Hesaplanması	69
Şekil 4. 12. Nem Üyelik Değerlerinde Nem=50 değerinin Hesaplanması	69
Şekil 4. 13. Kural Tabanı ile Çıkışın Hesaplanması	71

Şekil 4. 14. Bir grup Ldr sensor-röle ve lamba devresi bağlantıları.....	72
Şekil 4. 15. Bir grup LDR sensör, röle ve lamba gösterimi.....	73
Şekil 4. 16. Sensör, röle bağlantı gösterimi	73
Şekil 4. 17. 5VDC'nin board üzerinden paralel dağıtılması	74
Şekil 4. 18. Perde açık iken led lamba yanmamaktadır.	75
Şekil 4. 19. Perde kapalı iken aynı noktadaki led lamba yanmaktadır.	76
Şekil 4. 20. Salonun ışığı yetersiz olduğunda ledler çalışmaktadır.	76
Şekil 4. 21. Salon ışığının yanmasına rağmen odanın penceresinden gelen ışığın açısına göre halen karanlıkta kalan noktada led lamba yanmaktadır.	77
Şekil 4. 22. Ortam ışık miktarı arttığında Ldr değeri artmakta, led gücü azalmaktadır.	78
Şekil 4. 23. Ldr ve lamba güç değerlerinin Arduino üzerinden gösterim kodları	78
Şekil 4. 24. Birbirinden bağımsız olarak ışık şiddetinin değiştirilmesi	79

SİMGELER DİZİNİ

μ	Aritmetik ortalama
σ^2	Varyans (yayılım)
sup	Zirve (Supremum-sup)
inf	Asgari (Infimum-inf)



KISALTMALAR DİZİNİ

HKI	Hava Kalitesi İndeksi (AQI)
BMD (BMK)	Bulanık Mantık Denetleyicisi (Kontrolörü) (FLC-Fuzzy Logic Control)
GA	Genetik Algoritma
BGA	Bulanık Genetik Algoritma (FGA)
GGA	Gerçek Kodlu Genetik Algoritma (RGA-Real Coded Genetic Algorithm)
RMSE	Ortalama Kare Kök Hatası
CO	Karbonmonoksit
KUGA	Kendinden Uyarlanabilir Genetik Algoritma (Self Adaptive Genetic Algorithm-SAGA)
PWM	Darbe Genlik Modülasyonu (Pulse Width Modulation)
WHO	Dünya Sağlık Örgütü

1. GİRİŞ

Ergonomi, insanların fiziksel ve psikolojik özelliklerini inceleyerek insanların makine ve çevreye nasıl adapte olduğunu araştıran çalışmaların bir bütünüdür. Bu ifadenin aksine, ergonomi bilimi, gelişen teknolojinin bir sonucu olarak makinelerin veya çevrenin insana uyartılmasına odaklanmaktadır. Bu koşullarda doğa ve insan odaklı çözümler öne çıkmaktadır. Diğer bir ifade ile ergonomi, bireylerin ihtiyaçlarına göre ürün, sistem ve süreçlerin tasarlanmasına odaklanır. Bireylerin üzerindeki fiziksel baskıyı azaltmak için tesis, mobilya ve ekipmanların ergonomik olarak tasarlanması gereklidir.

Bireylerin sağlığı, konforu ve verimliliği, termal, görsel/aydınlatma, ses, ergonomi ve hava kalitesi dahil olmak üzere çeşitli bileşenlere bağlıdır. İç ortam hava kalitesinin insan sağlığını ve konforunu önemli ölçüde etkilediği, kirleticilere, aşırı neme ve sıcaklıklara uzun süre maruz kalan kişilerin sağlık sorunları yaşadığı belirlenmiştir. İç mekan ergonomisi, fiziksel zorlukları azaltarak insanların daha rahat etmelerini sağlar (Fragiacomo ve Mattei, 2021). Sonuç olarak, bireylerin refahını ve üretkenliğini sağlamak için hem ergonomik tasarım standartlarını hem de iç ortam hava kalitesi standartlarını içeren bir kombinasyon yaklaşımı benimsemek esastır (Faez vd., 2021). Bir iç ortam, sıcaklık, nem, hava kalitesi, aydınlatma ve havalandırma gibi birçok faktörden oluşmaktadır (İte vd., 2017).

Hava yoluyla bulaşan COVID-19 gibi salgın hastalıklar söz konusu olduğunda, iç ortam kalitesinin hayati bir öneme sahip olduğunu belirtmek gereklidir. (Cuerdo Vilches vd, 2021). Pandemi nedeniyle uzaktan çalışma ve e-öğrenmeye geçiş, insanların evlerinde uzun süre çalışabilecekleri ergonomik malzemelerin ihtiyacını artırmıştır.

Mekanik veya doğal havalandırma sistemleri dahil olmak üzere bir dizi farklı yöntem ve yaklaşım kullanılabilir. Sıcaklık ve nem seviyelerinin belirli seviyelerde tutulması, iç ortam hava kalitesini iyileştirebilir.



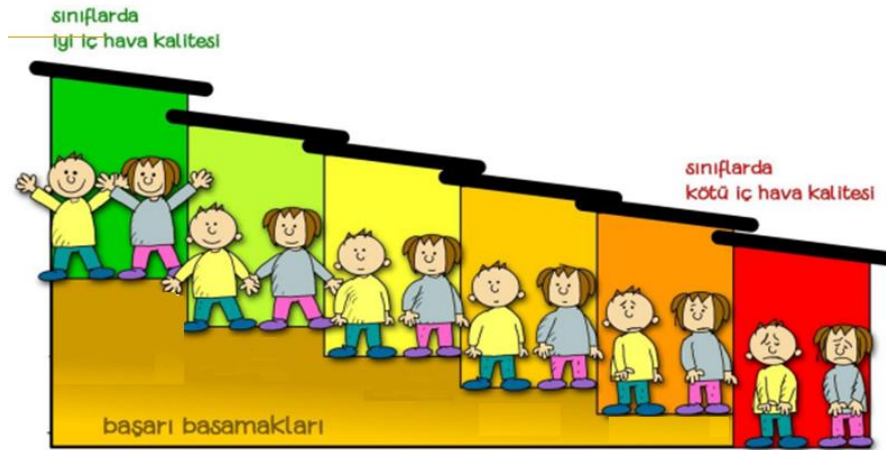
Şekil 1. 1. İç Ortam Kalitesine Etki Eden Faktörler ve Olası Etkileri

İnsanlar zamanlarının yaklaşık %80-90'ını iç mekanlarda geçirdikleri için, iç ortam hava kalitesi insan sağlığı açısından büyük önem taşımaktadır (Piver W. T.,1991). Bu uzun süreli maruziyet süresi sağlıklı bir iç mekan hava kalitesine duyulan ihtiyacı öne çıkarmaktadır. Kötü iç hava kalitesi, özellikle hassas bireyleri daha fazla etkilediğinden, solunum sorunları, alerjiler ve enfeksiyonlar gibi çeşitli sağlık sorunları ile karşı karşıya kalmalarına neden olmaktadır. Ayrıca yapılan araştırmalar, iç ortamda bulunan kirletici seviyelerinin, dış ortam atmosferine göre iki ila beş kat daha yüksek olduğunu göstermişlerdir (Benammar vd., 2020). İç ortam kalitesine etki eden önde gelen faktörler ve olası etkileri Şekil 1.1'de gösterilmiştir. Çalışanlara hem fiziksel hem de psikolojik açıdan sağlıklı ve refah bir çalışma ortamı sağlandığında, çalışmanın verimliliği ve kalitesi artacaktır. Daha da önemlisi, çalışanların fiziksel ve psikolojik sağlıkları korunacaktır. Dolayısı ile ergonomik konfor imkanlarının iyileştirilmesi ile maddi ve manevi kayıpların en aza indirilmesi amaçlanmaktadır.

Sonuç olarak, iç ortamlardaki kirleticilerin neden olduğu sağlık tehlikelerini azaltmak için iç ortam hava kalitesinin izlenmesine ve iyileştirilmesine yönelik ilgi zaman içinde artmıştır. İç hava kalitesi

için yasal gerekliliklerin ve yönergelerin uygulanması ve bunlara uyulması, güvenli ve sağlıklı bir ortamın sağlanması açısından önem taşımaktadır. Dünyanın dört bir yanındaki ülkeler, iç mekan hava kalitesini iyileştirmek ve iç ortamlardaki kirletici seviyeleri kontrol etmek için yasal düzenlemeler ve yönergeler oluşturmuşlardır. Dünya Sağlık Örgütü (WHO), hava kalitesi konusunda kapsamlı çalışmalar yürütmekte ve hava kalitesi yönergeleri yayınlamaktadır. WHO'nun hazırlamış olduğu Hava Kalitesi Yönergeleri ile hava kirliliğinin sağlık üzerindeki etkileri değerlendirilip, ülkelerin hava kalitesi yönetimi için rehberlik sağlanmaktadır. Avrupa Birliği'nin hazırlamış olduğu Hava Kalitesi Standartları ile Avrupa genelinde standartlar belirlenmiş ve üye ülkelerin bu standartlara uymalarını gerektiren bir dizi yönerge ve düzenleme yayınlamışlardır. Dünya Sağlık Örgütü ve diğer ulusal/uluslararası yönetmelikler, iç ortam hava kalitesine ait farklı parametreler için sınır değerler belirlemişlerdir. Bu düzenlemeler ülkelerin iç ortam hava kalitelerinin değerlendirilmesi ve düzenlenmesi açısından önem taşımaktadır (Obrecht vd, 2019). Uluslararası hava kalitesi standartlarına uyum için izleme sistemleri kullanılmıştır. İç hava kalitesinin öneminin ve insan sağlığına yönelik potansiyel tehlikelerin farkındalığının artırılması gerekmektedir. İç ortam hava kirliliğini azaltmak için binaların yasal düzenlemelere uygun şekilde inşa edilmesi ve tasarlanması çok önemlidir. Bu yöntemler, iç ortamlardaki kirletici konsantrasyonunu azaltarak bina sakinlerinin genel sağlığını ve rahatlığını iyileştirmek için kullanılmaktadır. Sonuç olarak, sağlık kuruluşları ve yasal düzenleyici sistem düzenli olarak iç hava kalitesini izlemektedir.

Sınıflar gibi kalabalık iç ortamlarda, insanların nefesleriyle ortama bıraktıkları karbondioksit, iç hava kalitesini etkilemektedir. Karbondioksitin sağlık üzerindeki olumsuz etkileri yüksek düzeylerde ortaya çıksa da, Şekil 1.2'de gösterildiği üzere sınıflarda bulunan karbondioksit değerinin belirli eşik değerini aşması sonucunda öğrencilerin karar verme performansında önemli ölçüde azalma olduğu saptanmıştır (Toksoy vd., 2015)



Şekil 1. 2. Hava kalitesi ile öğrenci başarı oranları arasındaki ilişki (Toksoy vd, 2015)

Derslikler, öğrenci başına 2 ile 2.5 m² alan düşecek şekilde ölçülmelidir.

- Hareketli oturma düzeninde ~2 m²/öğrenci
- Sabit oturma düzeninde ~1.4 m²/öğrenci
- Konferans tipi sıra-sandalye için ~2 m²/öğrenci

İç mekan hava kalitesi ile okul başarısı arasındaki ilişkiye benzer şekilde, sanayi kuruluşlarının hava kalitesi ile üretim verimliliği arasındaki ilişki çok sayıda araştırmanın konusu olmuştur (Puteh vd., 2015), (Toksoy vd., 2015). Kalabalık ortamlardaki iç hava kalitesi, kontrol edilmediği takdirde, zamanla bozulabilmektedir. Uzun süreler hava kalitesi düşük ortamlarda çalışmak zorunda kalan kişilerin hem fiziksel hem de psikolojik sorunlar yaşadıkları ve hatta sağlıklarında bozulmalar yaşadıkları gözlemlenmiştir.

Bu çalışma iki aşamadan oluşmaktadır ilk aşamada, iç ortam hava kalitesi ve iklimi, uluslararası Hava Kalitesi İndeksi (HKİ) standartlarının sınır değerleri içinde tutulmaya çalışılmıştır. Sistem hareket sensörleri ile aktif hale gelmekte ve bulanık mantık denetleyicisinden gelen yanıtlara göre kademeli olarak hava temizleme veya ısıtma sistemleri çalıştırılarak enerji kaynaklarının verimli kullanılmasına katkı sağlanmaktadır. Ayrıca sistem, ortamda boğucu gaz karbonmonoksit (CO) ve patlayıcı gaz varlığında alarm vererek uyarı sistemi görevi görmektedir. Bulanık Mantık Denetleyicisi (BMD), iç ortam hava kalitesi ve iklim sensörlerinden aldığı anlık ölçüm verileri ile sistemin çıktıları olan hava temizleme, ısıtma ve alarm sistemlerinin uygun oranlarda çalışması sağlanmaktadır. BMD sisteminin etkinliğini arttırmak için bulanık mantık giriş üyelik değerleri Genetik Algoritma (GA) ile optimize edilmiş ve sonuçlar değerlendirilmiştir.

Çalışmamızın ikinci bölümünde iç mekanlarda ışık şiddetinin uluslararası belirlenen değerler aralığında kalması için otomatik şekilde devreye giren ve kademeli olarak yanan aydınlatma sistemi üzerine çalışılmıştır. İç ortam aydınlatma standartları, bireyler için konforlu, sağlıklı ve güvenli bir ortam yaratmak için çok önemlidir. Bir iş yerindeki ergonomik aydınlatma, bireyler için konforlu ve üretken bir ortamın oluşturulmasında çok önemli bir rol oynar. Aydınlatma koşullarının görsel görevler için en uygun hale getirilmesi ile bireylerin gözlerinin zorlanması ve yorgunluğunun azaltılması sağlanabilmektedir. Ayrıca ergonomik aydınlatma, konsantrasyon ve genel performans üzerinde zararlı olabilecek parlama veya titreme riskini azaltır. Bu hedeflere ulaşmak için, çoğu ulusal ve uluslararası öneri ve standart, çeşitli iç ortam ergonomisi için aydınlatma kalitesi değerleri belirlenmiştir. Türkiye'nin ergonomik aydınlatma değerleri, EN 1264-1 Standardı da dahil olmak üzere uluslararası standartlara ve yönergelere dayanmaktadır. Bu standart, kapalı işyerlerinde, okullarda ve diğer alanlarda yapay aydınlatma için temel kriterleri belirler (Catalina vd., 2022). Bu standartların amacı, kamaşma ve doğal ve yapay aydınlatmanın entegrasyonu dahil olmak üzere

görsel konforla ilgili konuları ele almaktır. Güvenli, rahat ve görsel ergonomiye uygun bir ortam oluşturmak için aydınlatma tasarımı uluslararası standartlara uygun olmalıdır. Ofis koşullarında yapılan kapsamlı bir araştırma, insanların ofis ortamında bulunan doğal gün ışığına ek olarak ortalama 800 lüks yapay aydınlatmayı tercih ettiğini ortaya koymuştur (Bommel, 2004).

Çalışmamızda kullanılan aydınlatma kontrol sistemi, bireylere ergonomik konfor sağlamanın yanı sıra odanın doğal aydınlatma seviyesine bağlı olarak ışık değeri sağladığı için elektrik tüketimini azaltmaktadır.

1.1. Literatür Özetleri

Bushnag (2020) çalışmasında, iç ortam hava kalitesinin sıcaklık ve nem değerlerini Arduino Mikrodenetleyicisi ile izleyen ve kontrol eden bir BMD sistemi tasarlamıştır. BMD sisteminde, iç ortam hava kalitesi için MQ-135 sensörü, sıcaklık ve nem değerleri için DHT-11 sensörü kullanmıştır. Ölçüm sonuçlarına göre iç havalandırma, ortamdaki istenmeyen gazları uzaklaştırmak ve iklimi kontrol etmek için kullanılmaktadır. Önerilen sistem, iki senaryo kullanılarak değerlendirilmiştir. Birinci senaryoda sıcaklık, nem veya hava kalitesi sensörlerinden birinin istenen değerlerin dışında çok yüksek olduğu durumlarda havalandırma hızının yüksek seviyelerde çalıştığını ancak bu hız değerinin lineer şekilde artmadığını çünkü havalandırma hızını etkileyen diğer giriş değişkenlerinin etkili olduğuna değinilmiştir. İkinci senaryoda değişken sensör sonuçlarına göre kural dışı kalınan durumlarda havalandırma çıkışının doğru cevap veremeyebileceğine değinilmiştir. Bu nedenle, üç girdi arasındaki ilişkinin tam olarak açıklanması gerektiğine yani olası durumların tamamının kurallar ile tanımlanmış olması gerektiğine değinilmiş ve sonuçlar (sıcaklık-nem-havalandırma, sıcaklık-hava kalitesi-havalandırma ve nem-hava kalitesi-havalandırma) ayrı ayrı grafiklerle sunulmuştur. Bulanık mantık denetleyicisi ile havalandırma sisteminin hızı ve çalışma süresine etki edilerek güç tüketiminin azaltılması amaçlanmıştır.

Labellapansa, Syafitri ve Kadir (2019), çalışmasında yangın erken uyarı sistemi üzerinde çalışmışlardır. Önerdikleri sistem, Arduino Mikrodenetleyiciyi kullanarak ortamda alev, duman ve gaz varlığının Bulanık Mantık yöntemi kullanarak değerlendirilmesini içerir. Günümüzde kullanılan birçok alarm sisteminde kullanılan sensörlerin çevreye karşı çok hassas olmaları nedeniyle yanlış alarm verme eğiliminde oldukları belirtilmiştir. Bu sorunu çözmek için bulanık mantık yaklaşımına dayanan bir prototip alarm sistemi geliştirilmişlerdir. Bu sistem, alarmin doğru şekilde devreye alınmasını sağlamıştır. Sistem tasarımında Arduino Mikrodenetleyicisini kontrol etmek için bulanık mantık sistemi kullanılmış ve 125 bulanık mantık kuralı ile tehlikeli, potansiyel olarak tehlikeli ve tehlikesiz olmak üzere üç çıkış seviyesine sahip sistem çıkışları tanımlanmıştır.

Sonuç olarak tasarlanan yeni sistemin, %88 doğrulukla çalıştığı sonucuna ulaşmışlardır.

Kumar, Sen, Azid ve Mehta (2016), gerçek bir yangına neden olabilecek gaz kaçaklarının varlığını tespit edebilen ve haneye izinsiz girişleri algılayan bir izleme cihazı geliştirmeyi amaçlamışlardır. Araştırmacılar, yanlış alarm uyarılarını önlemek amacı ile bulanık mantık tabanlı kurallar geliştirerek, sistem kararını optimize etmişlerdir. Pasifik Ada Ülkeleri'nde hem evlerde hem de ofis binalarında hırsızlık ve yangın olaylarının artması nedeniyle entegre bir hırsız ve yangın alarm sistemi ihtiyacı arttığı belirtilmiş, ev ve ofis yangınları ve hırsızlıklar için geleneksel çözümler bulunmasına rağmen mevcut sistemlerin kurulum maliyeti yüksek olduğu için çalışmalarında, yangın ve ev güvenlik sistemi için kullanıcı dostu ancak düşük maliyetli bir çözüm geliştirmişlerdir. Önerdikleri gömülü cihaz, taşınabilir ve kolayca uyarlanabilir. GSM teknolojisi kullanılarak; izleme, algılama, uyarı ve uygulama sistemleri geliştirilmişlerdir. Yangın ve gaz kaçaklarının gerçek eşik seviyelerini bulanık mantık karar vericisi ile test ederek yeni bir karar sistemi oluşturmuşlardır. Ortam izleme sisteminin yapısında, MQ-2 yanıcı gaz ve duman sensörü, TMP-36 sıcaklık sensörü ve ayrıca, hırsızlık olayları için odayı izleyen bir hareket sensörü (PIR) bulunmaktadır. Tasarladıkları izleme cihazı, yanıcı gaz sızıntılarını veya izinsiz girişlerin varlığını algılayabilmekte ve evde gerçek bir yangın veya soygun olmadan önce harekete geçebilmektedir. Ayrıca aile bireyleri gibi ilgili kişilere hücresel şebeke üzerinden kısa mesaj ve tek bir kişiyi arayarak bildirimde bulunabilmektedir. Sistem, kullanıcının olası bir yangın olayını veya ev soygununu önlemek için önleyici tedbirler almasına olanak tanımaktadır.

Herman, Panessai ve Shamsuddin (2009) çalışmalarında, BMD tasarımında GA kullanımını incelemiş ve popülasyon büyüklüğünün, çaprazlama olasılığının ve mutasyon oranının GA'nın performansını nasıl etkileyebileceğini, ayrıca çeşitli parametrelerin karşılaştırılması ile oluşturulan yeni GA'nın BMD'nin performansını iyileştirdiğini göstermişlerdir. Herman çalışmasında, kullanıcıların problemlerin tanımlanmasında en hızlı işlem olan GA optimizasyon tekniğini kullanarak FLC'nin üyelik fonksiyonunu belirlenmesine yardımcı olabilecek bir sistem geliştirmiştir. 2 giriş ve 1 çıkış olacak şekilde tasarladıkları çalışmada Gerçek Kodlu Genetik Algoritma (GGA) kullanılarak optimizasyon gerçekleştirilmiş ve sonuçta daha yüksek uygunluk değerlerine sahip sonuçlar elde etmişlerdir.

Yuan ve Zhuang (1996), bulanık bir sınıflandırma sistemi oluşturmak için en zor görevin belirli bir sınıflandırma problemine ait bulanık kuralların belirlenmesi olduğuna değinmişlerdir. Bu işlem, uzman görüşü ile yapıldığında; üretilen kuralların nispeten daha düşük bir güvenilirlik oranında kaldığını ve bu işlemin zaman alıcı bir süreç olduğunu belirtmişlerdir. Diğer bir yaklaşım olarak bulanık kuralların vaka çalışmaları sonucu makine öğrenmesi şeklinde yapılabildiğini ifade

etmişlerdir. Temel olarak, sistemin öğrenme kapasitesini test etmenin iki yolu vardır. Birinci yol, rastgele seçilen verilerin bir kısmı ile sistemi eğitmek, geri kalan verilerle tasarlanan sistemin doğruluğunu test etmektir. Bu yöntem genellikle, farklı öğrenme algoritmaları arasında sınıflandırma doğruluğunu karşılaştırmak için kullanılır. Sınıflandırmanın doğruluğu, genellikle örnek verilerin temsil edilebilirliğine bağlıdır. Yuan'ın çalışmasında kullanmış olduğu ikinci yöntem ise; mevcut kurallara dayalı olarak gizli kurallara ulaşıp, ulaşamayacağını test etmektir. Önerilen BMD performansı Cumartesi Sabahı Problemi ve Multiplexer Problemi olmak üzere iki sınıflandırma problemi örneği üzerinde kullanılmıştır. Bulanık kuralların elde edilebileceği yöntemler açıklanmış; genetik tabanlı makine öğreniminin, yapay sinir ağları ve karar ağacı tümevarım yöntemlerine göre yerel optimuma takılmayıp, optimal çözümler bulma konusunda daha umut verici olduğuna değinilmiştir. Yaptıkları çalışmanın doğruluk, kapsam ve uygunluk kriterleri dikkate alınarak bulanık sınıflandırma problemine en uygun bulanık kural kümesi oluşturulduğu ve böylece diğer öğrenme yöntemlerine göre bulanık genetik algoritmanın sistem etkinliğini daha çok arttırdığı sonucuna ulaşmışlardır.

Zhang, Wang ve Zhang (2009), Gerçek Kodlu Algoritmaya (RGA) dayalı tasarladıkları bulanık sistemin üyelik fonksiyonlarını genetik optimizasyon ile optimize etmişlerdir. GA ile bulanık üyelik fonksiyonlarının optimizasyonu hakkında yapılan çalışmalar genel olarak; tepe noktalarının konumunun sabit tutularak yalnızca taban uzunluklarının optimize edildiği çalışmalar olduğu belirtilmiştir. Literatürde yer alan çalışmalarda genel olarak bulanık üyelik fonksiyonlarının tepe noktaları ile taban uzunlukları eş zamanlı olarak optimize edilemediğine değinilmiş olup, önerdikleri çalışma ile gerçek bir optimizasyon işlemi gerçekleştirildiklerini ifade etmişlerdir. Zhang çalışmasında yüksek performanslı bulanık üyelik fonksiyonu elde etmek amacı ile gerçek kodlu genetik algoritma kullandıkları bulanık üyelik fonksiyonlarının ağırlık merkezleri ve tepe noktalarının konumlarının değiştirilmesi suretiyle genetik optimizasyon işlemi yapılmış ve böylece genetik öğrenme gerçekleştirmişlerdir. Genetik algoritmanın aşamalarında çaprazlama ve tek nokta mutasyon kullanılmıştır. Önerilen yöntem ile tek giriş ve tek çıkışa sahip bir bulanık sistem için GA optimizasyon programı geliştirilmiş ve sonuçta sistem performansının iyileştirildiği gözlemlenmiştir. Zhang'ın çalışmasının amacı, üyelik fonksiyonlarının şeklini ayarlamaktır ancak çalışmanın yenilikçi yönü, üyelik fonksiyonlarının türünü belirlemektir.

Arslan ve Kaya (2001) tarafından geliştirilen BMD sisteminde her biri 2 üyelik değerine sahip tek girdi ve tek çıkış olarak tasarlanan her giriş ve çıkış durumuna ait değer art arda yazılmasıyla bir gen zinciri oluşturulmuştur. Örneğin, genetik algoritma işlemlerinde, alınan değerler için oluşturulan gen (51;48;36;11) halinde iken, 6 bitten oluşan (110011110000100100001011) şekilde ifade edilmiştir. Bit uzunluğunun azaltılmasının GA doğruluğunda da bir azalmaya yol açabileceği

ancak, bit uzunluğunun arttırılmasının da GA performansını azaltabileceği ifade edilmiştir. Bu nedenle örneklem alanının ne çok büyük ne de çok küçük olması gerektiğine vurgu yapılmıştır. Örneklem değerlerine göre ölçeklendirilen kromozomlar ile evrim süreçleri gerçekleştirilerek 17. nesilde en iyi çözüme ve performans değeri daha yüksek olan yeni giriş üyelik değerlerine ulaşmışlardır.

Hu, Paolo ve Wu (2007) çalışmalarında hem optimizasyon yeteneğini hem de yakınsama hızını geliştirmeyi amaçlayan bulanık mekanizmaya dayanan kendi kendine uyarlanabilir bir genetik algoritma (GA) geliştirmeye çalışmışlardır. GA'ların performansını etkileyen birçok faktörün olduğunu, optimizasyon yeteneği ve yakınsama hızı üzerindeki etkilerini tanımlamanın matematiksel olarak ifadesinin çok zor olduğunu belirtmişlerdir. Bu nedenle, GA'nın çapraz geçiş ve mutasyon olasılıklarını değiştirerek çevrimiçi, kendi kendine uyarlanabilir sistemin optimizasyon yeteneğini ve yakınsama hızını artırmak için bir dizi bulanık kural kullanmışlardır. Çalışmalarının sonunda, kendi kendine uyarlanabilir GA'nın, normal bir GA'ya kıyasla optimizasyon yeteneği ve yakınsama hızı açısından daha gelişmiş olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Ayrıca, yeni GA'nın, çoklu GA parametreleri ile çevrimiçi durumlar arasındaki ilişkileri tanımlamak için bulanık kural tabanına sahip uygun bir sistem olduğunu belirtmişlerdir.

Erdinç, Uzunoğlu ve Vural (2009), hibrit elektrikli araçlarda güç kaynağı olarak yakıt hücresi (YH) ve ultra kapasitörün (UK) kullanımını genetik algoritma tabanlı bulanık sistem kontrolü kullanarak modellemişlerdir. UK'ler, kısa vadeli ani yük taleplerini karşılamak amacı ile ve yük talebi ile YH arasındaki güç talebini karşılamak üzere tasarlanmışlardır. Frenleme enerjisinin geri kazanılmasında ultra kapasitörlerin akülere kıyasla daha verimli ve etkili oldukları, kimyasal reaksiyon içermedikleri, uyarılara daha hızlı tepki verdikleri ve sıcaklık değişimlerinden etkilenmedikleri için tercih edildikleri belirtilmiştir. Erdinç vd. çalışmalarında, yakıt hücresi (YH) ve ultra kapasitör (UK) kullanan hibrit bir araç sistemi için geliştirilen genetik algoritma ve bulanık mantık tabanlı kontrol sistemini önermişler ve bulanık mantık denetleyicisinin hem girdi hem de çıktı üyelik değerlerini genetik algoritma ile optimize etmişlerdir.

Kıyak ve Kahvecioğlu (2003), çalışmalarında uçuş kontrol problemini ele almışlardır. Hava aracının zarar görmemesi için sisteme uygulanması gereken kuvvetin değerini, amaç fonksiyonunda irtifanın düşmesiyle düşey hızın düşürülmesi gerekliliğinden yola çıkarak belirlemişlerdir. Önerdikleri bulanık mantık kontrol sisteminde irtifa ve düşey hız üyelik değerleri optimize edilerek, uygun Kontrol Kuvveti değerine ulaşmışlardır.

Homaifar ve McCormick (1995), üyelik fonksiyonlarının ve bulanık mantık denetleyicilerinin kural setlerinin eş zamanlı olarak tasarımında genetik algoritmaların (GA'lar) uygulanabilirliğini

araştırmışlardır. Optimal veya optimale yakın bir denetleyici tasarımı için hem üyelik fonksiyonlarının hem de kural setlerinin aynı anda belirlenmesi amacı ile GA kullanmışlardır. Geliştirilen yeni yöntem iki ayrı uygulama olan araç kontrol ve kamyon kontrol çalışmalarında başarıyla uygulanmıştır.

Üstün ve Demirtaş (2008), çalışmalarında bir asenkron motor için PI katsayılarının optimum değerlerini belirlemek için bulanık genetik algoritma kullanmışlardır. Elektrik makinelerin, güç dönüştürücüsünün ve kontrolörün doğrusal olmama durumu nedeniyle elektrikli tahrik kontrol cihazının ayarlanması karmaşık bir problemdir. Bu nedenle ilk olarak bulanık mantık ile sistem değişkenleri tanımlanmış, ikinci adımda genetik algoritmanın amaç fonksiyonu belirlenmiş ve çalışmalarının hedefi olan optimum denetleyici katsayılarına ulaşılmıştır. Daha sonra önerdikleri yöntemi, Ziegler-Nichols yöntemiyle karşılaştırmışlardır.

Chu, Kim ve Hong (2008), çalışmalarında tünel havalandırma sistemleri için GA tabanlı bir bulanık denetleyici tasarlamışlardır. Tünel havalandırma sisteminde sürücülere konforlu ve güvenli bir sürüş ortamı sağlamak için sistemin karmaşık ve doğrusal olmayan değişkenleri BMD sistemine uyarlanırken, kullanılan güç tüketiminin ve CO kirletici konsantrasyonunun en aza indirilmesi ve ayrıca görünürlük endeksinin (VI) belirli değerler arasında tutulması amaçlanmıştır. FLC sistemi, tüneldeki kirletici seviyesi, geçen araçlardan yayılan kirletici madde seviyesi ve çalışan jet fanlarının sayısı gibi çıktılarından oluşur. Geleneksel bulanık kontrol yöntemleri, basit deneyime ve deneme yanılma yöntemlerine dayanmaktadır. Ancak geliştirdikleri çalışmada, FLC sistemi, stokastik (rastlantısal) bir küresel arama yöntemi olan genetik algoritma (GA) kullanılarak en uygun şekilde yeniden tasarlanmıştır.

Szesz Junior, Monteiro Junior, Dias, Mathias ve Conti (2016) tahıl havalandırma sistemi için temel aldıkları matematiksel modeli kullanarak bulanık kontrol sistemi tasarlamışlardır. Bulanık mantık sistemi ile verilerin depolanması, işlenmesi ve kontrolü için Arduino tabanlı bir bilgisayar programı tasarlamışlar ve sistemi kontrol etmişlerdir. Önerdikleri çalışmanın dinamik havalandırma kontrolü için etkili olduğu, depolanan tahıl kalitesinin bakımının en üst düzeye çıkarıldığı ve geliştirilebilme potansiyeline sahip bir proje olduğu belirtilmiştir.

Fernandez ve ark. (2015) Arduino mikrodenetleyici kullanılarak fan hızının kontrolü için bulanık mantık algoritmasının tasarımı geliştirmişlerdir. Bu çalışmanın amacı fan hızını ayar noktasının kontrol edilmesidir. Sıcaklık kontrol sistemi, Matlab Fuzzy Logic Toolbox ile tasarlanmış olup, kontrol sisteminde Sugeno stili bulanık çıkarım sistemi ve üçgen üyelik fonksiyonları kullanılmıştır. Ayrıca bulanık mantık algoritması C dilinde türetilmiş ve Arduino IDE'de gerçekleştirilmiştir. Araştırmacılar, istenen çıktıyı elde etmek ve ayar noktasına ulaşmak için

deneme yanılma yöntemini kullanmışlardır. Giriş parametreleri voltaj hatası ve hata değişimidir. Bu parametreler “Sıfır (Z)”, “Pozitif (P)” ve “Negatif (N)” olarak sınıflandırılmıştır. Çıkış parametresi, “Çok Soğuk”, “Soğuk”, “Sıcak”, “Sıcak” ve “Çok Sıcak” olarak sınıflandırılan voltaj çıkışıdır. Sistem, bulanık kontrolün karmaşıklığını kolaylaştırmak için bir arama tablosu kullanır. Araştırmacıların elde ettiği sonuçların güvenilir olduğu deneysel olarak doğrulanmıştır.

Çalışmamızın ilk bölümünün konusu olan bulanık genetik sistemler hakkında yapılan çalışmalar genel olarak incelendiğinde; amaç fonksiyonunun optimizasyon işlemlerinde (Kıyak ve Kahvecioğlu, 2003), bulanık kuralların belirlenmesinde (Yuan ve Zhuang, 1996), bulanık sistemin giriş üyelik parametrelerinin ve şeklinin belirlenmesinde (Zhang, vd., 2009), ek olarak hem giriş hem de çıkış bulanık üyelik değerlerinin optimizasyonunda (Zhang, vd., 2009) kullanıldığı gözlemlenmiştir. Çizelge 1.1’de GA ile yapılan araştırmaların karşılaştırmalı değerlendirilmesi yapılmıştır.

Çizelge 1. 1. Genetik Algoritma ile yapılan araştırmaların karşılaştırılması

Yazarlar	Deneysel Tasarım Süreci	Kullanılan Yöntem	Kullanılan donanım ve yazılım	Karşılaştırmalı Sonuçlar
Bushnag (2022)]	-Havalandırma sisteminin hız ve çalışma süresi BMD ile kontrol edilmektedir. Hava Kalitesi, Sıcaklık, Nem değerleri ikişer olarak karşılaştırılarak havalandırma sistemi kontrol edilmiştir. -GA kullanılmamıştır. -Herhangi bir optimizasyon yapılmamıştır.	-Bulanık Mantık Denetleyicisi- BMD	-Arduino	- GA kullanılmamıştır. -Herhangi bir optimizasyon yapılmamıştır.
Labellapansa (2019)	Yanlış yangın alarmlarını önleyen erken uyarı sistemi yapılmıştır.	-BMD	-Arduino	-GA kullanılmamıştır. -Herhangi bir optimizasyon yapılmamıştır.
Kumar (2016)	BMD tarafından, gerçek bir yangın çıkmadan önce gaz kaçaqlarının varlığını tespit edebilen ve haneye izinsiz girişleri tespit edebilen entegre bir izleme ve uyarı cihazı geliştirilmiştir. Uyarı sistemi GSM üzerinden mesaj ve aramalar ile gerçekleştirilmektedir.	-BMD	-Arduino, -BMD, -GSM	-GA kullanılmamıştır. -Herhangi bir optimizasyon yapılmamıştır. -Çalışmalarında GSM kullanılmıştır, bizim çalışmamızda GSM kullanılmamıştır.
Herman, Panessai and Shamsuddin (2009)	Bulanık Genetik Algoritma (BGA)’nın performansını iyileştirmek için popülasyon büyüklüğü, çaprazlama ve mutasyon oranındaki değişimlerin sistem performansını nasıl etkilediği gösterilmiş ve problem için elde edilebilecek en iyi sonuca ait GA parametrelerine ulaşılmıştır.	-Bulanık Genetik Algoritma- BGA (FGA) -Gerçek Kodlu Genetik Algoritma - GGA (RGA)	-Teorik olarak gerçekleştirilmiştir.	-Arduino kullanılmamıştır. -2 giriş ve 1 çıkış kullanılmış -Bizim çalışmamızda 3 giriş ve 1 çıkış kullanılmıştır.

Yuan and Zhuang (1996)	Bulanık sınıflandırma problemi için en iyi sistemin diğer öğrenme yöntemlerine göre, bulanık genetik sistem olduğunu ve sistem verimini artırdığı sonucuna varmışlardır. Mevcut kurallardan gizli kurallar elde edilerek bulanık kuralların kapsam ve doğruluğu artırılmıştır.	-Bulanık Sınıflandırma, -Makine öğrenmesi, -Gerçek Kodlu Genetik Algoritma - GGA (RGA)	-Teorik olarak gerçekleştirilmiştir	-Sınıflandırma problemi için Genetik Algoritma kullanılmıştır. -Arduino kullanılmamıştır.
Zhang (2009)	GGA tabanlı bulanık sistem genetik öğrenme kullanılarak üyelik fonksiyonlarının hem ağırlık merkezlerinin hem de tepe noktalarının değiştirilmesi ile genetik optimizasyon gerçekleştirmişlerdir.	-BMD, GGA	-Teorik olarak gerçekleştirilmiştir.	-Arduino kullanılmamıştır. -1 giriş, 1 çıkış kullanılmıştır. -Bizim çalışmamızda 3 giriş ve 1 çıkış kullanılmıştır.
Arslan ve Kaya (2001)	Çalışmanın amacı, üyelik fonksiyonlarının şeklini ayarlamaktır, çalışmanın yenilikçi yönü ise üyelik fonksiyonlarının türünü belirlemektir. Önerilen yöntem, bulanık sistem üzerinde geliştirilmiş bir GA kullanılarak gerçekleştirilmiştir.	-BMD, GA	-Teorik olarak gerçekleştirilmiştir.	-4 giriş ve 1 çıkış kullanılmıştır. -Bizim çalışmamızda 3 giriş ve 1 çıkış kullanılmıştır. -İkili genetik kodlama kullanılmıştır.
Hu (2007)	GA'nın çaprazlama ve mutasyon olasılıklarının değiştirilmesi ile çevrimiçi kendi kendini uyarlayan sistemin ayarlamalarına rehberlik edilerek sistemin optimizasyon yeteneği ve yakınsama hızı artırılmıştır.	-Kendinden Uyarlanabilir Genetik Algoritma (SAGA-Self Adaptive Genetic Algorithm) -BMD, GGA	-Teorik olarak gerçekleştirilmiştir.	- En iyi genetik operatörler, GA parametrelerinin kendi kendine uyarlanmasıyla elde edilmiştir. - Çalışmamızda GA parametreleri manuel olarak girilmiştir. - 8 V Ultra Kapasitör (UK-UC) modül kullanılmıştır.
Erdoğan, Uzunoglu, ve B. Vural (2009)	Hibrit elektrikli araçlarda yakıt hücresi (YH) ve ultrakapasitör (UK) kullanım değerleri ile talep edilen güç miktarı arasındaki ilişki genetik algoritma ile optimize edilerek daha verimli bir sistem tasarlanmıştır. BMD'nin hem girdilerinin hem de çıktıların üyelik değerleri genetik algoritma ile optimize edilmiştir.	-BMD, GGA	-88 hücre ve 165 hücreden oluşan 5 kW'lık bir FC yığını -F-48 V UC modülleri kullanılmıştır.	-Arduino kullanılmamıştır. -Hem girişler hem de çıkışlar optimize edilmiştir. - Çalışmamızda sadece giriş üyelik değerleri optimize edilmiştir.
Kıyak ve Kahvecioğlu (2003)	Uçuş kontrol problemini ele almışlar ve amaç fonksiyonunu uçağa zarar gelmesini önlemek için dikey hız ile orantılı olarak irtifayı azaltacak şekilde tasarlanmışlardır. BMD sisteminde, gerekli Kontrol Gücü değerine ulaşmak için yükseklik ve dikey hız üyelik değerleri optimize edilmiştir.	-BMD	-Teorik olarak gerçekleştirilmiştir	-Genetik Algoritma kullanılmamıştır.
Homaifar ve McCormick (1995)	BMD tarafından kontrol edilen 2 ayrı araç kontrol sisteminde GA'yı kullanarak hem x pozisyonunu hem de hızı sifıra indirmek için gereken süreyi en aza indirmeye	-BMD, GGA	-Araç Kontrol -Kamyon Kontrol -555 PWM Motor Kontrol -757 Motor Kontrol	- BMD sistemindeki üyelik fonksiyonlarını ve kural kümelerini aynı anda belirlemek için genetik optimizasyon

	çalışmışlar ve sonuç olarak optimum kontrolör değerlerine ulaşmışlardır. BMD sistemindeki üyelik işlevlerini ve kural kümelerini aynı anda belirlemek için genetik optimizasyon kullanmışlardır.			kullanılmışlardır. -Arduino kullanılmamıştır.
Üstün ve Demirtaş (2008)	Asenkron motor için PI katsayılarının optimum değerlerini belirlemek için bulanık bir genetik algoritma kullanılmıştır. Makinelerin, güç dönüştürücüsünün ve kontrolörün doğrusal çalışmaması nedeniyle öncelikle problemin amaç fonksiyonu oluşturulmuş, daha sonra genetik optimizasyon ile optimal kontrolör katsayılarına ulaşılmıştır.	-BMD, GGA	-dsPICDEM Motor Kontrol	- Çalışmalarını Ziegler-Nichols yöntemiyle karşılaştırmışlardır. -Arduino kullanılmamıştır.
Chu, Kim ve Hong (2008)	BMD ile tasarlanan tünel havalandırma sisteminde, kirlenme seviyesini ve enerji tüketimini en aza indirmek için 2 amaç fonksiyonu belirlenmiştir. BMD'siz Durum 1, BMD 'li Durum 2 (deneme yanılma yöntemi) ve GA kullanılarak optimize edilmiş bulanık kontrol kullanılan Durum 3'ün performansları karşılaştırılmıştır. GA'nın kullanıldığı sistem ile işlem performansının üyelik değeri K jet fan sayısının çarpanı için daha iyi sonuçlar verdiği rapor edilmiştir.	-BMD, GGA	-Tünel havalandırma sistemi	- GGA da çalışmamıza benzer şekilde kullanıldı. -Arduino kullanılmamıştır.
Fernandez ve ark. (2015)	Arduino ile Bulanık mantık sistemi üzerinden sıcaklık fan ayarı gerçekleştirilmiştir.	-BMD, GGA -Arduino	-5 LEDs, 1 LCD, 2 Fan, 2 ısı lambaları -Arduino Atmega 2560 -Matlab Fuzzy Logic Toolbox	Giriş parametreleri voltaj hatası ve hata değişimidir. Çıkış parametresi, voltaj çıkışıdır
Önerilen Çalışma	Ortam havasının takibi ve kontrolü BMD ile Arduino üzerinden yapılmıştır. Sistemin daha iyi sonuçlara ulaşabilmesi için bulanık mantık giriş üyelik değerleri genetik algoritma ile optimize edilmiş ve sonuç olarak RMSE hata oranında azalma gözlemlenmiştir.	- BMD, GGA	-Arduino -Isıtma ve havalandırma sistemleri	- BMD sistemindeki üyelik fonksiyonlarını belirlemek için genetik optimizasyon kullanılmıştır. -Arduino kullanılmıştır.

Çalışmamızın ikinci bölümünün konusu olan iç ortam aydınlatması ile ilgili çalışmalar aşağıda açıklanmıştır.

Caldo ve ark. (2015) Arduino mikrodenetleyicisi ile dimmer aydınlatma sistemini otomatik şekilde kontrol etmek için bulanık kontrol mantık sisteminden yararlanmışlardır. Bulanık sistemin girişleri olarak ortamın aydınlık değeri ve odanın aydınlık değeri kullanılmış ve çıktı olarak LED lambanın çalışma parlaklık düzeyi belirlenmiştir. LED lamba DC güç kaynağın Darbe Genlik Modulasyonu- Pulse Width Modulation (PWM) ile kontrol edilmiştir. Kontrol sistemi ile odadaki aydınlatma durumuna bağlı olarak LED lambaların parlaklığı otomatik olarak ayarlanmıştır. Oda aydınlatmasının değerini JESNA'ya (Kuzey Amerika Aydınlatma Mühendisliği Derneği) göre yaklaşık 300 lüks olarak belirlemişlerdir. Çalışmada kullanılan kontrol sisteminin amacı, odanın aydınlatma seviyesine göre çıkış ışık seviyesini değiştirerek elektrik tüketimini azaltmaktır. Bu çalışma ile LED lambaları ve diğer elektrikli cihazları kısabilen, kapatabilen ve açabilen verimli bir otomatik aydınlatma sistemi tasarlanmıştır.

Manav B. ve Yener C., (2017) çalışmalarında bireylerin iç mekan algısına farklı aydınlatma düzenlemelerinin etkilerini incelemişlerdir. Aydınlatma algısı subjektif bir yorum olduğu için bu çalışmada aydınlatma sistemlerinin kullanıcıların algısı üzerinde ne kadar etkili olduğu karşılaştırmalı olarak ortaya konulmaya çalışılmıştır. Netlik, ferahlık (genişlik), rahatlık, mahremiyet, beğeni ve düzen olarak altı izlenim test edilmiştir. Farklı aydınlatma düzenlemeleri altındaki izlenimler ile yaş, cinsiyet ve göz kusurları gibi faktörlerin birbirleri arasındaki ilişki araştırılmış ve aynı ortamda farklı aydınlatma düzeylerinin tercih edildiği belirtilmiştir.

Li., Lou, Yuan, Shi, Wang, Zhou ve Wu, (2022) çalışmalarında, iç mekan gün ışığı seviyelerinin hastaların klinik iyileşme süreçlerine olan etkilerini incelemişlerdir. Bu amaçla iç mekan gün ışığı seviyelerinin hastane maliyetleri ve genel cerrahi servislerinde hasta popülasyonunun büyük bölümünün ortalama kalış süresi üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir. Araştırmacılar Zhejiang Üniversitesi Tıp Fakültesi Ocak 2015 ile Ağustos 2020 arasında genel cerrahi hasta odalarında gün ışığı seviyelerini ölçmüşler ve elde ettikleri değerlerin, hastaların toplam hastane maliyetleri ve kalış süreleri ile ilişkisini değerlendirmişlerdir. Düşük ışık grubu ile yüksek ışık grubu arasında anlamlı bir fark bulunmamasına rağmen elde ettikleri veriler, okuma yazma bilmeyen hastaların pencerelerinden gelen doğal ışığın varlığından olumlu etkilendiklerini göstermektedir. Altta yatan fizyolojik ve sosyal psikolojik mekanizmaları bulmak için daha fazla araştırma yapılması gerektiği ve bu çalışmanın, belirli bir popülasyonun iyileşmesini hızlandıracak iç ortam çevresel faydalarını artırmak için sağlık tesislerine ait tasarım kılavuzlarının geliştirilmesine ışık tutabileceğine düşünülmüştür.

Çizelge 1.2’de aydınlatma ile ilgili yapılan araştırmaların karşılaştırılması yapılmıştır.

Çizelge 1. 2. Aydınlatma ile ilgili yapılan araştırmaların karşılaştırılması

Yazarlar	DeneySEL Tasarım Süreci	Kullanılan Yöntem	Kullanılan donanım ve yazılım	Karşılaştırmalı Sonuçlar
Caldo ve ark. (2015)	-Arduino mikrodenetleyicisi ile dimmer aydınlatma sistemini otomatik şekilde kontrol etmek için bulanık kontrol mantık sisteminden yararlanılmışlardır. Bulanık sistemin girişleri olarak ortamın aydınlık değeri ve odanın aydınlık değeri kullanılmış ve çıktı olarak LED lambanın çalışma parlaklık düzeyi belirlenmiştir.	-BMD -PWM Modülasyon	-Arduino -LED - Matlab - BMD	Led lamba ile 5V. ile çalışılmıştır.
Manav B. ve Yener C., (2017)	-Farklı aydınlatma düzenlemeleri altındaki izlenimler ile yaş, cinsiyet ve göz kusurları gibi faktörlerin birbirleri arasındaki ilişki araştırılmış ve aynı ortamda farklı aydınlatma düzeylerinin tercih edildiği belirtilmiştir.		-DeneySEL gözlemler	-Ergonomik olarak aydınlatma etkileri incelenmiştir.
Li., Lou, Yuan, Shi, Wang, Zhou ve Wu, (2022)	-İç ortam gün ışığı seviyelerinin hastaların klinik iyileşme sürecine etkisini incelemiştir.	- Genel cerrahi hasta odalarında gün ışığı seviyelerinin toplam hastane maliyetleri ve iyileşmeleri arasındaki ilişki değerlendirilmiştir.	-Arduino, -BMD, -GSM	-İç mekan gün ışığı seviyelerinin hastane maliyetleri ve genel cerrahi servislerinde hasta popülasyonunun ortalama kalış süresi üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir.
Önerilen Çalışma	Ortam doğal aydınlatma değerinin BMD ile değerlendirilmesi ile PWM Modülasyon ve dimmer röleler aracılığı ile iç ortam aydınlık değeri ayarlanmıştır.	-BMD -Arduino -PWM Modülasyon	-Arduino, -BMD, - Dimmer Röle	-BMD ile dimmer röleler ile 220V ile aydınlatma armatürleri kontrol edilmiştir.

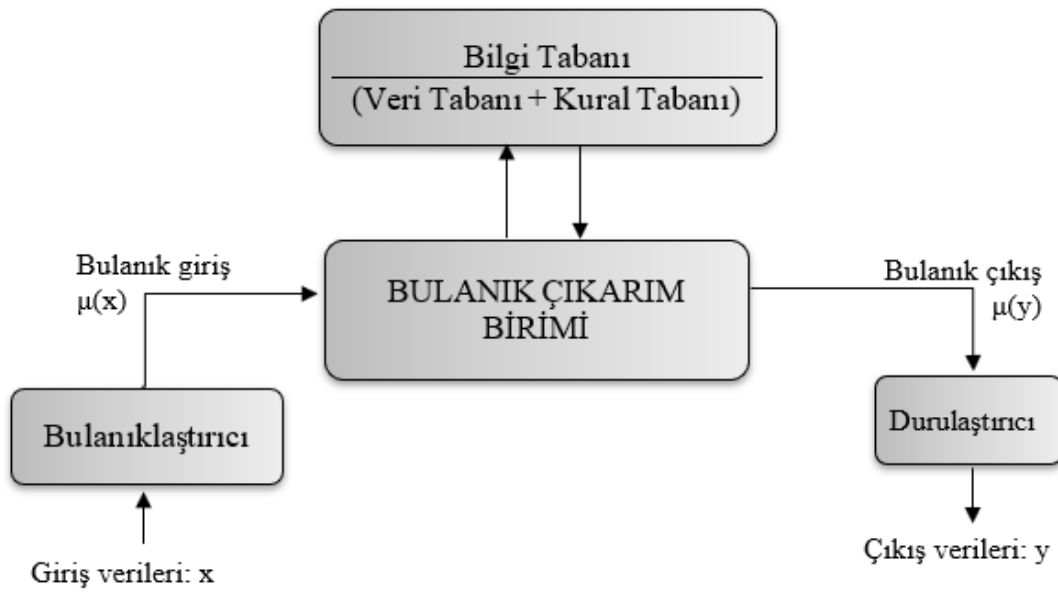
Sonuç olarak; Arduino ile yapılan çalışmalarda çoğunlukla sistem çıkışı olarak PWM doğru akım 5 V gerilim kullanılırken, çalışmamızda sistem çıkışı olarak 220 V kullanılmakta ve çıkışlar dimmer röleler ile kademeli olarak çalıştırılmaktadır. Önerilen sistemin aktivasyonu hareket sensörü ile sağlanmakta böylece sistemin, dışarıdan müdahaleye gerek kalmadan çalışması sağlanmaktadır. Tasarlanan çalışmanın bu iki özelliği sebebi ile enerji tasarruf odaklı bir sistem olması sağlanmaya çalışılmıştır.

Öncelikle oluşturulan BMD sistemi üzerinde anlık ölçüm yapan 3 giriş (Sıcaklık, Hava Kalitesi ve Nem değişkenleri) tanımlanmış ve 2 çıkış (Havalandırma ve Isıtıcı) belirlenmiştir. Çıkışların tek tek ele alınarak tasarlandığımız sistemde bulanık sistem giriş üyelik değerleri genetik algoritma ile optimize edilmiş ve böylece sistem verimliliği arttırılmıştır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Bulanık Mantık

Bulanık mantık, insanların kesin olmayan ve sayısal olmayan verilere dayalı olarak kararlar aldıkları izlenimlerine dayanmaktadır. Bulanık modeller veya kümeler, belirsizliği ve kesin olmayan bilgileri temsil etmenin matematiksel araçlarıdır. Bir bulanık sisteminin temel yapısı Şekil 2.1'de gösterilmektedir. Bulanık Mantık, California Üniversitesi elektrik mühendisliği ve bilgisayar bilimleri bölümünün eski başkanı Profesör Lofti Zadeha tarafından geliştirilmiştir.



Şekil 2. 1. Bulanık Çıkarım Birimi (Ataşoğlu, 2019)

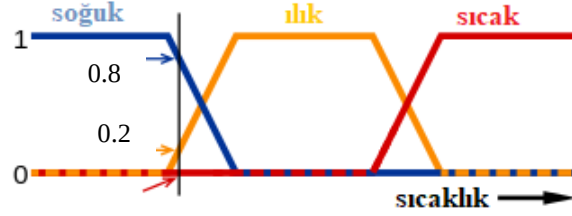
Bulanıklaştırıcı: Sisteme giriş olarak dahil edilmiş değerleri, üyelik fonksiyonu kullanarak 0 ile 1 arasında bulanık değerlere dönüştüren birimdir. Başka bir deyişle, bulanıklaştırıcı işlemi ile her bir girdi değerinin bulanık kümelerle olan üyelik derecesi hesaplanır.

Buharlı Çıkarım Birimi: Bu bölümde, bilgi tabanıyla işbirliği yapılarak bulanık değerlerden sonuç çıkarılmaya çalışılır. Bilgi tabanında, bu bulguların neye göre ve nasıl elde edildiği kaydedilir.

Bilgi Tabanı: Bilgi tabanı veri tabanı ve kural tabanına göre gelecek veriler için hangi çıkarımların yapılacağıyla ilgili kuralları içerir. Bulanık kümeler arasındaki ilişkileri tanımlayan kurallar burada saklanır.

Durulaştırıcı: Çıkış verilerin bulanık değer aralığından anlamlı çıkış değerlerine dönüştürülmesi işlemidir. Durulaştırma işlemi bulanık değerlerin belirli bir aralığa göre ölçeklendirilmesi yoluyla ile yapılır.

Şekil 2.2, sıcak, ılık ve soğuk ifadelerinin anlamlarını gösteren sıcaklık ölçeğini haritalayan fonksiyonları gösterir. Görüntüdeki dikey çizgi üzerindeki oklar, üç fonksiyonu gerçekleyen doğruluk değerlerinin ölçüldüğü belirli bir sıcaklığı temsil etmektedir.



Şekil 2. 2. Bulanık mantık sıcaklık gösterimi

Kırmızı ok sıfırı gösterdiği için bu sıcaklık "**sıcak değil**" olarak yorumlanabilir; yani bu sıcaklığın "sıcak" bulanık kümesinde sıfır üyeliği vardır.

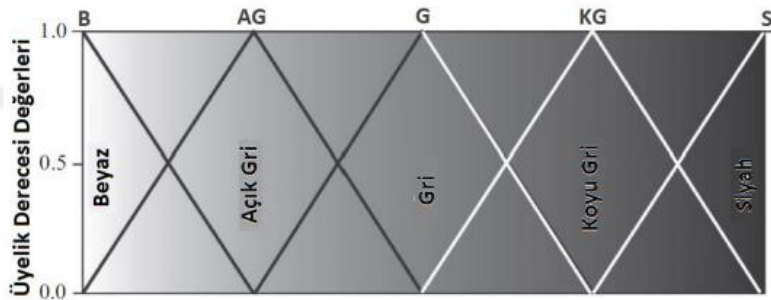
Turuncu ok (0,2'yi gösterir) onu "**biraz sıcak**" ve

Mavi ok (0,8'i gösterir) "**oldukça soğuk**" olarak tanımlayabilir.

Bu sıcaklık değeri; 0,2 üyelik ile "sıcak" bulanık kümede ve 0,8 üyelik ile "soğuk" bulanık kümeye sahiptir. Her bulanık küme için atanan üyelik derecesi, bulanıklaştırmanın sonucudur.

Belirsizlik bulanıklığı oluşturur. Bir veri keskin bir kümeye dahil değilse, onu ifade etmek için en uygun yöntem, ilişkili olduğu kategorilere göre üyelik derecesini belirtmektir.

Bulanık üyelik fonksiyonları $[0,1]$ aralığında tanımlanırlar. 0 değeri bulanık ifadenin mevcut küme ile hiçbir bağlantısının olmadığını gösterirken, 1 değeri ile (%100 oranı i)le tam bir ilişkinin bulunduğunu ifade etmektedir. Bulanık kümeleri ifade etmek için çok çeşitli geometrik şekil kullanılmaktadır. Şekil 2.3'te üçgensel üyelik fonksiyonlarının kullanılması ile bulanıklaştırılan siyah-beyaz renk evreni görülmektedir.



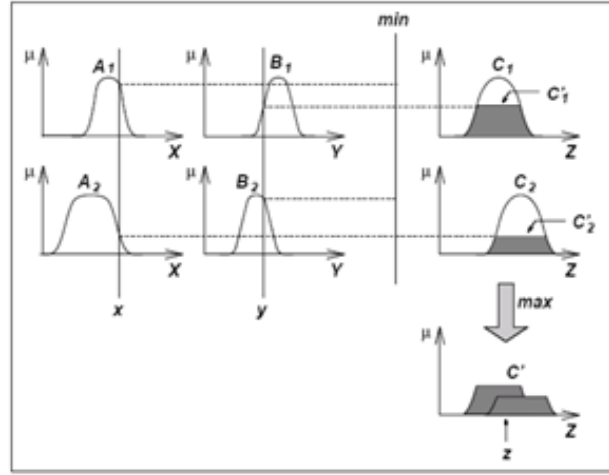
Şekil 2. 3. Üyelik fonksiyonları ile bulanıklaştırılmış siyah-beyaz renk evreni

2.1.1. Bulanık Çıkarım Yöntemleri

Bulanıklaştırılmış üyelik fonksiyonları ile ifade edilmiş bir sistem için kesin değere ulaşma işlemine bulanık çıkarım işlemi denilmektedir. Giriş değerlerinin tetiklediği kurallara göre, üyelik değerleri hesaplanır. Daha sonra hesaplanan değerler, kuralların içerisinde geçen ve/veya mantıksal bağlaçlara göre max ya da min operatörüne verilirler. Eğer, kural içerisinde geçen olgular birbirine ‘ve’ ile bağlıysa, hesaplanan üyelik değerleri min operatörüne; ‘veya’ ile bağlıysa max operatörüne verilir. Bu operatörler, adlarından da anlaşılabilir gibi, aldıkları birden çok değer arasından en küçüğü ya da en büyüğü döndürürler.

Şekil 2.4’de gösterildiği üzere Max-Min operatörü sonucunda Denklem 2.1 sonucu elde edilecektir:

$$\left. \begin{array}{l} \text{Kural 1: Eğer } x = A_1 \text{ VE } y = B_1 \text{ ise } z = C_1 \\ \text{Kural 2: Eğer } x = A_2 \text{ VE } y = B_2 \text{ ise } z = C_2 \end{array} \right\} C' = C_1 + C_2 \quad (2.1)$$



Şekil 2. 4. Mamdani tipi bulanık çıkarım örneği (Yılmaz M. ve Arslan E., 2005)

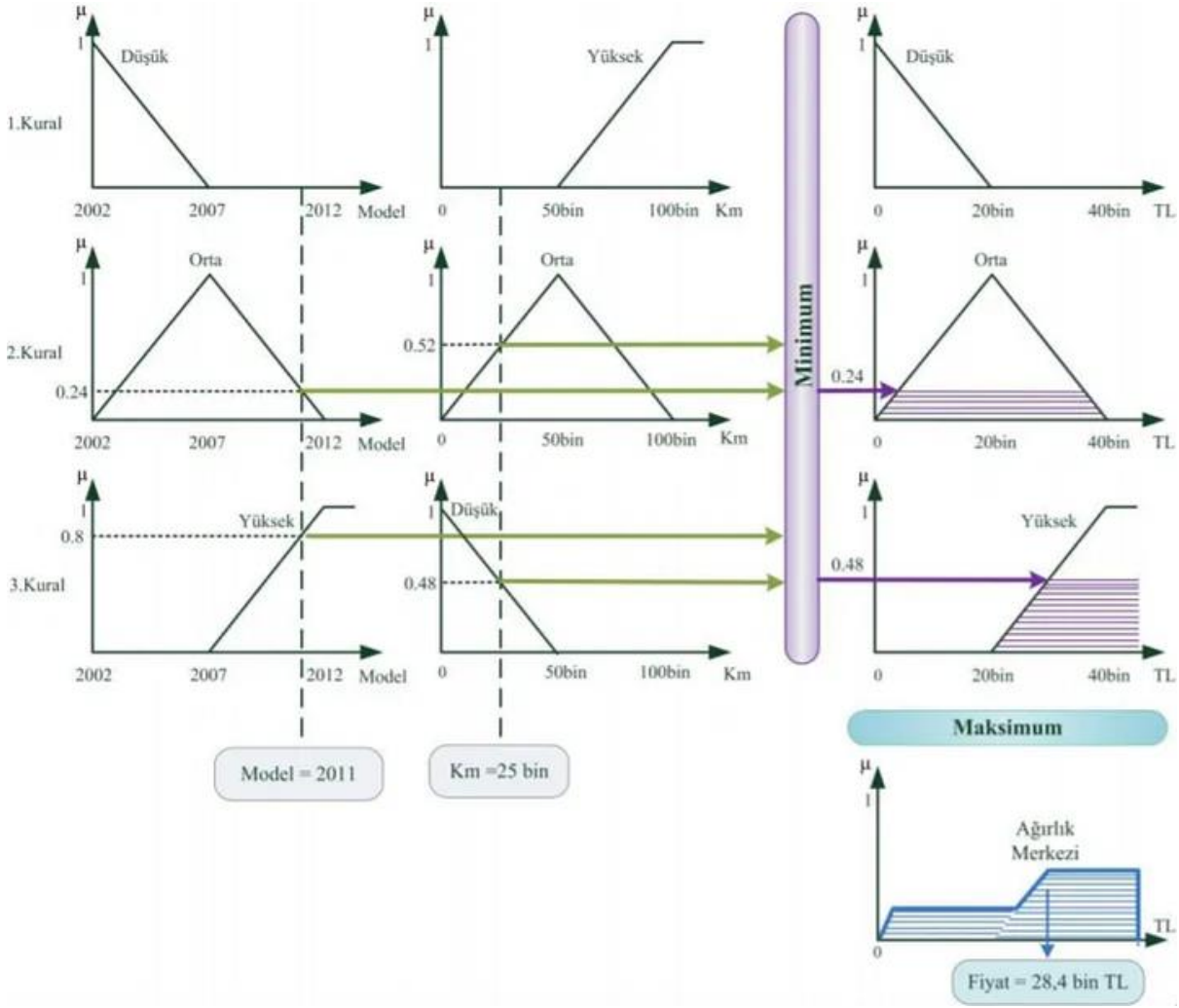
Bulanık sistemlerde en çok kullanılan çıkarım yöntemleri Mamdani Çıkarımı ve Sugeno çıkarım yöntemleridir. Bu yöntemlere ek olarak; Tsukamoto çıkarımı ve Larsen çıkarımı yöntemleri de kullanılan yöntemler arasında yer almaktadır.

Mamdani Çıkarımı

Mamdani çıkarımının insan algısına daha çok hitap etmesi, tasarımının nispeten basit olması ve yorumlanabilirliğinin daha fazla olması sebebi ile en yaygın olarak kullanılan bulanık çıkarım yöntemi olmuştur. Mamdani çıkarımında giriş ve çıkışlar bulanık değerlerdir. Giriş değerlerinin tetiklediği kurallara göre, üyelik değerleri hesaplanır ve kuralların içerisinde geçen ve/veya mantıksal bağlaçlarına göre maksimum ya da minimum operatörüne verilirler. Eğer, kural içerisinde geçen olgular birbirine ‘ve’ ile bağlıysa, hesaplanan üyelik değerleri min operatörüne;

‘veya’ ile bağlhyrsa maksimum operatörüne verilir. “Max” veya “Min” operatörleri adından da anlaşılacağı üzere aralarındaki en küçük ya da en büyük değere göre işlem görürler.

Örneğin ikinci el arabaların model ve kilometre bilgisini tutan bir veri tabanı üzerinden araçların yaklaşık fiyatlarını tahmin eden bir bulanık sistem tasarlanmak istendiğinde öncelikli olarak giriş ve çıkışlar için üyelik değerleri belirlenir (Ataşoğlu, 2019).



Şekil 2. 5. Araç problemi için uygulanan Mamdani Bulanık Mantık Yöntemi çıkarımı örneği

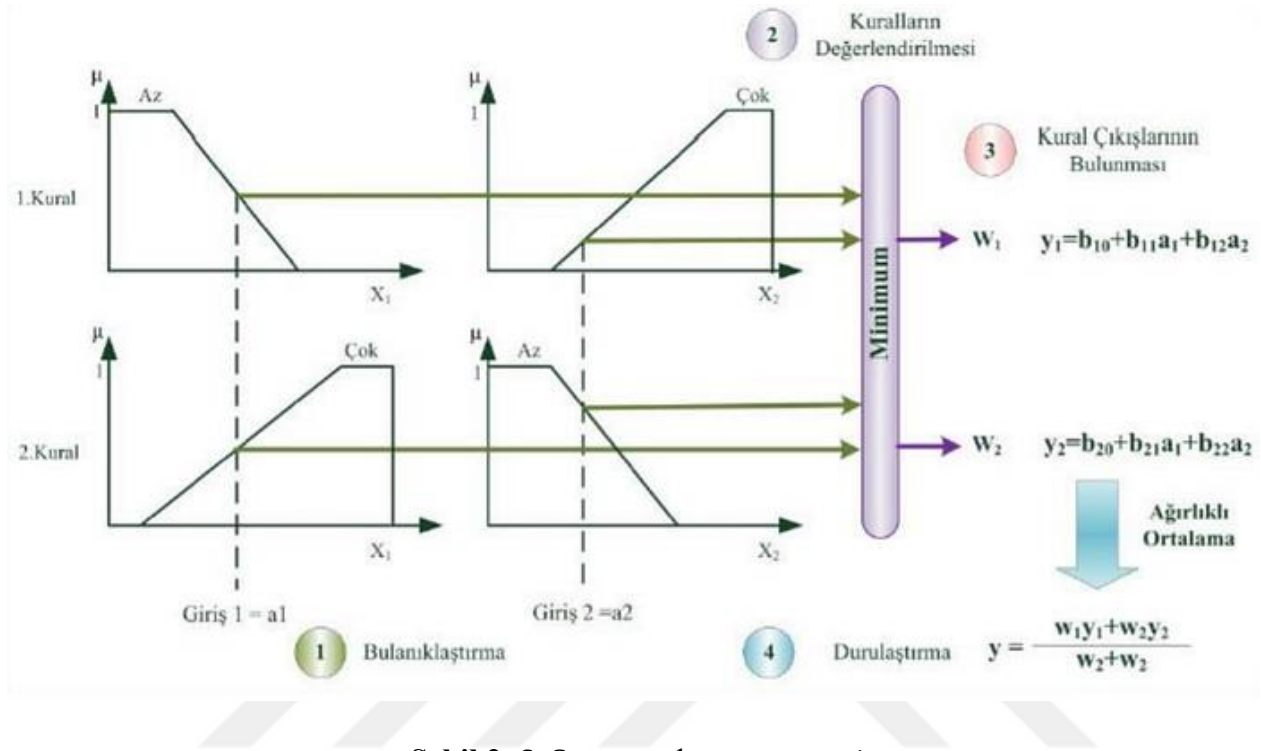
Şekil 2.5 ve Denklem 2.2’de gösterilen araç problemi için uygulanan Mamdani çıkarımı örneği:

- **KURAL 1:** EĞER model **Düşük** VE kilometre **Yüksek** ise, O HALDE fiyat **Düşüktür**.
- **KURAL 2:** EĞER model **Orta** VE kilometre **Orta** ise, O HALDE fiyat **Ortadır**.
- **KURAL 3:** EĞER model **Yüksek** VE kilometre **Düşük** ise, O HALDE fiyat **Yüksektir**.
-

$$\mu_c = \text{Max}\{\text{Min}(\mu_A(m), \mu_B(n))\} \quad (2.2)$$

Sugeno Çıkarımı

Sugeno çıkarımı özellikle kontrol problemleri için çok tercih edilmektedir. Sugeno çıkarımının Mamdani çıkarım yönteminden farklı olarak çıkış değerinin bir fonksiyon şeklinde genellikle de polinom şeklinde ifade edilmesidir.



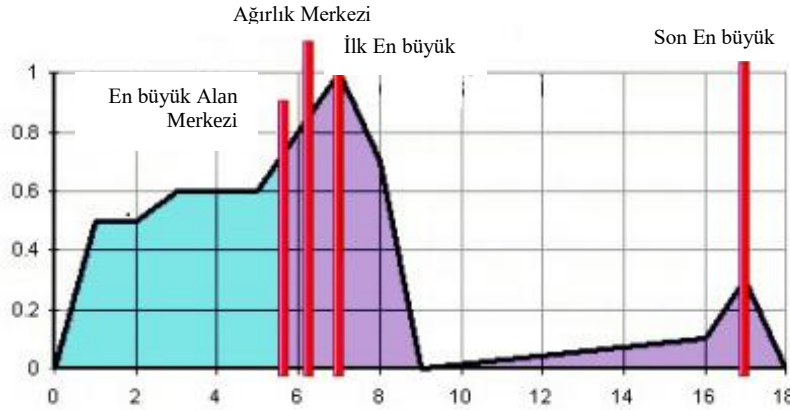
Şekil 2. 6. Sugeno çıkarım yöntemi

Şekil 2.6'da görüldüğü üzere giriş değerlerine göre y_1 ve y_2 çıkış fonksiyonları oluşturulur, bu değerler w_1 ve w_2 üyelik değerleri kullanılarak durulaştırma işleminden geçirilir ve sonuçta çıkış değeri istenilen şekilde sistemden alınır (Ataşoğlu, 2019).

2.1.2. Durulaştırma ve Keskin Değere Dönüşüm

Max-Min yöntemi ile bulanık mantıksal bir sonuç fonksiyonunun değeri, bulanık çıkarım sonunda geometrik bir şekilde gösterilir, bu değerın keskin değere dönüştürülmesi için durulaştırma işlemi uygulanmalıdır. Bununla birlikte, bulanık mantık literatüründe, durulaştırma sürecini gerçekleştirmek için çeşitli yaklaşımlar geliştirilmiştir.

Başlıca Durulaştırma (Çıkarım) Yöntemleri:



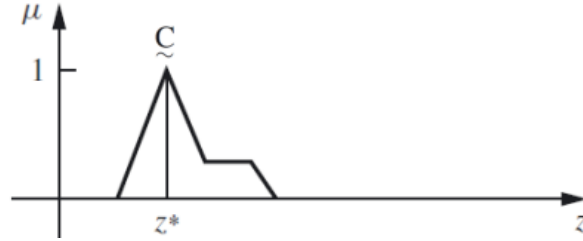
Şekil 2. 7. Başlıca Durulaştırma Yöntemleri

Son yıllarda yayınlanan literatürde, bulanık çıktı fonksiyonlarını durulaştırmak için önerilen birçok yöntemden önde gelenler Şekil 2.7’de gösterilmiş ve aşağıda açıklanmıştır.

- 1- Maksimum üyelik yöntemi
- 2- İlk En Büyük (First of Max) ve Son En Büyük (Last of Max) Yöntemi
- 3- Maksimum Üyelik değerlerinin Ortalaması Yöntemi
- 4- Ağırlık Merkezi (Centroid Model) Yöntemi
- 5- Ağırlıklı Ortalama Yöntemi
- 6- Toplamların Ortalaması Yöntemi
- 7- En büyük alan merkezi yöntemi

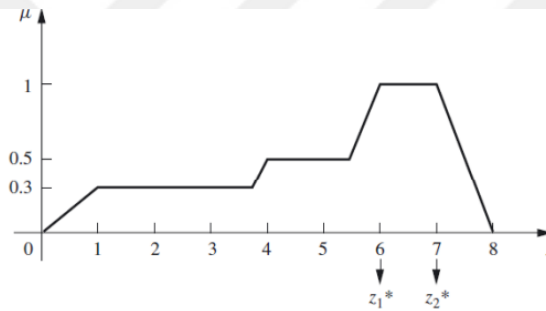
1-Maksimum üyelik yöntemi: Yükseklik yöntemi olarak da bilinen bu yöntem, zirveye ulaşan çıktı fonksiyonlarından oluşur. Burada z^* durulaştırılmış değerdir ve Şekil 2.8'de grafiksel olarak gösterilmiştir. Bu yöntem cebirsel olarak Denklem 2.3 şeklinde ifade edilir.

$$\mu_c(z^*) \geq \mu_c(z) \text{ her } z \in Z \quad (2.3)$$



Şekil 2. 8. Maksimum üyelik yöntemi

2- İlk En Büyük (First of Max) ve Son En Büyük (Last of Max) Yöntemi



İlk en büyük çözümü $z_1^*=6$ ve Son en büyük sonucu $z_2^*=7$

Şekil 2. 9. İlk en büyük (First of Max) ve Son en büyük (Last of Max) Yöntemi

Bu yöntem, Denklem 2.4'te gösterildiği üzere maksimum üyelik derecesine sahip alanın en küçük değerini belirlemek için tüm bireysel çıktı bulanık kümelerinin toplam çıktısını veya birleşimini kullanır.

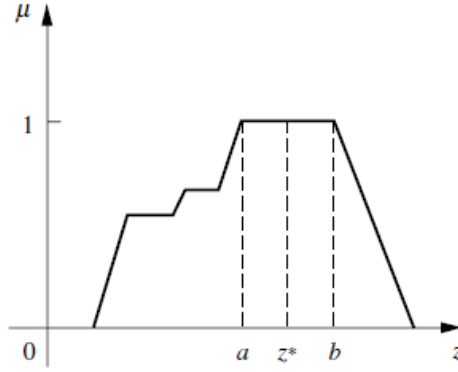
$$hgt C_k = \sup_{z \in Z} \mu_{C_k}(z) \quad (2.4)$$

Zirve (Supremum-sup) en küçük üst sınırdır Denklem 2.5 ile ifade edilir ve asgari(infimum-inf) en büyük alt sınırdır ve Denklem 2.6 ile ifade edilir. Bu yöntem grafiksel olarak Şekil 2.9'da gösterilmiştir.

$$z^* = \sup_{z \in Z} \{z \in Z | \mu_{C_k}(z) = hgt C_k\} \quad (2.5)$$

$$z^* = \inf_{z \in Z} \{z \in Z | \mu_{C_k}(z) = hgt C_k\} \quad (2.6)$$

3-Maksimum Üyelik değerlerinin Ortalaması Yöntemi: Bu yöntem maksimumların ortalaması olarak bilinir. Maksimum üyeliğin konumlarının maksimum üyeliğin tek bir noktadan ziyade bir plato olabilmesi dışında birinci yönteme benzerlik gösterir. Bu yöntem Denklem 2.7 ile ifade edilmektedir. Burada a ve b noktaları Şekil 2.10’da tanımlandığı gibidir.

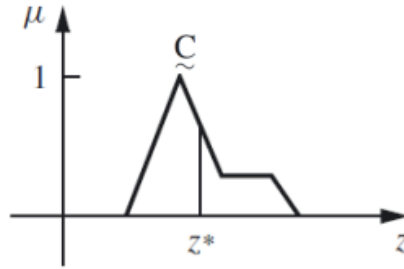


Şekil 2. 10. Maksimum Üyelik değerlerinin Ortalaması Yöntemi

$$z^* = \frac{a+b}{2} \quad (2.7)$$

4- Ağırlık Merkezi Yöntemi (Centroid Model)

Şekil 2.11’de gösterilen yöntem alan merkezi veya ağırlık merkezi yöntemi olarak da adlandırılır. Tüm durulaştırma yöntemleri arasında en yaygın ve kullanışlı olanıdır, Denklem 2.8’de cebirsel olarak ifade ile edilmiştir. Önerdiğimiz bulanık çıkarım sistemimizde bu yöntem kullanılmıştır.

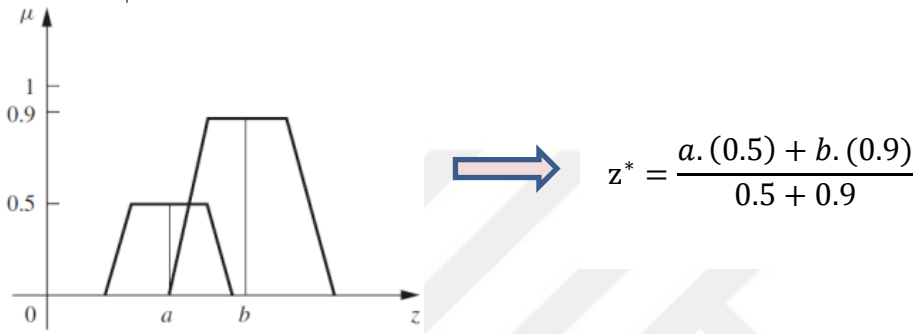


Şekil 2. 11. Ağırlık Merkezi Yöntemi

$$z^* = \frac{\int \mu_c(z) \cdot z \cdot dz}{\int \mu_c(z) \cdot dz} \quad (2.8)$$

5- Ağırlıklı Ortalama Yöntemi

Ağırlıklı ortalama yöntemi, hesaplama açısından daha verimli yöntemlerden biri olduğu için bulanık uygulamalarda sık kullanılan bir yöntemdir. Σ cebirsel toplamı ve $\bar{z}$ simetrik üyelik fonksiyonunun merkezini belirtir. Bu yöntem Şekil 2.12'de gösterilmiştir. Ağırlıklı ortalama yöntemi, çıktıdaki her üyelik fonksiyonunun ilgili maksimum üyelik değeri ile ağırlıklandırılması ile oluşturulur. Örnek olarak, Şekil 2.12'de gösterilen iki fonksiyon için durulaştırılmış değer Denklem 2.9 ile ifade edilir. Yöntem, simetrik üyelik fonksiyonlarıyla sınırlı olduğundan, a ve b değerleri ilgili şekillerinin merkez (orta) noktalarıdır.

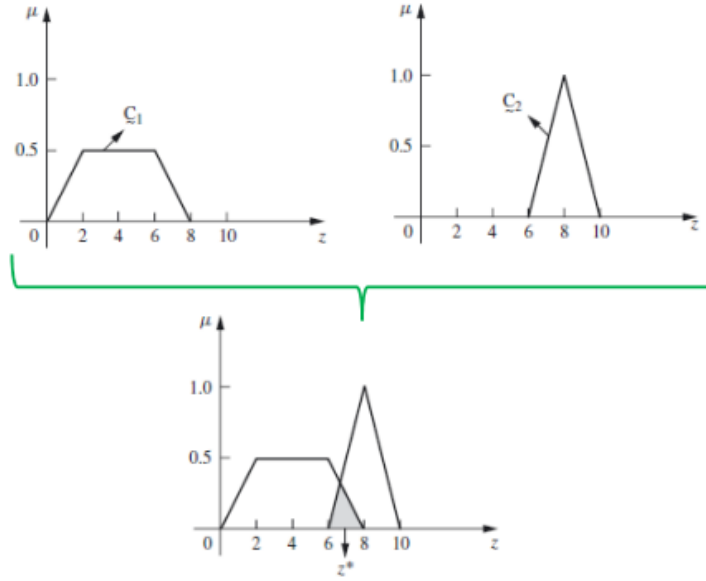


Şekil 2. 12. Ağırlıklı Ortalama Yöntemi

$$z^* = \frac{\sum \mu_c(\bar{z}) \cdot \bar{z}}{\sum \mu_c(\bar{z})} \quad (2.9)$$

6- Toplamların Ortalaması Yöntemi

Şekil 2.13'te sunulan toplamların ortalaması yöntemi, birleşimler yerine bireysel çıktı bulanık kümelerinin (2.10)'da belirtildiği üzere cebirsel toplamını içerir. Bu yöntemin iki dezavantajı bulunmaktadır. Bunlar ilki kesişen alanların iki kez eklenmesi diğeri ise yöntemde bireysel üyelik fonksiyonlarının ayrıca merkezlerinin bulunmasını içermesidir.

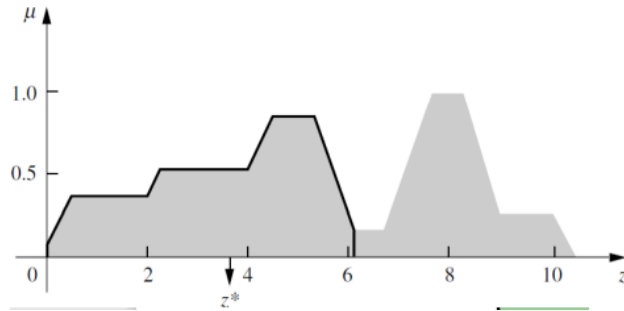


Şekil 2. 13. Toplamların Ortalaması Yöntemi

$$Z^* = \frac{\sum_{k=1}^n \mu_{c_k}(z) \int_z \bar{z} \cdot dz}{\sum_{k=1}^n \mu_{c_k}(z) \int_z dz} \quad (2.10)$$

7- En Büyük Alan Merkezi Yöntemi:

Çıkış kümesinin en az iki dışbükey alt bölgesi varsa, o zaman merkezi en büyük alanın dışbükey bulanık alt bölgesinin ağırlık merkezi kullanılır. Şekil 2.11’de gösterilen yöntemin cebirsel ifadesi Denklem 2.11’de belirtilmiştir.



Şekil 2. 14. En Büyük Alan Merkezi Yöntemi

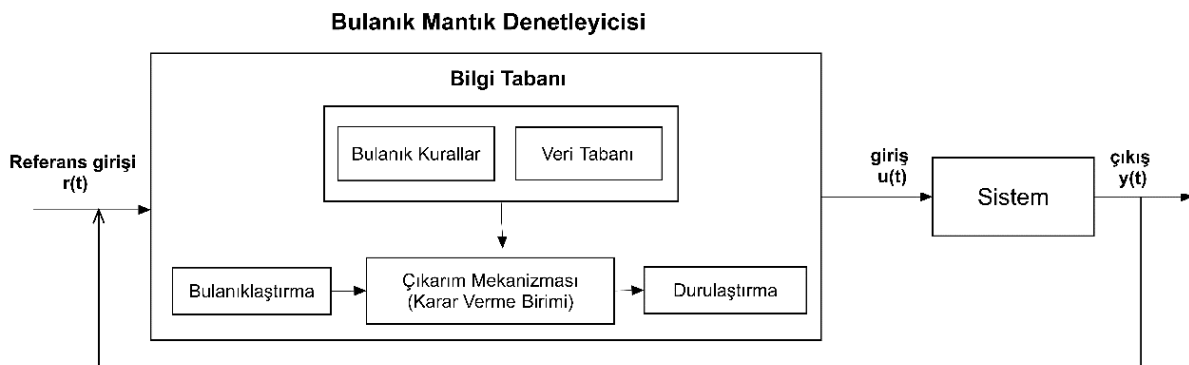
$$Z^* = \frac{\int \mu_c(z) \cdot z \cdot dz}{\int \mu_c(z) \cdot dz} \quad (2.11)$$

2.2. Bulanık Mantık Denetleyicisi (BMD)

Sistemler daha karmaşık hale geldikçe, onları matematiksel olarak tanımlamak daha zor hale gelmektedir. Bu nedenle bulanık denetleyiciler, dilbilimsel olarak ifade edilen bulanık teori $IF\{durum\} THEN\{eylem\}$ şeklindeki kuralları, kontrol sistemine entegre ederek işlevsel bir denetleyici oluşturabilirler. Aynı şekilde girdi değişkenleri, bir üyelik fonksiyonu oluşturmak için dilsel bir korelasyon ile örneğin soğuk, sıcak, sıcak gibi örtüşen kümeler ile ifade edilebilir. Bu bulanık kümeler çoğunlukla üçgen şeklinde gösterilmiş olup ayrıca yamuk ve Gauss fonksiyonları da kullanılmıştır. Üyelik değerleri, kural kümesi ile üyelik işlevleri arasındaki birbirine bağlı ilişkiyi göstererek, her kuralın gerçekleşme derecesini kontrol eder (Homaifar ve McCormick 1995).

Otomatik kontrol, mühendislik ve bilimin ilerlemesinde önemli bir rol oynamıştır. Otomatik kontrolün robotik sistemlerdeki önemine ek olarak, zaman içinde modern imalat ve endüstriyel süreçlerin önemli ve ayrılmaz bir parçası haline gelmiştir. Proses endüstrilerinde basınç, sıcaklık, nem, viskozite ve akış kontrolü gibi endüstriyel operasyonlarda otomatik kontrol esastır. Otomatik kontrol sistemlerinin uygulanması kolay olsa da, insan muhakemesinin kontrol algoritmasına dahil edilebildiği BMD kullanımı mühendisler arasında büyük oranda tercih sebebi olmuştur (Herman vd., 2009).

Bulanık kontrol, bir uzmanın sistemi nasıl kontrol edeceğine dair sezgisel bilgisini temsil etmesi, yönlendirmesi ve uygulaması için bir metodoloji sağlar (Kumar vd., 2016). Bulanık denetleyiciyi genel olarak gerçek zamanlı olarak kapalı döngü bir sistemde çalışan yapay bir karar verici sistem olarak değerlendirebiliriz.

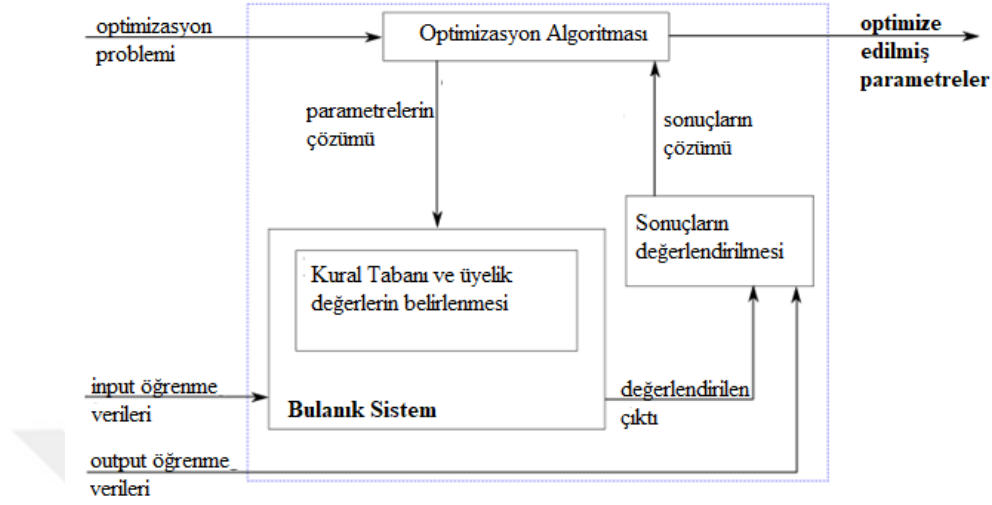


Şekil 2.15. Bulanık denetleyici yapısı

Bulanık mantık denetleyicisinin kapalı çevrim kontrol sistemine entegre edilmiş hali Şekil 2.15'te gösterilmiştir (Herman ve Panessai, 2009). Sistem çıktısı $y(t)$ verilerinin, referans girdi değeri $r(t)$ ile karşılaştırılması sonucunda performans hedeflerinin karşılanması amacı ile uygulanması gereken sistem girdisi $u(t)$ 'nin ne olması gerektiğine karar verilir (Labellapansa vd., 2019)

2.2.1. Bulanık Çıkarım Sistemlerinin Ayarlanması

Çok sayıda girdi ve üyelik fonksiyonu içeren bulanık çıkarım sistemi (FIS) tasarlamak zor olduğu için, deneysel verilere dayanarak da kural tabanı ve üyelik parametreleri belirlenebilir.



Şekil 2. 16. Genetik Algoritmanın Bulanık Çıkarım Sistemine Uygulama Yöntemi

Genetik algoritmanın bulanık çıkarım sistemine uygulama yöntemi Şekil 2.16'da gösterildiği öncelikle bulanık sistemin tasarlanması ile başlar. Giriş-çıkış üyelik değerleri belirlenir daha sonra kural tabanı oluşturulur. Optimizasyon algoritması oluşturulur. Giriş-çıkış test verilerinin öğretme ve test verisi olarak kullanılması ile bulanık genetik sistem çalıştırılır.

Önerilen çalışmada Genetik Algoritma kullanılmış olup, başlıca optimizasyon teknikleri ve özellikleri Çizelge 2.1'de açıklanmıştır.

Çizelge 2. 1. Başlıca optimizasyon teknikleri

Yöntem	Açıklama
Genetik algoritma	Nüfus üyeleri arasında çaprazlama işlemi ile rastgele arama yapan nüfus tabanlı küresel optimizasyon yöntemidir.
Parçacık sürü optimizasyonu	Nüfus üyelerinin bir arama bölgesi boyunca adım attığı nüfus tabanlı küresel optimizasyon yöntemidir.
Desen araması	Yeni bir optimum değer bulmak için geçerli noktanın yakınındaki bir dizi noktayı arayan yerel arama optimizasyon yöntemidir.
Benzetimli tavlama	Mevcut noktanın yakınında yeni bir optimum nokta bulan ısıtma ve soğutma işlemini simüle eden yerel bir optimizasyon yöntemidir.
Uyarlanabilir nöro-bulanık çıkarım	Üyelik işlevi parametrelerini ayarlayan geri yayma algoritmasıdır.

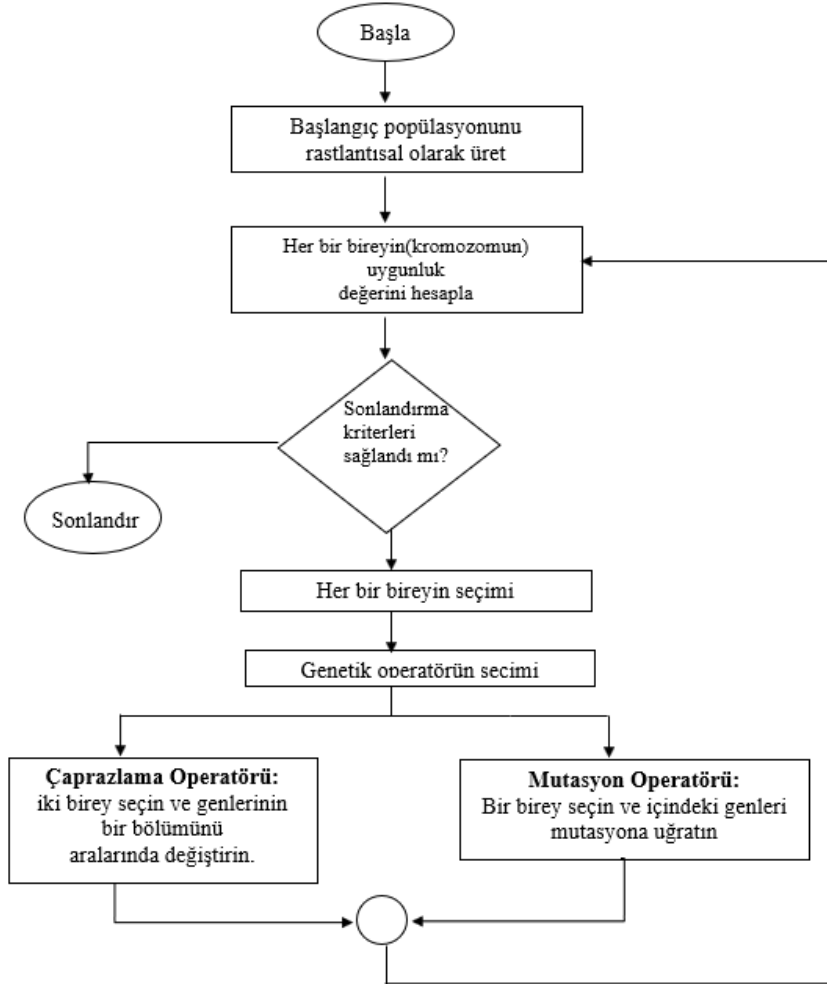
2.3. Genetik Algoritma

Genetik Algoritma, Darwin'in evrim ve Mendel'in kalıtım teoremlerinden ilham alan biyolojik evrim sürecindeki doğal seçilime benzer olarak bir probleme yönelik en uygun çözümlerin hayatta kalabildiği, uygun olmayanların yok edildiği evrim tabanlı yöntemler sınıfıdır. GA doğal seçim ve genetik kurallara dayanan uyarlanabilir bir arama tekniğidir (Zhang vd., 2009). Genetik algoritmalar, doğal evrimin bu özelliklerini uygun bir şekilde bilgisayar algoritmalarına dahil ederek karmaşık sorunları kolayca çözebilmektedirler. GA, amaç fonksiyonu süreksiz, türevlenemez, stokastik, doğrusal olmayan problemler de dahil olmak üzere, standart optimizasyon algoritmaları ile çözülemeyen diğer bir deyişle matematiksel modelinin çıkartılması zor olan veya mümkün olmayan sistemlerin optimizasyon problemlerini çözmek için kullanılan bir yöntemdir (Herman vd., 2009). GA ile uygunluk değeri yüksek popülasyon oluşumu sağladığı için işlemleri büyük ölçekli bir paralel stokastik arama ve optimizasyon yöntemi olarak değerlendirmek uygun olacaktır (Hu vd., 2007).

Genetik algoritmanın tarihsel gelişimi, ilk olarak Holland'ın Amerika Birleşik Devletleri'nde yürüttüğü araştırma ile başlar (Holland, 1975 ve Goldberg, 1989). Fogel'in evrimsel programlama olarak adlandırdığı çalışması ile devam eder (Fogel vd., 1966 ve Fogel, 1995). Almanya'da Rechenberg ve Schwefel ise evrim stratejilerini geliştirmişlerdir (Rechenberg, 1973 ve Schwefel, 1995). Son olarak doksanlı yılların başlarında dördüncü bir akım olarak genetik programlama fikri ortaya çıkmıştır (Koza, 1992 ve Banzhaf, vd., 1998). Bu alanlar yaklaşık 15 yıl boyunca ayrı ayrı gelişmiş ve doksanların başından itibaren evrimsel hesaplama olarak adlandırılan tek bir teknolojinin farklı temsilcileri olarak kabul görmüşlerdir (Hu vd., 2007). Çağdaş terminoloji, tüm alanı evrimsel hesaplama olarak ifade eder ve evrimsel programlamayı, evrim stratejilerini, genetik algoritmaları ve genetik programlamayı alt alanları olarak görmektedir (Eiben ve Schoenauer, 2002) (Herman vd., 2009).

GA'da bir kromozom popülasyonu verildiğinde, en uygun olanın hayatta kalması yönünde uygulanan çevresel baskı sonucunda doğal seçim gerçekleşir böylece mevcut popülasyonun uygunluk değeri arttırılmış olur. Bu haliyle böyle bir süreci optimizasyon işlemi olarak değerlendirmek mümkün olmaktadır (Hu vd., 2007). GA'lar, maksimizasyon (veya minimizasyon) probleminin bir maliyet (amaç) fonksiyonu şeklinde ifade edilmesini gerektirir. Bir GA'da, belirli bir problem için bir dizi değişken, doğası gereği bir kromozoma benzer şekilde bir diziye (veya başka bir kodlama yapısına) kodlanır. Bu nedenle her dize, soruna olası bir çözüm içerir. Bir kromozomun sorunu ne kadar iyi çözdüğünü belirlemek için, önce her bir değişkeni temsil eden alt dizilere ayrılır ve bu değerler daha sonra maliyet fonksiyonunu kullanılarak bir "uygunluk değeri" elde edilir. GA, "en uygun olanın hayatta kalması" temel kriterlerine göre bir dizi gen havuzundan

(nüfus) ebeveynleri seçer. Seçilen ebeveynlerin parçalarını rastgele bir şekilde yeniden birleştirerek yeni diziler oluşturur. Bu şekilde, GA'lar geçmiş bilgileri arama uzayında bir kılavuz olarak kullanabilirler. Genetik algorithmada maksimize edilecek bir amaç fonksiyonu (maliyet fonksiyonu) verildiğinde, kromozomlardan oluşan rastgele bir dizi aday çözüm kümesi oluşturulur ve her bir kromozomun amaç fonksiyonundaki değeri hesaplanarak uygunluk değerleri elde edilir. Bu uygunluk değerinin başarısına göre çaprazlama ve mutasyon işlemlerine devam edilir. Çoğaltma yoluyla, uygunluk değeri yüksek diziler bir sonraki nesilde birden çok kopya alırken, düşük uygunluk değerine sahip diziler daha az kopya almakta veya hiç almamaktadır. Bir sonraki nesil popülasyonu çoğaltma, çaprazlama ve mutasyondan işlemleri kullanılarak oluşturulmaktadır (Huvd., 2007).



Şekil 2. 17. Genetik Algoritma (GA) uygulama adımları

Genetik Algoritma (GA) Uygulama Adımları

1. Başlangıç popülasyonunu rastlantısal olarak üret.
2. Popülasyon içindeki tüm bireylerin(kromozomların) uygunluk fonksiyonunun (fitness function)

değerlerini bul.

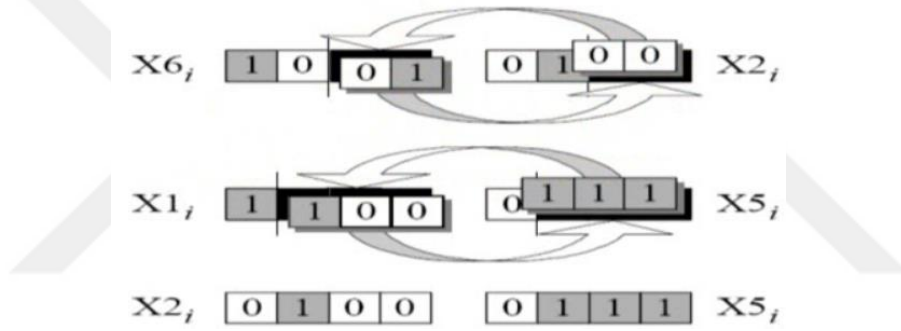
3. Çaprazlama ve mutasyon operatörlerini kullan.

4. Uygunluk değeri kötü olan bireyleri popülasyondan çıkar.

5. 3-5 adımlar arası adımları durdurma kriterleri sağlanana kadar devam ettir.

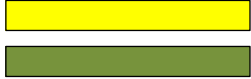
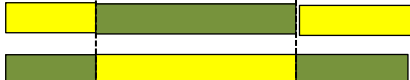
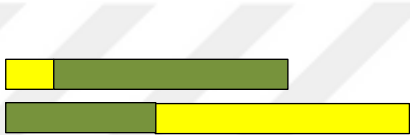
2.3.1. Çaprazlama İşlemi

Ebeveynler olarak adlandırılan seçilen iki kromozomdan bir veya iki yeni yavru kromozomun oluşturulması işlemine çaprazlama denir. Şekil 2.18’de gösterildiği üzere bu işlem için bir dizi alınıp rastgele seçilmiş bir noktasından iki parçaya bölünür ve aynı noktasından bölünmüş olan başka bir dizi ile yeniden birleştirilerek yeni birey oluşturulur. Bu işlem ile problem uzayında daha yüksek uygunluk değerli en iyi dizilerin oluşumu desteklenerek en iyi popülasyonun oluşması sağlanmış olur.



Şekil 2. 18. Çaprazlama Gösterimi

Çaprazlama işlemi sayesinde çözüm uzayının araştırma yapılmamış bölgelerine erişim sağlanabilmektedir. Bu sebeple, çaprazlama işlemi genetik algoritmanın motoru olarak kabul görmektedir. Popülasyondan $P(c)$ olasılık ile seçilen kromozom çiftleri çaprazlamaya uğramak üzere seçilirler, bu oran ne kadar yüksek olursa işleme alınacak neslin o kadar çok bozulmaya gireceği anlamına gelmektedir ki bu da elimizdeki yüksek uygunluklu kromozomların kaybedilme olasılığını da arttırdığından çaprazlama oranının çok büyük seçilmemesine gayret edilmelidir. Örneğin $P(c)=0,8$ seçilirse, popülasyonun %80’inin çaprazlama işlemine uğrayacağını ifade etmektedir.

Tek noktalı çaprazlama	Atalar:  Çocuklar: 
İki noktalı çaprazlama	Atalar:  Çocuklar: 
Kes ve Ekle Çaprazlama	Atalar:  Çocuklar: 

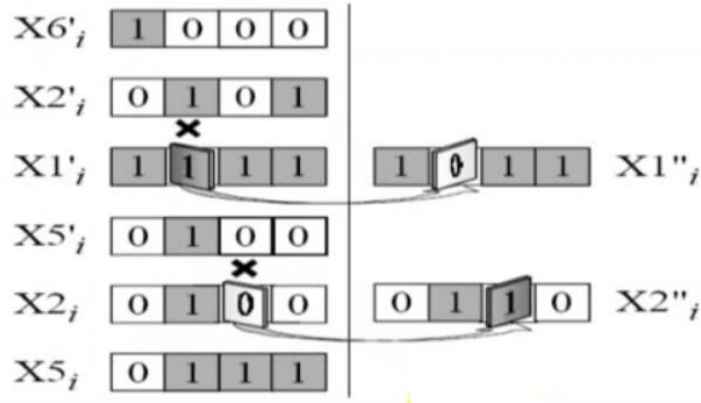
Şekil 2. 19. Genetik Algoritma Çaprazlama Çeşitleri

Şekil 2.19’da belirtilen çaprazlama yöntemleri için kullanılacak sözde kodlar ek-1’de açıklanmıştır.

2.3.2. Mutasyon

Mutasyon, nesiller arasında genetik değişkenliği sağlayan kromozomlardaki bozulmadır. GA’da mutasyon işlemi, kromozomu oluşturan genlerden herhangi bir bitinin $P(m)$ olasılıkla rastlantısal olarak değiştirilmesi yoluyla yeni bir kromozomun üretilmesidir. Mutasyon işlemi ile popülasyondaki genetik çeşitlilik sağlanır böylece çözüm uzayının yerel optimalden kurtulup, global optima ulaşılabilmesinin yolu açılmış olur (Yuan ve vd, 1996).. Eğer mutasyon olasılığı $P(m)$ çok büyük seçilirse, genetik arama rastlantısal bir aramaya dönüşür ve en iyi çözüme ulaşmak zorlaşır. Mutasyon oranının düşük seçilmesi de çözüm uzayının farklı noktalarına erişimini zorlaştırarak çözüm uzayının farklı noktalarına erişimi zorlaştırır. Bu sebeple mutasyon seçim oranı bir popülasyonda en fazla $P(m)=1$ (%1) veya daha düşük seçilmelidir.

Mutasyon yöntemi için kullanılacak sözde kodlar ek-2’de açıklanmıştır.



Şekil 2. 20. Mutasyon Gösterimi

Mutasyon gerçekleştirme yöntemleri Şekil 2.20’de belirtildiği gibi yapılabilmektedir.

- Tersleme, seçilen bir kromozomun değerinin tersine çevrilmesidir.
Örnek: 110101 > 110001 örneğindeki 4. kromozomun tersi alınmıştır.
- Yerleştirme, gen dizilmesine yeni bir kromozomun eklenmesiyle olur.
Örnek: 110101 > 1110101 dizilmenin 2. kromozomu eklenmiştir.
- Çıkarma, diziden bir kromozomun azaltılmasıyla gerçekleşir.
Örnek: 110101 > 11011 dizilmedeki 5. kromozom çıkarılmıştır.
- Yer değiştirme, mevcut kromozomlardan birinin sıradaki yerinin değişmesidir.
Örnek: 110101 > 011101 dizilmedeki 1. kromozom ile 3. kromozom yer değiştirmiştir.

2.3.3. Bireylerin Ceza, Uygunluk ve Olasılık Değerlerinin Bulunması

Başlangıç popülasyonuna ait bireylerin ceza (hata) değerleri Denklem 2.12’de referans olarak kabul edilen değerlerle kıyaslanarak hesaplanır. Gen sayısı n olmak üzere birey için ceza fonksiyonu;

$$C_i = \sum_{j=1}^n |X_{Ref} - X_j| \quad (2.12)$$

olarak tanımlanır. Bu durumda her bir bireye ait uygunluk (Fitness) fonksiyonu Denklem 2.13’te belirtilmiştir.:

$$U_i = \frac{1}{C_i} \quad (2.13)$$

Birey seçiminde kullanılacak yöntemlerin belirlenmesinde her bir bireyin olasılık değerinin bilinmesi gereklidir. m popülasyondaki birey sayısı olmak üzere;

$$P_i = \frac{U_i}{\sum_{j=1}^m U_j} \quad (2.14)$$

Bireylerin kümülatif olasılıkları ise, m popülasyondaki birey sayısı olmak üzere Denklem 2.15 formülü ile hesaplanır (Yaman ve Yılmaz, 2009).

$$KP_i = P_1 + \sum_{i=2}^m P_i \quad (2.15)$$

2.3.4. Genetik Algoritmada Seçim Yöntemleri

Rulet Çarkı yöntemi: Rulet tekerleğinin yüzeyi, dizilerin uyum değerlerinin yoğunluğu ile orantılı olarak işaretlenir ve topluluktaki her bireyin uygunluk değerleri toplanır. Denklem 2.3'te gösterildiği gibi, her bireyin seçilme olasılığı, her bireyin uygunluk değerinin toplam uygunluk değerine oranı kadardır. Seçim işlemi şu şekilde işletilir; ilk bireyden başlamak üzere her birey için “0” ile “1” arasında rasgele bir X sayısı üretilir. $X < KP_i$ şartını sağlayan KP_i değerine karşılık gelen birey yeni popülasyona aktarılır. Böylece kümülatif olasılıkları (2.4) yüksek olan bireylerin gelecek nesile aktarılması garanti edilir. Daha yüksek uyum değerine sahip diziler, tekerlekte daha fazla yer aldıkları için seçilme olasılığı daha yüksek olmaktadır.

Turnuva Yöntemi: Her seferinde tüm nesil içinden rastgele iki grup seçilir ve en yüksek uygunluk değerine sahip grup kazanır. Her dizi turnuvaya iki kez katılabilir. Bu nedenle, en başarılı olanlar iki kez, orta seviyede olanlar ise bir kez isimlerini sonuç listesine yazdırabilirler.

Sabit Durum Yöntemi: Belirli bir dizinin birden fazla kuşak hayatta kalmasını sağlamak için bu yöntem kullanılır. Bu amaçla mevcut popülasyon içerisinden belli sayıda dizi seçilir. Bunlardan yeni nesiller üretilir. Üretilen yeni nesiller tekrar popülasyona katılır. Fakat popülasyon nüfusunun artmaması için içeriden bazı bireyler atılır.

Sıralı Seçilim: Bu yöntemde tüm diziler uygunluk değerlerine göre artan bir şekilde sıralanır. Uygunluk değeri en yüksek olan diziler gen havuzuna daha fazla kopya bırakırken, uygunluk değeri düşük olan diziler ise kopya bırakamamış olur. Bu yöntemin arama hızı yüksektir (Yaman ve Yılmaz, 2009).

2.3.5. GA Kodlama Türleri

İkili (Binary) Kodlama:

En sık olarak kullanılan kodlama türüdür. 0 ve 1'lerden oluşan bitler ile kromozom oluşturulur. Örnek : 150 sayısı 10010110 şeklinde ifade edilmektedir.

Gerçek(Real) Genetik Kodlama Kodlama(GGA- RGA)

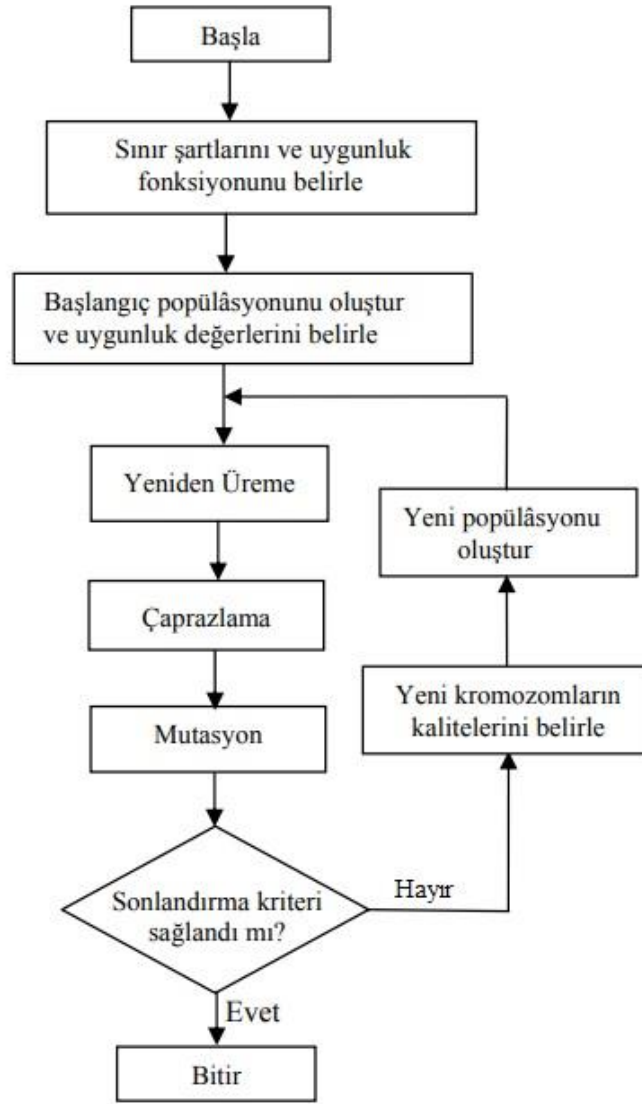
Gerçek değerli kromozom temsilinin kullanılması, ikili kodlamaya göre uygulamalarda bir dizi avantaj sağlar. Sürekli bir problemde çok büyük ve ondalıklı sayıların ikili kodlama ile temsili, kullanılması gereken bit sayısı ile ilişkili olarak yeterli olamamakla birlikte, elde edilen değerlerin ikili kodlama ile gösterimi işlem karmaşasını arttırmaktadır. Buna karşın her iki kodlama da yapılan işlemlerin hassasiyetlerinde herhangi bir kayıp yaşanmamaktadır (Chu vd., 2008). Gerçek kodlu Genetik optimizasyon, değişken sayısının fazla olduğu karmaşık problemlerde işlem karmaşıklığını azaltması ve gelişmiş programlama dillerinde kullanımının rahat olması sebebi ile uygulayıcı mühendisler tarafından tercih edilmektedir (Bağış ve Özçelik, 2007).

Örnek:

Kromozom A : 5.67 3.87 4.53 83.54

Kromozom B: Sarı Yeşil Kırmızı Mavi

İkili kodlama kullanılan genetik algorithmada çaprazlama, mutasyon ve seçim işlemleri Gerçek Kodlu Genetik Algorithmada (GGA) da kullanılmaktadır. Bununla birlikte, genetik operatörlerin uygulanması ve çözümlerin tanımlanması, iki yöntemi birbirinden ayıran özelliklerdir.



Şekil 2.21. GGA Genel Akış Şeması (Bağış ve Özçelik, 2007).

GGA işleyiş adımları Şekil 2.21’de gösterilmiş olup, Şekil 2.17’de belirtilen İkili kodlu Genetik algoritmaya benzerlik göstermektedir. Algoritma, rastgele başlangıç popülasyonunun oluşturulmasıyla başlar ve kromozomların uygunluk değerleri, amaç fonksiyonu (uygunluk fonksiyonu-fitness function) aracılığı ile değerlendirilir ve oluşturulan popülasyondan belirlenen seçim operatörü ile seçilen iki ebeveyn aralarında çaprazlama operatörü uygulanır ve sonuçta yeni bir çocuk birey elde edilmiş olur. GGA’da mutasyon işlemi de yine ikili kodlu yapıya benzer şekilde gerçekleştirilir. Bu işlemler, elde edilen yeni olası çözümlerin kaliteleri istenen değerlere ulaşılan ya da istenilen sonlandırma kriteri sağlanana dek bu değerlendirme ve yeni popülasyon oluşturma işlemi devam etmektedir.

GA ve GGA arasındaki temel fark, GA alabileceği değerler 0 veya 1 iken, GGA’da izlenen tüm adımlarda değişkenin alabileceği minimum ve maksimum değerler tanımlanmaktadır. Ayrıca popülasyon içerisinde çaprazlama için rastgele seçimler yapılırken ebeveyn ağırlıklarını belirlemek

üzere GA’da onepointcrossover, doublepointcrossover veya uniformcrossover için randi komutu kullanılarak 0 veya 1 üretilirken, GGA’da crossover için unifrnd komutu kullanılarak 0 ile 1 arasında rastgele bir sayı oluşturularak çaprazlamada kullanılacak anne ve baba kromozom oranları belirlenmiş olur.

İkili kodlu sistemde gerçekleştirilen genetik algoritmada mutasyon işleminde 1 iken 0 yapıldığı için işlem $y(j)=1-x(j)$ olarak belirlenir.

Normal dağılım, aynı zamanda Gauss dağılımı veya Gauss tipi dağılım olarak isimlendirilen, birçok alanda pratik uygulaması olan, çok önemli bir sürekli olasılık dağılım ailesidir. Bu dağılım ailesinin her bir üyesi sadece iki parametreyle tam olarak tanımlanabilir: Bunlar konum gösteren ortalama (μ , aritmetik ortalama) ve ölçek gösteren varyans (σ^2 "yayılım") dır.

Gerçek kodlu mutasyon işleminde Normal dağılıma göre Denklem 2.18’de mutasyon noktası x_i seçilir.

Küresel (sphere) bir alanda amaç fonksiyonu Denklem 2.16’daki gibi olmak üzere;

$$\min Z = f_{sph}(x) = \sum_{i=1}^n x_i^2 \quad (2.16)$$

$$x_{min} \leq x_i \leq x_{max} \quad (2.17)$$

$$x_{inew} \sim N(x_i, \sigma^2) \quad (2.18)$$

$$x_{inew} \sim x_i + \sigma N(0,1) \quad (2.19)$$

σ standart sapma ve beklenen değer μ olmak üzere;

$$\sigma = \mu(x_{max} - x_{min}) \quad \mu = 0.1 \text{ olsun.} \quad (2.20)$$

$$\sigma(\sigma) = 0.1 * (var_{max} - var_{min}) \quad (2.21)$$

$y=x$;

$$y(j) = x(j) + \sigma.rand(size(j)); \quad (2.22)$$

$$y = \max(y, var_{min}) \text{ alt sınırı geçmeyecek} \quad (2.23)$$

$$y = \min(y, var_{max}) \text{ üst sınırı geçmeyecek} \quad (2.24)$$

Denklem 2.23 ve Denklem 2.24 ile gen büyüklüğü sınırlandırılır.

Uygunluk ölçütü olarak amaç fonksiyonu (fitness function) kullanılır. Çaprazlama ve/veya mutasyon işlemleri, uygunluk değeri yüksek olan kromozomlar üzerinde uygulanarak yeni nesil oluşturur. Çaprazlama işlemi ebeveynler olarak seçilen iki kromozom arasında uygulanır ve sonuçta bir veya iki çocuk kromozom ortaya çıkar. Mutasyon ise tek bir gene uygulanır ve yeni bir kromozomla sonuçlanır. Çaprazlama ve mutasyon sonucu oluşturulan yavru kromozomlar, uygunluk değerlerine bağlı olarak değerlendirilir ve bir sonraki nesilde yer edinmek için eski kromozomlarla rekabet eder. Bu süreç, daha iyi bir çözüm bulunana veya önceden belirlenmiş bir zaman sınırı, işlem sınırı vb. kritere ulaşılan kadar yinelenir. Darwin'e göre çevrelerine uyum sağlamış yeni türlerin ortaya çıkışı, en uygun olanların hayatta kalması ile yönlendirilmemiş varyasyonlar arasındaki etkileşimin bir sonucudur. Böyle bir evrimsel sürecin birçok bileşeni stokastiktir(rastlantısal). Genler arası geçiş sırasında hangi bilgi parçalarının değiş tokuş edileceğine ilişkin seçim ile mutasyonun kromozomda yapacağı değişiklik rastgele seçilmelidir. Öte yandan, seçim operatörleri deterministik veya stokastik olabilir. Böylece uygun kromozomların seçilme şansı arttırılırken, uygunluk değeri zayıf kromozomların ebeveyn olma veya hayatta kalma şansı da yok edilmemiş olur (Chu ve vd.,2008).

GA'lar, farklılaşma veya benzeri yollarla değil, işlev değerlendirmesi yoluyla çalışır. Bu özellik nedeniyle, bir GA, ne tür bir problemin maksimize edilmesinin istendiğiyle ilgilenmez, GA'lar sadece problemin doğru şekilde kodlanmasıyla ilgilendiği için doğrusal, doğrusal olmayan, süreksiz, ayrık, vb. çok çeşitli problemleri çözebilme yeteneğine sahiptirler.

GA'ların stokastik doğası nedeniyle, yakınsama hızı ve optimizasyon başarısı gibi sorunlar ortaya çıkmaktadır. GA işlemlerinin çok zaman almasından dolayı, en basit problem için bile her zaman global optimuma ulaşılması garanti edilemez. Özellikle, karmaşık bir probleme GA uygulanırken, kromozomların optimum altı çözümlere yakınsayabilmesi için birçok nesil geliştirilmesi gerekir, dolayısı ile yakınsama hızı çok yavaş olabilmektedir. Optimizasyon yeteneğinin nasıl geliştirileceği ve kromozomların yakınsamasının nasıl hızlandırılacağı, GA'larda birçok araştırma çalışmasının iki önemli konusu olmuştur.

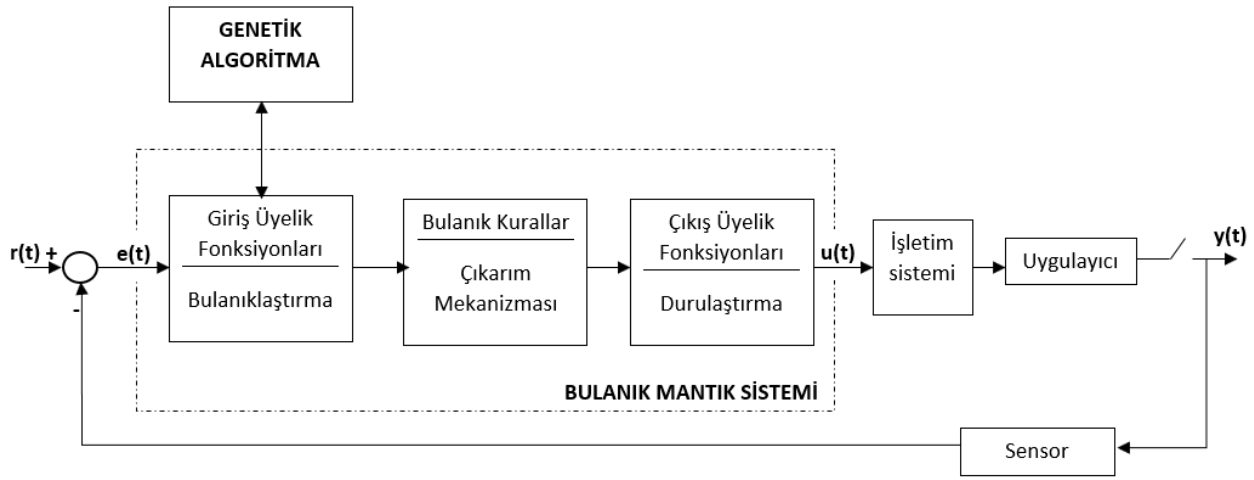
Örneğin, GA'ların performansını artırmak için yapay sinir ağı, bulanık mantık, sınıflandırma teknikleri, probleme özgü sezgisel kurallar ve kendi kendine uyarlanabilir stratejiler yoğun olarak kullanılmıştır (Hu ve ark., 2004).

Bulanık mantık sistemi tamamen üyelik fonksiyonları ile tanımlandığı için doğru üyelik fonksiyonlarını seçmek önemlidir, genel olarak FLC sisteminde operatörler tarafından üretilen üyelik fonksiyonları kullanıldığı için ortak bir zayıflığa sahiptir. Üyelik fonksiyonunu seçmek için deneme yanılma yöntemi kullanılır ve sorunu çözmek çok uzun süre alır (Herman vd., 2009).

GA'nın, çeşitli bilimsel uygulamaları vardır ve bulanık bir sistemdeki üyelik fonksiyonlarını belirlemek için de kullanılabilir (Zhang vd., 2009). Genetik algoritmalar, yeterince anlaşılmayan, düzensiz boşlukları aramak için bir araç sağladığı için çeşitli sistem optimizasyonlarında, kendini uyarlayan kontrol sistemlerinde ve öğrenme sistemlerinde başarıyla uygulanmıştır.

2.4. Bulanık-Genetik Sistemler

Bulanık mantık sistemlerinde üyelik fonksiyonlarının oluşturulması çoğunlukla yinelemeli olarak deneme yanılma yoluyla uzmanlar tarafından yapılır iken zaman içinde bulanık mantık sistemi giriş üyelik değerlerinin ve kuralların belirlenmesi GA ile mümkün olmuştur.



Şekil 2.22. Bulanık genetik algoritma yapısı

Bulanık Genetik Algoritma (FGA), genetik algoritma ve bulanık mantık tekniklerinin birleşimi olup, belirsiz ve karmaşık sistemleri optimize etmek için kullanılan bir yapay zeka yöntemidir. Temel olarak, bulanık genetik denetleyiciyi gerçek zamanlı olarak kapalı döngü bir sistemde çalışan yapay bir karar verici olarak görebiliriz. Şekil 2.22’de Bulanık genetik algoritma yapısı gösterilmektedir. Sistem çıktı verileri $y(t)$ de toplanır, GA ile oluşturulan her birey için bir uygunluk değeri hesaplanır ve bunu referans girdi $r(t)$ ile karşılaştırarak performans hedeflerinin karşılanmasını sağlamak için sistem girdisi $u(t)$ 'nin ne olması gerektiğine karar verilir. Bu uygunluk değeri, bireyin genetik materyalindeki değişikliklerin, belirli hedeflere ne kadar yakın olduğunu göstermektedir. Böylece, belirli bir hedefi optimize etmek için en uygun bireylerin seçilmesi sağlanmış olur.

Genetik algoritma ile bulanık mantık sistemlerin birlikte kullanıldığı çalışmalar incelendiğinde genel olarak bulanık kuralların öğrenilmesi ve üyelik fonksiyonlarının öğrenilmesi işlemlerinde kullanıldığı gözlemlenmektedir. Örneğin amaç fonksiyonu optimizasyon işlemlerinde (Kıyak ve

Kahvecioğlu, 2003), bulanık kuralların belirlenmesinde (Yuan ve Zhuang,1996), bulanık sistemin giriş üyelik parametrelerinin ve şeklinin belirlenmesinde (Zhang, vd., 2009), ek olarak hem giriş hem de çıkış bulanık üyelik değerlerinin optimizasyonunda (Zhang, vd., 2009) kullanıldığı gözlemlenmiştir. Bir GA'nın sağlamlığı, optimal veya optimale yakın bir çözüm sağlarken, nispeten kısa bir süre içinde karmaşık bir arama alanını kapsamaması da GA'ların bulanık kontrolörler için uygun bir seçim olduğunu göstermektedir. FGA, üretim planlaması, verimlilik artırma, enerji tasarrufu, trafik akış optimizasyonu gibi birçok farklı alan ve probleme uyarlanabilmektedir. FGA'nın avantajı, belirsizlik içeren sistemlerde bile etkili sonuçlar üretebilmesidir.

Hu vd. (2007) çalışmasında gelişen teknoloji ışığında GA'ların zamanla sayısal optimizasyon, kombinatoriyal optimizasyon, sınıflandırıcı sistemler ve makine öğrenmesi gibi diğer birçok mühendislik probleminde yaygın olarak kullanıldığına değinilmiştir. GA'lar, çeşitli sistem optimizasyonlarına, kendini uyarlayan kontrol sistemlerine ve öğrenme sistemlerine de başarıyla uygulanmıştır (Homafiar ve McCormick, 1995).

2.5. Arduino

Arduino, hem donanım hem de yazılım bileşenlerinden oluşan açık kaynaklı bir elektronik platformudur. Arduino'nun donanım bileşeni, elektronik devreler için gerekli bağlantıyı sağlayan çeşitli programlanabilir kontrol devre kartları içerir. Arduino'nun yazılım bileşeni, kullanıcıların kodlarını Arduino kartına yazmalarına, derlemelerine ve yüklemelerine izin veren entegre bir geliştirme ortamıdır. Arduino platformu rahatlık, esneklik ve kullanım kolaylığı göz önünde bulundurularak tasarlanmıştır. Akıllı elektronik ürünlerin prototipleme ve tasarım sürecini basitleştirmeyi amaçlar. Temelde ATMEL mikrodenetleyicilerini kullanan Arduino platformu yıllar içinde gelişen kütüphaneleri ve bu kütüphaneleri yazan topluluğuyla elektronik ve programlama alanında kendini geliştirmek isteyen herkes için kolay ve ulaşılabilir çözümler sunmaktadır.

Arduino açık kaynak kodlu bir platformdur yani Arduino'nun tüm ürünleri, ilgili yazılımları, tasarımları herkes ile paylaşılmıştır. Arduino tek başına çalışan nesneler geliştirmek için kullanılabileceği gibi bilgisayar üzerinde çalışan yazılımlara da bağlanabilir. Hazır üretilmiş kartlar satın alınabilir veya kendileri üretmek isteyenler için donanım tasarımı ile ilgili bilgiler mevcuttur. Arduino geliştirme kartı üzerindeki Atmega mikroişlemcidir ve Arduinonun programlama dili C++ tabanlı bir program ile programlanır ve bu program Processing tabanlı Arduino Yazılım Geliştirme Ortamı (IDE) yardımı ile karta yüklenir (Yılmaz Ş., 2016).

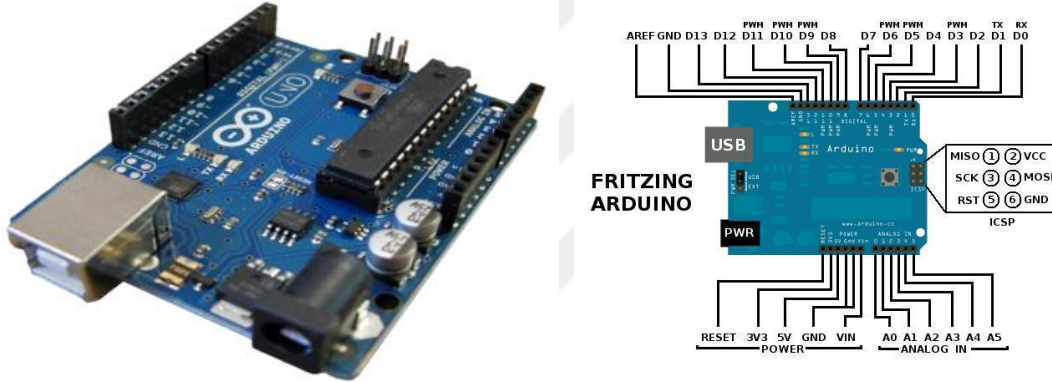
Başlıca Arduino modelleri baz model olarak Arduino Uno, gelişmiş ve tüm shieldları

destekleyebilen Arduino Mega 2560, küçük boyutlarda olan Arduino Nano ve Arduino Mini ayrıca tekstil ürünlerine dikilebilen Arduino Lilypad modelleri bulunmaktadır.

Çalışmamızın aydınlatma bölümünde Arduino Uno kullanılmış ve iç ortam havasının FLC ile optimizasyonunda Arduino Mega 2560 kullanılmıştır bu sebeple Arduino Uno ve Arduino Mega 2560 teknik özellikleri açıklanmıştır.

2.5.1. Arduino Uno

Arduino Uno, ATmega328 işlemci kullanmaktadır. Şekil 2.23'te görsel bulunan Arduino Uno'nun 6 PWM çıkışı pini, 6 analog giriş pini olmak üzere 14 dijital giriş/çıkış pini bulunmaktadır. ICSP (In Circuit Serial Programming) başlığı, usb bağlantısı, 16 MHz kristal osilatörü ve reset butonu yer almaktadır. Çalıştırmak için DC 7~12V güç kaynağına bağlamak yeterlidir. Mikroişlemcinin çalıştırılmasını destekleyecek donanım ve yazılıma sahiptir.



Şekil 2. 23. Arduino Uno

Arduino Uno Teknik Özellikleri

Mikrodenetleyici: ATmega328

Çalışma Gerilimi: 5V

Besleme Voltajı (Önerilen): 7-12V

Besleme Voltajı (Limit): 6-20V

Dijital I/O Pinleri: 14 pin (6'sı PWM)

Analog Giriş Pinleri: 6

I/O Pinlerinin Akımı: 40 mA

3.3V Pini Akımı: 50 mA

Flash Bellek: 32KB (0.5KB bootloader için kullanılır)

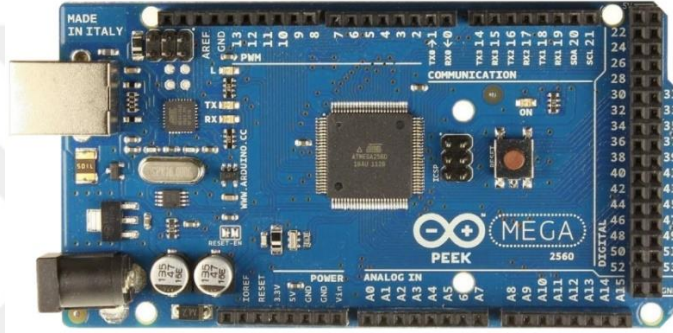
SRAM: 2 KB

EEPROM: 1 KB

Clock Frekansı: 16 MHz

2.5.2. Arduino Mega 2560

Arduino Mega 2560, ATmega2560 tabanlı bir Arduino kartıdır. Arduino Mega'nın yerini alan gelişmiş versiyonudur. Arduino Duemilanove ve Diecimila için tasarlanmış tüm eklentilere(shield) uyumludur. Şekil 2.24'te görsel bulunan Arduino Mega 2560 modelinde 14 pin PWM çıkışı, 16 pin analog girişi, 4 UART (serial port) olmak üzere 54 dijital I/O pini bulunmaktadır. 16 MHz kristal osilatörü, USB bağlantısı, adaptör girişi, ICSP çıkışı ve bir reset butonu yer almaktadır.



Şekil 2. 24. Arduino Mega 2560

Arduino Mega 2560 Teknik Özellikleri

Mikrodenetleyici: ATmega2560

Çalışma Gerilimi: 5V

Besleme Voltajı (Önerilen): 7-12V

Besleme Voltajı (Limit): 6-20V

Dijital I/O Pinleri: 54 (14ü PWM çıkışı)

Analog Giriş Pinleri: 16

I/O Pinlerinin Akımı: 40 mA

3.3V Pini Akımı: 50 mA

Flash Bellek: 256 KB (8kB'ını bootloader kullanıyor)

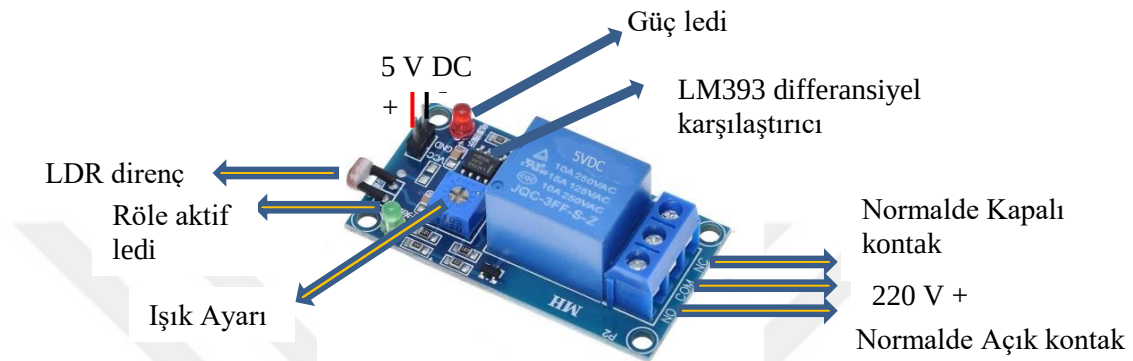
SRAM: 8 KB

EEPROM: 4 KB

Clock Frekansı: 16 MHz

2.6. Arduino üzerinde kullanılan diğer devre elamanları

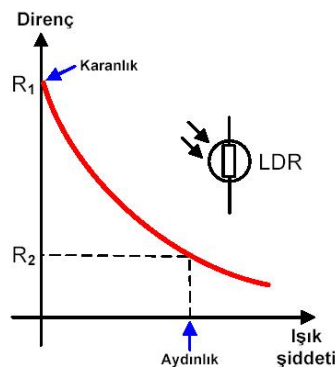
Tezin ikinci bölümünde iç ortam aydınlatma değerlerinin optimizasyonu üzerinde çalışılmıştır. Bu amaçla Şekil 2.25’te gösterilen LDR sistemlerinden faydalanılmıştır. Bu bölümde kullanılan LDR sensör ve röle sisteminin devre elemanlarının tanıtımı ve açık devre şeması detaylı olarak anlatılacaktır.



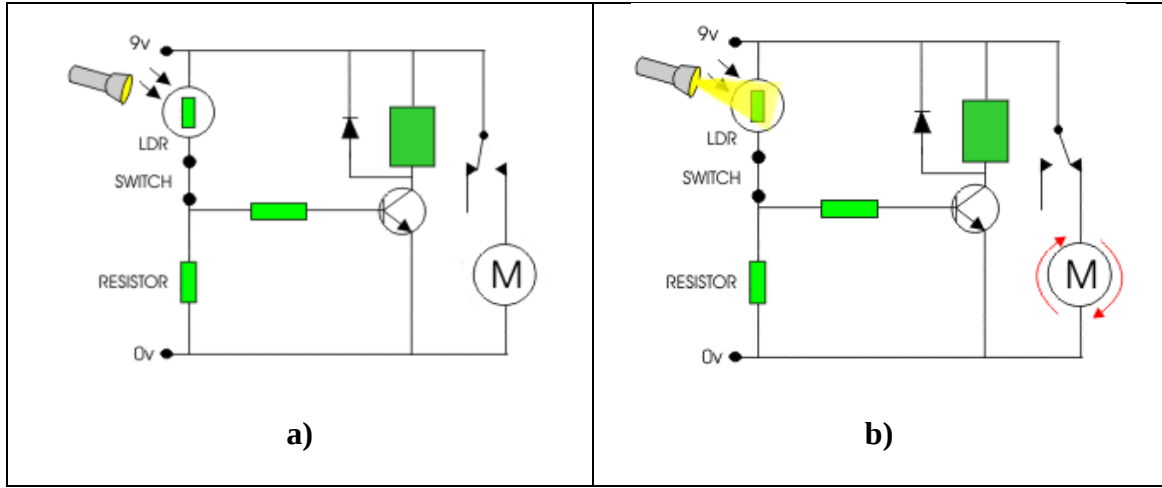
Şekil 2. 25. LDR Sensor-Röle Modülü (Srd-05vdc-sl-c)

2.6.1. LDR (Işık Bağımlı Direnç-Light Dependent Resistor)

Fotosel veya fotodirenç olarak da bilinen Işık Bağımlı Dirençler (LDR), aldıkları ışığın yoğunluğuna göre dirençlerini değiştiren elektronik bileşenlerdir. Başka bir deyişle, üzerine düşen ışık şiddeti arttıkça sahip olduğu direnç değeri azalır ve LDR ilettime geçerek bağlı olduğu aktif devre elemanını çalıştırmaya başlar. LDR üzerine düşen ışık şiddeti azaldığında ise direnci artar ve LDR açık devre gibi çalışarak sistemi çalıştırmaz. LDR'ler genellikle kadmiyum sülfür (CdS) veya kurşun sülfür (PbS) gibi fotoiletken özelliklere sahip yarıiletken malzemelerden yapılmıştır. Şekil 2.26'da gösterildiği üzere fotonların yarıiletkeni enerjilendirmesi ile elektron taşıyıcılarının serbest bırakılmasına ve malzemenin direncinin azalmasına neden olmaktadır.



Şekil 2. 26. LDR direncinin ışık şiddeti ile değişimi (Kulaksız S., 2020)



Şekil 2. 27. LDR ile Motor Kontrolü (Kulaksız S., 2020)

Şekil 2.27.b’de ışık fotonları kullanılarak direnci azaltılan LDR’nin ilettime geçirilmesi ve devreye bağlı motoru çalıştırması gösterilmiştir.

LDR’ler bulundukları devrelerde değişen direnç değerleri ile bir çıkış sağlarlar fakat bu işlemi dış ortamdan aldıkları fiziksel bir değişim ile gerçekleştirdiklerinden dolayı LDR’ler optik sensör işlevi gerçekleştirmiş olurlar. LDR’ler, ışık algılama veya kontrol gerektiren çok sayıda uygulamada kullanılabilmektedirler.

LDR’deki direnç değişimi, ışık seviyelerini ölçmek veya ışığın yoğunluğuna bağlı olarak belirli eylemleri tetiklemek için kullanılabilmektedir. LDR’ler genellikle aşağıdaki uygulamalarda kullanılmaktadır:

Otomatik aydınlatma kontrolü: LDR’ler, çevredeki ışık koşullarına bağlı olarak sokak lambalarında, dış ortam aydınlatma sistemlerinde veya iç mekan ışık armatürlerinde parlaklığı otomatik olarak ayarlamaktadır.

Kamera pozlama kontrolü: Kameralarda ışık seviyesini ölçmek ve pozlama ayarlarını değiştirmek için LDR’ler kullanılabilmektedir.

Hırsız alarm sistemleri: LDR’ler güvenlik sistemlerinde kullanılabilmektedir; ışık seviyelerindeki değişiklikleri algılar ve belirli bir alana girdiğinde alarm vermektedir.

Güneş takip sistemleri: LDR’ler, güneş panellerinde veya güneş enerjisiyle çalışan cihazlarda kullanılabilmektedir, güneşin konumunu takip ederek güneş enerjisinin toplanmasını optimize edebilmektedirler.

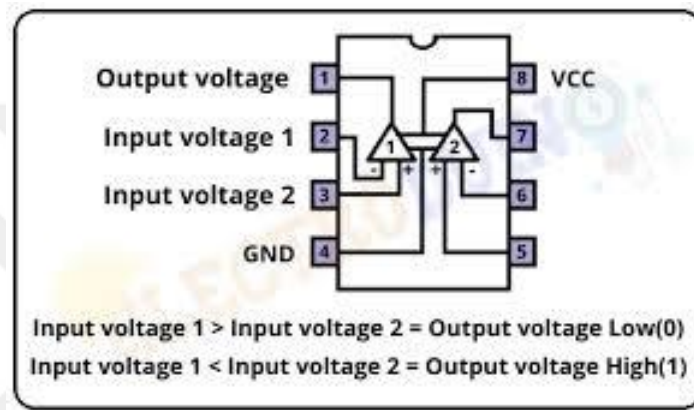
Bitki büyüme izleme: LDR’ler, tarım alanlarında kullanılarak ışık seviyelerini ölçebilirler ve bitki büyümesi için ideal koşulları belirleyebilirler.

Robotik ve otomasyon: LDR'ler, robotlarda veya otomatik sistemlerde belirli alanlarda ışığın varlığını veya yokluğunu algılayarak buna bağlı eylemleri tetikleyebilirler.

LDR'ler, basit ve ucuz ışık sensörlerdir ve ışığa dayalı kontrol veya izleme işlevlerini etkinleştirmek için mikrodenetleyiciler veya diğer elektronik devreler ile birlikte kullanılacak kolay bir arayüze sahiptir.

LDR sensör-röle sistemine ait diğer devre elemanlarının tanıtımı ve açık devre şeması detaylı olarak aşağıda açıklanmaktadır.

2.6.2. LM393 Entegre Devresi



Şekil 2. 28. LM393 Pin Bağlantıları

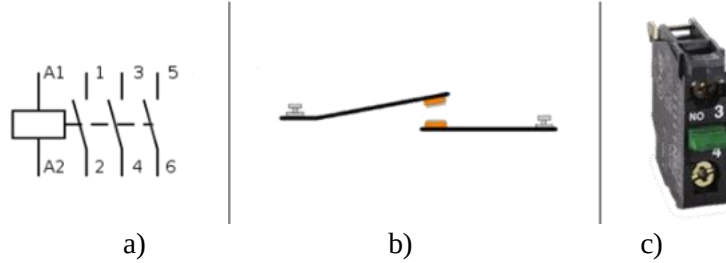
Şekil 2.28’de gösterilen LM393 bir ikili diferansiyel karşılaştırıcı devre elemanıdır. İki farklı voltaj giriş seviyelerini karşılaştırarak en yüksek olan değeri belirler ve sonuç olarak çıkış için elektronik bir karar verilmesini sağlamaktadır. LM393’in 2 mV gibi düşük giriş ofset voltajına sahip olması nedeni ile tüketici, otomotiv ve endüstriyel elektronikteki birçok uygulama için uygun bir seçim haline getirmektedir.

2.6.3. Kontak(Switch) Tipleri

Otomasyon sistemlerinde kullanılan röle, kontaktör, sensör ve buton gibi anahtarlama parçalarının iç yapısını gösteren bazı kontak tipleri vardır. Kontak tipleri normalde açık (NO – normally open) ve normalde kapalı (NC – normally closed) olmak üzere ikiye ayrılır.

Normalde Açık (NO_Normally Open) Kontaklar

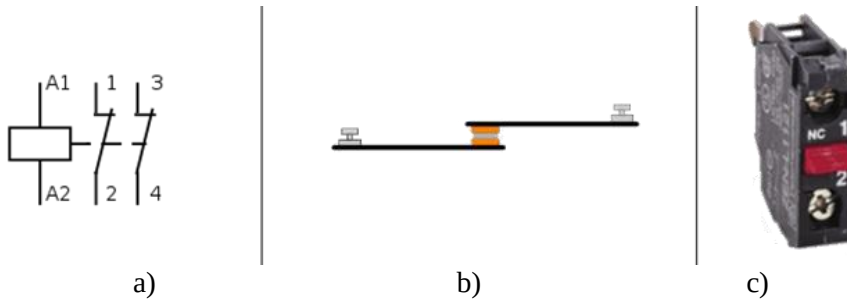
Şekil 2.29’da gösterilen NO kontağının butonuna basılmadığı sürece devre açık devre olduğundan elektrik akımını iletmez ve beslediği yüke akım gitmediği için çalışmaz. Butona basıldığında kontaklar kapanarak akım akmaya ve yükü beslemeye başlar (Uskon, Akışkan Kontrol Sistemleri).



Şekil 2. 29. a) NO kontaklı röle veya kontaktörün şemasal gösterimi, b) NO kontağın durumu, c) NO buton kontağı görülmektedir. (Uskon, Akışkan Kontrol Sistemleri)

Normalde Kapalı (NC) Kontaklar

Şekil 2.30’da gösterilen NC kontaklar, normal durumda yani kontaktörün bobinine enerji gelmediği durumda akım akarak bağlı olduğu yükü besler. Kontaktörün bobinine enerji verildiğinde ise kontaklar yer değiştirerek kapalı olan kontaklar açılır ve yüke giden akım kesildiği için artık çalışmaz. Başka bir ifade ile normalde kapalı kontaklarda butona butona basılmadığı sürece kapalı kontakta akım akar ve butona basıldığında ise akım kesilir.

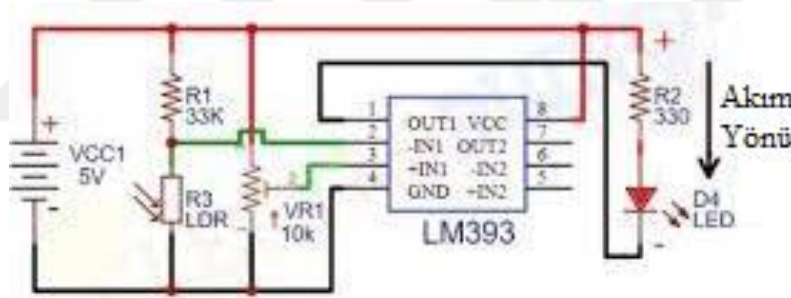


Şekil 2. 30. a) NC kontaklı röle veya kontaktörün şemasal gösterimi, b) NC kontağın durumu, c) NC buton kontağı görülmektedir. (Uskon, Akışkan Kontrol Sistemleri)

Önerdiğimiz çalışmada, ışığın yeterli olduğu durumlarda lambanın yanmaması gereklidir, ışığın yetersiz olduğu durumda, LDR direnci üzerinde bulunan voltaj değeri değişimlerini LM393 differansiyel karşılaştırıcı entegre karşılaştıracak ve rölenin NO kontağını enerjilendirerek kapatacak ve devre tamamlanarak şebeke geriliminin lambayı çalıştırması sağlanacaktır. Bu bilgiler sonucunda LDR Röle Modül bağlantılarımızda ortamda yeterli ışık olduğunda sistemin çalışmaması ve ortam karanlık olduğunda sistemin çalışabilmesi için NO kontak tipini kullanmamız gerekecektir.

2.6.4. AC Işık Parlaklık Ayarlayıcı Dimmer Modül

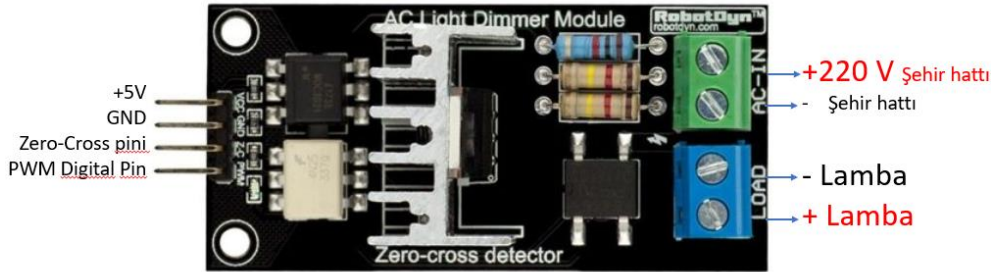
AC Işık Parlaklık Ayarlayıcı Dimmer Modül, AC şehir voltajının belirli değerler aralığında değiştirebilme yeteneği sayesinde elektrik devrelerinde bir güç kontrol sistemi olarak kullanılabilir. Işık aydınlık değerinin ayarlanmasında yaygın olarak kullanılmakta olup, sıcaklık kontrolü, fanlar, pompalar, motor hız kontrolü, hava temizleyicileri vb. alanlarda da kullanılmaktadır. Dimmer devresi elektronik cihazların birçoğunun devre kartında bulunmaktadır. AC Işık Parlaklık Ayarlayıcı Dimmer, akımı 600V / 16A'ya kadar aktarabilen AC voltajını kontrol etmek için tasarlanmıştır. Dimmerler, LED lambalarda daha az kararlı çalışmasına rağmen filaman lambaların ışık parlaklığını verimli bir şekilde ayarlayarak düşük parlaklıkta çalışmasını sağlarlar. AC Işık parlaklık ayarlayıcı modül Şekil 2.31'de gösterildiği üzere LM393 karşılaştırıcı ve bir LDR'den oluşmaktadır. LDR, ışıktaki değişimi algılar ve LM393 gelen sinyal verilerini işler, karşılaştırır ve çıktı sağlar. Devre şu şekilde çalışır, LDR'ye gelen ışık fotonları sayesinde direnci azalan R3 direncinden akım geçer, $input1 > input2$ ise $V_c = 0$ üretir ve ışık yanmaz. Tam tersi olan durumda $input1 < input2$ olduğunda $V_c = 1$ üretir ve lamba yanar. Sonuçta LDR ortamda bulunan ışığı yeterli olarak algıladığında lambayı kapatır, karanlık olarak algıladığında ışığı açar.



Şekil 2. 31. Dimmer devre şeması (electroduino.com)

Aydınlatma teknolojisinde kullanılan dimmerlar sayesinde ortam aydınlatması ergonomik açıdan iyileştirilir ayrıca tasarruf edilmesi sağlanır. Dimmerların güç kısmı, aşırı ısınmalara karşı kontrol kısmından bir izolatör ile ayrılmıştır. RBDdimmer.h kütüphanesi ile Arduino mikrodenetleyicisi kontrol edilir, kod yazmayı basitleştirir ve ana kodun işletilmesi için daha fazla işlem süresi sağlanır. Böylece tek bir mikrodenetleyiciden birden fazla dimmer kontrol edilebilir.

Şekil 2.32’de LDR Dimmer modüle ait görsel sunulmuştur, 2 kanallı tasarıma sahiptir. Mantıksal seviye 5V ve 3.3V’ye toleransı olması sebebi ile mikrodenetleyici de 5V ve 3.3V seviye mantığı ile çalışmaktadır.



Şekil 2. 32. AC Işık Parlaklık Ayarlayıcı Dimmer Modül

AC Işık Parlaklık Ayarlayıcı Dimmer Tetikleme açısının hesaplaması

Alternatif akımda sıfır geçiş noktası (zero-cross), voltajın mevcut olmadığı anlık noktadır. Şekil 2.33’deki gibi sinüs dalgasında veya diğer basit dalga biçiminde bu durum normalde her döngüde iki kez meydana gelir. Zero Cross dimmer, gerilimin her iki yönde de sıfır noktasını geçtiği noktayı tespit ederek ışık yoğunluğunun doğru ve hassas bir şekilde kontrol edilmesini sağladığı için modern aydınlatma sistemlerinde çok önemli bir devre elemanıdır. Zero Cross ışık parlaklık ayarlayıcısı, AC güç hattı giriş voltajının sıfır geçiş noktasını algılama yeteneği ile sıfır geçiş detektörü, AC güç hattı giriş voltajının sıfır geçiş noktasına ulaştığını tespit ederek karartma sürecini başlatır (Salam vd, 2019).

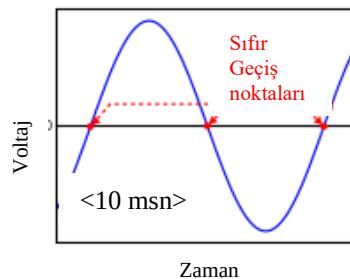
1 tam dalga şehir hattı frekansı $50\text{Hz} = 1/50 = 20\text{ms}$

Yarım dalga sıfır geçiş süresi(zero crossing)=10 ms

$10\text{ms} = 10000\mu\text{s}$

Karartma seviyesi (0~128) 0 = ON, 128 = OFF

$(10000\mu\text{s} - 10\mu\text{s}) / 128 \approx 75 \mu\text{s}$ dim süresi



Şekil 2. 33. Sıfır Geçiş Noktası (Zero-Cross) Gösterimi

RBDdimmer.h kitaplığı, sıfır geçiş dedektör devresi ve AC yüklerini kontrol etmek için triyaklar kullanan bir Arduino yazılım kitaplığıdır.

Aydınlatma çalışmamızda Arduino Dimmer Kütüphanesi için RBDdimmer.h kitaplığı dahil edilmiştir.

Sıfır geçiş dedektör devrelerini kullanmak için çeşitli yöntemler vardır.

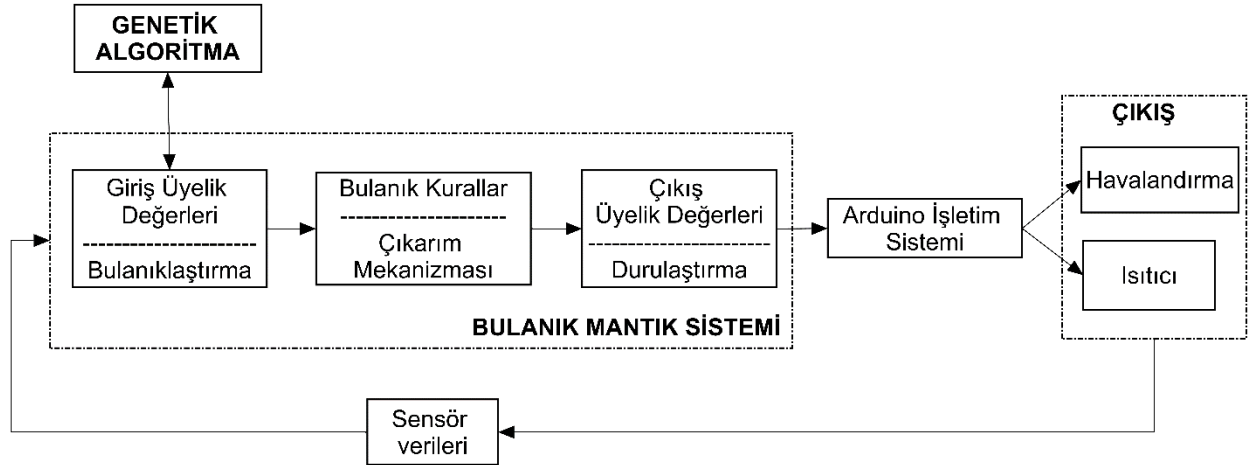
NORMAL_MODE ile zamanlayıcı, her yarım döngüde bir lambaya AC gücünün yalnızca bir yüzdesini uygulamak için zamanlayıcıyı kullanır.

RAMP_MODE ise Normal moddakiyle aynıdır, ancak seviyeleri değiştirirken bir rampa efekti uygular.



3. BULGULAR

Bu tezin ilk bölümünde yer alan iç ortam termal konfor şartlarının iyileştirilmesi kapsamında önerilen sistem, sensör gözlemleri, bulanıklaştırma, çıkarım, durulaştırma ve mekanik aşamalarından oluşmakta olup, sistemin çalışma mekanizmasına ait blok diyagram yapısı Şekil 3.1'de gösterilmektedir (Balcı S. G., Ersöz S., Lüy M., Türker A. K. ve Barışçı N., (2023)). Sistem öncelikle hareket sensörü ile devreye girmekte olup, ortam havasına ait değerler, sıcaklık, nem, hava kalitesi, CO boğucu ve patlayıcı gaz sensörleri aracılığı ile anlık olarak alınmakta ve ölçüm sonuçlarının bulanık mantık sisteminde değerlendirilmesi sonucunda hava temizleyicisi, ısıtıcı ve/veya alarm çıkış sistemlerinden hangisinin hangi oranda çalışması gerektiğine karar verilerek uygun çıkış sitemi çalıştırılmaktadır. Böylece iç ortam hava kalitesinin ve sıcaklığının Çizelge 3.1'de yer alan Uluslararası İç Ortam Hava Kalitesi sınır değerleri arasında tutulması amaçlanmaktadır. Hava temizleyicisi ve ısıtıcı çıkışları dimmer röleler aracılığı ile 220 V. ile çalışmaktadır.



Şekil 3. 1. Önerilen Sistem Blok Şeması

Önerilen sistemin işleyiş mekanizmalarını açıklayan blok şeması Şekil 3.1'de gösterilmektedir. Öncelikle Uluslararası standartlar dikkate alınarak sistemimiz için sınır değerler belirlenmiş, daha sonra bulanık sisteme ait giriş üyelik değerleri olarak tanımlanmıştır. Önerilen bulanık sistem girişleri 3 tane, çıkışları ise havalandırma ve/veya ısıtıcı olarak tanımlanmıştır

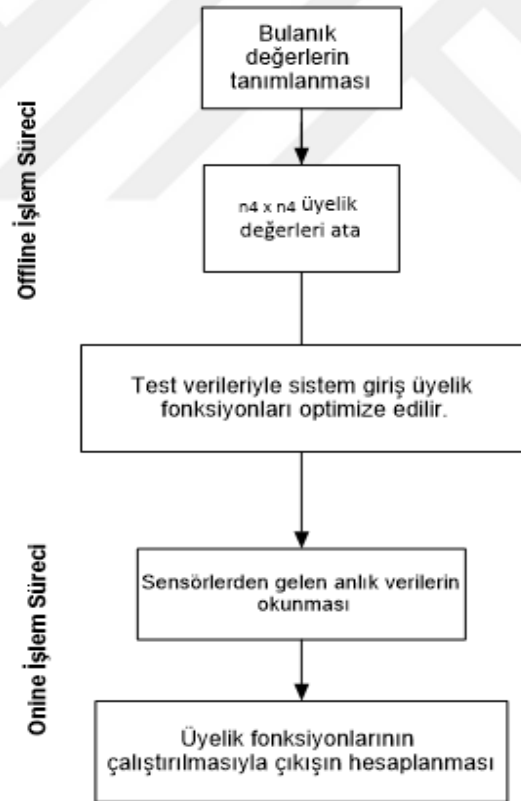
Çıkış değerleri için de 4'er tane bulanık üyelik değeri tanımlanmıştır. Önceki test verilerine göre Bulanık Mantık sisteminin giriş üyelik değerleri Genetik Algoritma ile optimize edilmiştir. Matlab R2018b programında oluşturulan bulanık mantık yazılımı, Arduino FIST: MATLAB Fuzzy Inference System to Arduino C Converter programı ile Arduino programına çevrilmiş ve program üzerinde gerekli düzenlemeler ve uyumlaştırmalar yapılarak sistem çalışır duruma getirilmiştir (Kvnadig, 2012).

Bulanık mantık sistemine ait giriş üyelik değerleri 2091 adet giriş-çıkış test verileri ile genetik algoritma kullanılarak optimize edilmiştir.

Çizelge 3. 1. Uluslararası İç Ortam Hava Kalitesi Sınır Değerleri HKI (AQI) 0~500

HKI Rengi	Düzey	İndeks Değeri	Hava Kalitesi Düzeylerinin Açıklaması
Yeşil	İyi	0 ~ 50	Hava kalitesi tatmin edicidir ve hava kirliliği çok az risk oluşturur veya hiç risk oluşturmaz.
Sarı	Orta	51 ~100	Hava kalitesi kabul edilebilir. Bununla birlikte, bazı insanlar için, özellikle de hava kirliliğine alışılmadık derecede duyarlı olanlar için bir risk olabilir.
Turuncu	Hassas Gruplar için Sağıksız	101 ~ 150	Hassas grupların üyeleri sağlık etkileri yaşayabilir. Genel halkın etkilenme olasılığı daha düşüktür.
Kırmızı	Sağıksız	151 ~ 200	Genel halkın bazı üyeleri sağlık etkileri yaşayabilir; Hassas grupların üyeleri daha ciddi sağlık etkileri yaşayabilir.
Mor	Çok Sağıksız	201 ~ 300	Sağlık uyarısı: Sağlık etkileri riski herkes için artar.
Bordo	Tehlikeli	301 ve üzeri	Acil durum sağlık uyarısı: herkesin etkilenme olasılığı daha yüksektir.

Sesli alarm sistemi; sistem karmaşasını azaltmak ve sistem güvenliğini arttırmak için bulanık mantık sistemine dahil edilmemiş olup, ortamdaki boğucu gaz oranı Çizelge 3.1’de sunulan Uluslararası İç Ortam Hava Kalitesi Sınır Değerleri’nde 4. Bölgeye ulaştığında sistem doğrudan sesli uyarı verecek şekilde ayarlanmıştır.



Şekil 3. 3. Genetik optimizasyon tasarım ve uygulama metodolojisi

Şekil 3.3’de gerçekleştirilen genetik optimizasyona ait tasarım ve uygulama metodolojisi aşamaları Online ve Offline İşlem Süreci olarak detaylandırılmıştır.

Offline İşlem Süreci:

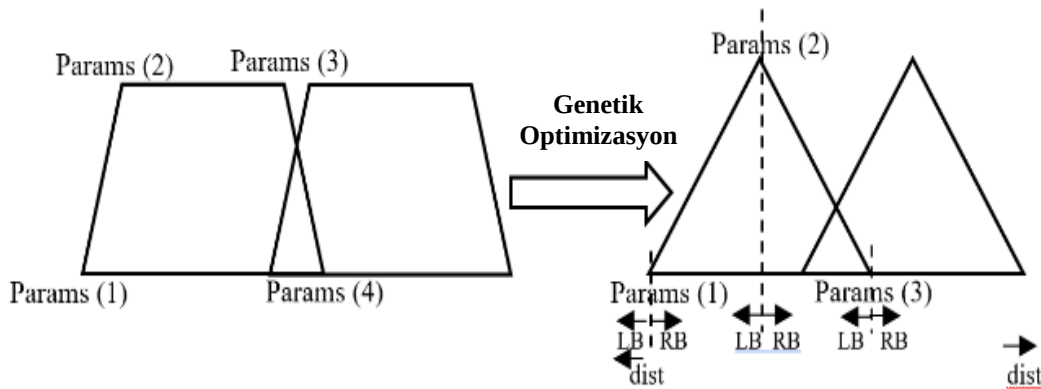
- Sıcaklık, Hava Kalitesi ve Nem girişleri için 4'er tane bulanık üyelik fonksiyonu tanımlanmış ve $4^3=64$ kural tanımlanmıştır.
- Çıkış bir tane olacak şekilde Havalandırma veya Isıtıcı olarak tanımlanmış ve her birine 4'er tane üyelik fonksiyonu tanımlanmıştır.
- Bulanık mantık sisteminin giriş üyelik değerleri 2091 test verisinin her bir çıkış için ayrı ayrı kullanılması ile genetik optimizasyon hesaplama ve değerlendirme işlemleri yapılmıştır.
- Optimizasyon sonucu oluşturulan yeni üyelik değerlerine sahip bulanık sistemin Arduino sistemine aktarılması ile sistem çalışır hale getirilmiştir.

Online İşlem Süreci:

- Arduino aracılığıyla sensörlerden gelen iç ortam verileri, optimizasyon sonucu oluşturulan yeni FLC aracılığıyla çıkış sistemlerini kademeli olarak çalıştırabilmektedir.

3.1. Genetik Algoritma ile Optimizasyon Tasarımı

Bulanık mantık giriş üyelik değerleri üçgensel, çıkış değerleri ise tranpozial (yamuk) olarak belirlenmiştir. Bulanık mantık çıktı verileri genetik optimizasyon işlemi için girdi verileri olarak kullanılacaktır. Bunun için öncelikle Şekil 3.4'te gösterildiği gibi 4 parametrelili tranpozial (yamuk) olarak gösterilen çıkışlar 3 parametrelili üçgensel gösterime dönüştürülür. Sistem performansını ölçmek için üçgen olarak gösterilen bulanık giriş üyelik değerleri, tekrar tranpozial değerlere dönüştürülecektir (Vugar, 2018).



Şekil 3. 4. Bulanık mantık sistemi çıkışlarının genetik optimizasyon sisteminde giriş olarak kullanılması

Genetik optimizasyon işlemi için bulanık mantık çıkış verileri, veri setinden rastgele seçilerek öğrenme verileri olarak ele alınır. 4 parametreye sahip tranpozial şeklindeki çıkış değerlerinin 3 parametreliliğe dönüştürülmesi için üçgensel gösterime çevrilmesine dair Matlab kodları Ek-2’de sunulmuştur. Belirlenen genetik algoritma parametreleri ile genetik optimizasyon işlemine başlanır.

Genetik operatörler olarak çalışmamızda her bir giriş üyelik fonksiyonunun parametreleri için LB ve RB tanımlanmış ve ayrıca minimum ve maksimum sınır noktalarından sapma dist değeri manuel olarak girilmiştir.

Matlab yazılımında çeşitli amaç ve yöntemlere göre farklılık gösteren genetik optimizasyonun kodları ve açıklamaları yer almaktadır.

İlk kod amaç fonksiyonu üzerinden genetik optimizasyon işleminin yapılmasını sağlar, ikinci kod ise giriş-çıkış veri setine göre optimizasyon işleminin yapılmasına olanak verir. Üçüncü kodda ise ikinci koda ait algoritma parametreleri detaylandırılarak geliştirilmiştir, çalışmamızda üçüncü kod bloğu kullanılmıştır.

- `x = ga(fun,nvars)` ile `x`; amaç fonksiyonuna ait sınırlandırılmamış min noktasını bulur. (`fun`= finds a local unconstrained minimum ve `nvars`:değişken sayısı)
- `[x,fval] = ga(__)`, önceki bağımsız giriş değişkenleri için, uygunluk fonksiyonunun `x`'teki değeri olan `fval` değerini döndürür.
- `[x,fval,exitflag,output,population,scores] = ga(__)`
`exitflag`: Algoritmanın sonlandırılma kriterini tanımlayan bir tam sayı
`output`: her nesilden çıktıyı ve algoritmanın performansı ile ilgili diğer bilgileri içeren yapıyı döndürür.
`population,scores`: satırları son popülasyon olan bir matris popülasyonunu ve son popülasyonun vektörel puanlarını döndürür.

```
%% Specifying the optimization options...
popsize = str2num(input('Enter the population size: ','s'));
maxgen = str2num(input('Enter the number of iterations: ','s'));
maxtime = str2num(input('Enter the time limit: ','s'));
fitnesslimit = str2num(input('Enter the fitness limit: ','s'));

ga_options = optimoptions(@ga,'Display','iter','PopulationSize',popsize,...
'MaxGenerations',maxgen,'MaxTime',maxtime,'FitnessLimit',fitnesslimit);
ga_choice = str2num(input('Console (1) or window (2) mode: ','s'));

%% Running the genetic optimization process...
```

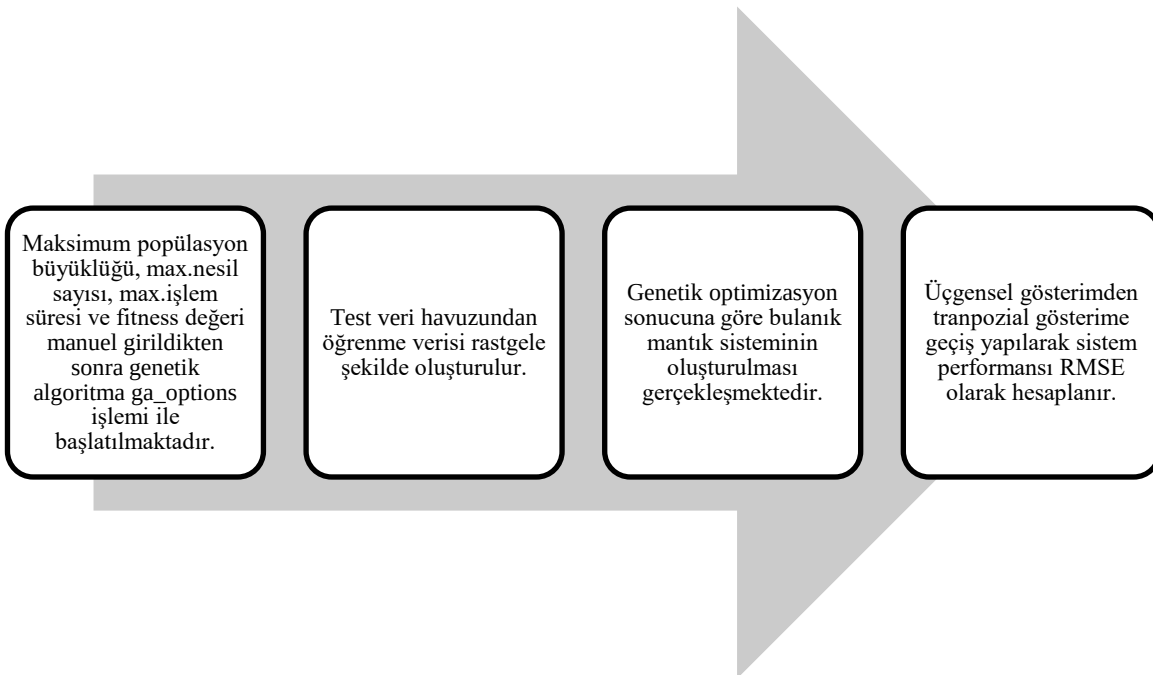
```

>> fuzzy
>> GA_FIS_Tuning
Enter the FIS name: airdata
Increase the range of each dataset attribute by: 20
Enter the initial dataset file/variable name: Vent_Heater.txt
Loading the initial dataset...
The loading is finished.
-----
The number of attributes: 4
The number of records: 2091
-----
Specify the attribute order: [1 2 3 4]
Enter the number of records: 1500
Enter the random subset file name: TuningData
-----
Enter the population size: 400
Enter the number of iterations: 15
Enter the time limit: Inf
Enter the fitness limit: 0.04
fx Console (1) or window (2) mode: |

```

Şekil 3. 5. Genetik optimizasyon parametrelerine ait girişlerin Matlab'de tanımlanması

Şekil 3.5'te gösterildiği üzere genetik optimizasyon, 2091 veri kümesinden 1500'ü rastgele seçilerek öğrenme verileri oluşturulmuştur. Optimizasyon için veri popülasyonunun boyutu 400, iterasyon sayısı 15, zaman limiti sınırsız ve fitness limit 0.04 olarak belirlenmiştir.



Şekil 3. 6. Matlab 2018b ile Genetik Optimizasyonun gerçekleştirilmesi

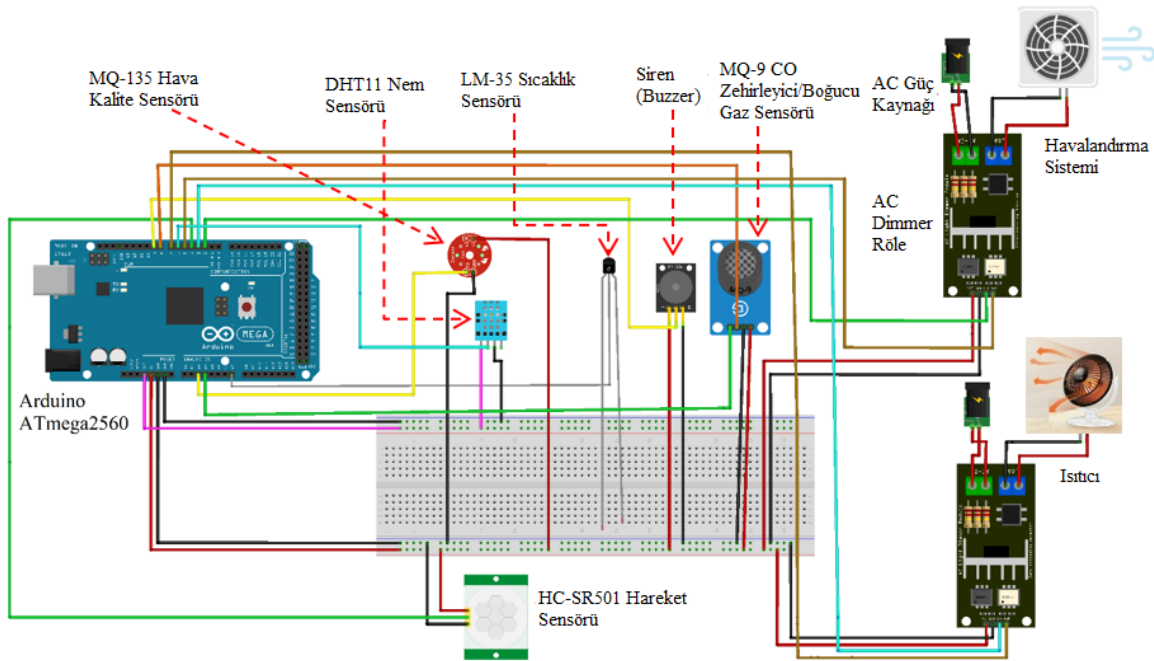
Şekil 3.6'da Matlab 2018b ile Genetik Optimizasyonun gerçekleştirilmesi işlem adımları gösterilmiştir.

3.1.2. Ortalama Kare Kök Hatasının (RMSE) bulunması

Ortalama Kare Kök Hatası, tahminlerin doğruluğunu değerlendirmek için yaygın olarak kullanılan bir ölçüm yöntemidir. Bir modelin veya tahmin yönteminin performansını değerlendirmek için kullanılabilen, tahmin edilen değerler ile gerçek değerler arasındaki ortalama sapmanın ölçüsünü göstermektedir. RMSE, Denklem 3.1’de belirtildiği üzere tahmin edilen değerler ile gerçek değerler arasındaki kare farkların ortalamasının karekökü alınarak hesaplanır. Bu denklem sayesinde büyük hata terimleri cezalandırılır ve tahmin edilen modelin performansı daha kapsamlı bir şekilde değerlendirilmiş olur. Ek olarak, RMSE’yi kullanan araştırmacılar, tahmin edilen değerlerin gerçek veri noktalarından ne kadar uzak veya yakın olduğunu belirleyebilirler (Twumasi-Ankrah ve diğerleri, 2021)

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n e_t^2} \quad (3.1)$$

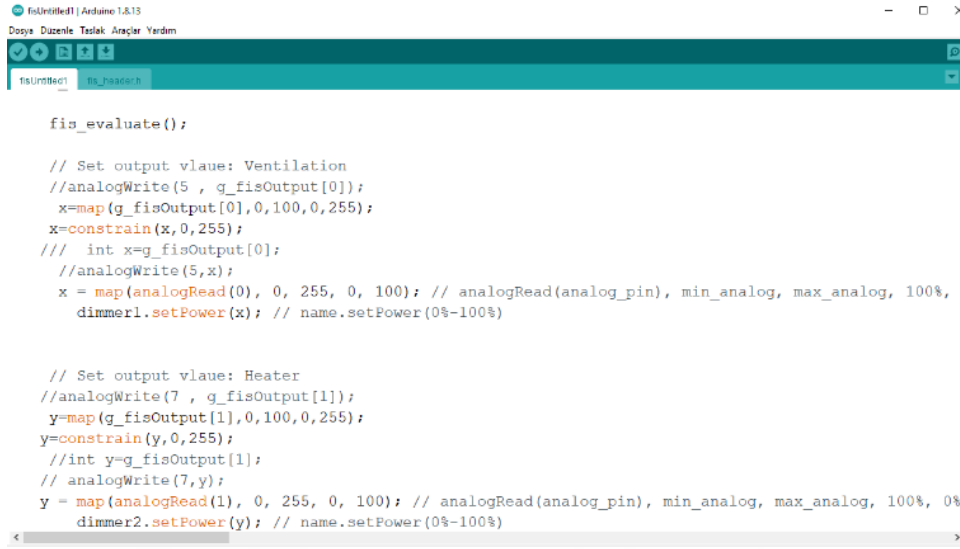
3.2. Genetik Optimizasyon için Arduino Devre Tasarımı



Şekil 3. 7. Arduino Devre Tasarımı

Şekil 3.7’de devre tasarımı yapılan ve Şekil 3.8’de Arduino ATmega2560 ile oluşturulan sistemin yazılımına Adafruit_Sensor.h, dht11.h, LM35.h, MQ-9 sensör kitaplıkları ile RBDdimmer.h dimmer kitaplığı eklenmiştir. Serial porttan seri bağlantı noktası ile iletişim kurularak veri hızı 9600 bps ile sensörlerden veri okuma başlatılmıştır. Sensörlerden gelen veriler, daha önce optimize edilmiş bulanık mantık kod bloğundan geçer, böylece hangi çıkışın hangi oranda çalıştırılması

gerektiğine karar verilir ve dimmer röleler vasıtası ile kademeli olarak çıkış güç değeri ayarlanır.



```
fsUntitled1 | Arduino 1.8.13
Dosya Düzenle Taslak Araçlar Yardım

fsUntitled1 fs_hesaplama

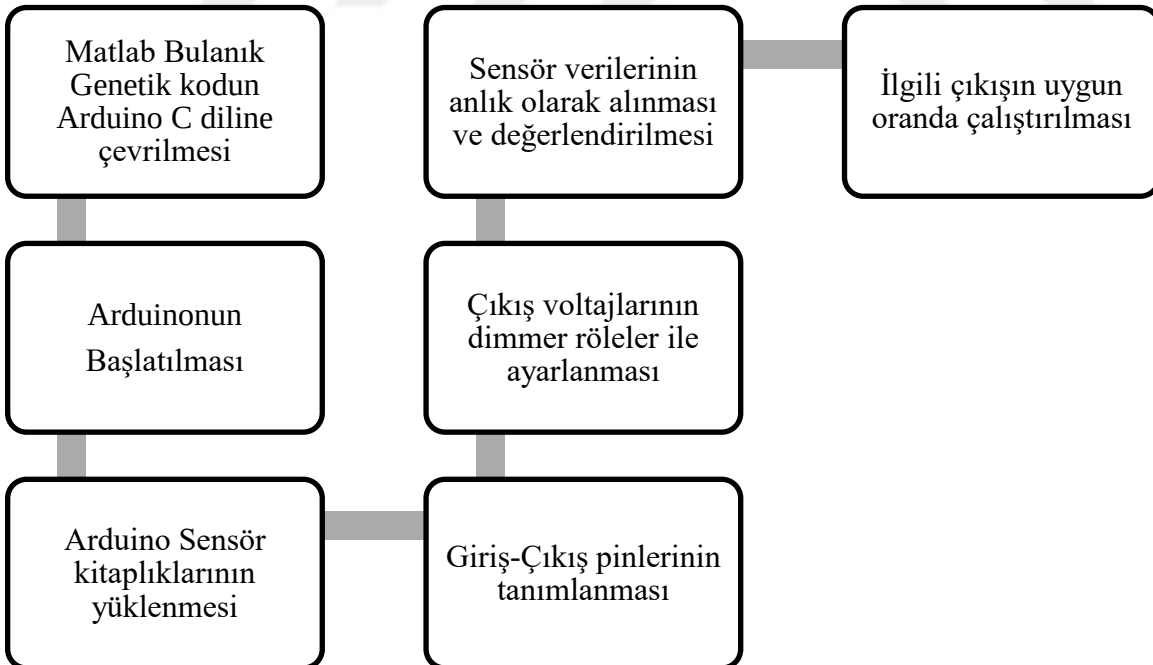
fis_evaluate();

// Set output vlaue: Ventilation
//analogWrite(5 , g_fisOutput[0]);
x=map(g_fisOutput[0],0,100,0,255);
x=constrain(x,0,255);
// int x=g_fisOutput[0];
//analogWrite(5,x);
x = map(analogRead(0), 0, 255, 0, 100); // analogRead(analog_pin), min_analog, max_analog, 100%, 0%
dimmer1.setPower(x); // name.setPower(0%-100%)

// Set output vlaue: Heater
//analogWrite(7 , g_fisOutput[1]);
y=map(g_fisOutput[1],0,100,0,255);
y=constrain(y,0,255);
//int y=g_fisOutput[1];
// analogWrite(7,y);
y = map(analogRead(1), 0, 255, 0, 100); // analogRead(analog_pin), min_analog, max_analog, 100%, 0%
dimmer2.setPower(y); // name.setPower(0%-100%)
```

Şekil 3. 8. Arduino 1.8.13 ile program yazılımının yapılması

Şekil 3.8’de gösterildiği üzere Matlab programı ile tasarlanan Bulanık sistemin Arduino C diline çevrilmesinin ardından Şekil 3.9’da aşamaları belirtildiği gibi sensör kitaplıklarının yüklenmesi, sensör ve çıkış pinlerin belirlenmesi ve 5V-220V çıkış güç ayarlamalarının ve ayrıca frekans ayarı olan zero-cross noktasının yapılandırılması işlemlerinin sonucunda sistem çalışır hale getirilmiştir.



Şekil 3. 9. Arduino 1.8.13 ile program yazılımının gerçekleştirilmesi

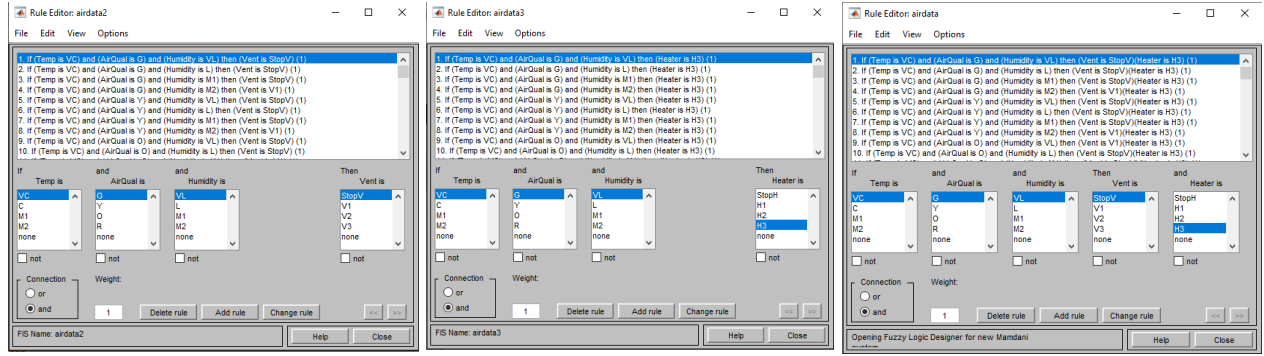
Çizelge 3. 2. Ulusal ve Uluslararası İç Hava Kalitesi Standart Değerleri

Parametre	US_EPA	WHO	USA ASHRAE-62	GermanyDIN 15251	Hong Kong HKGCC
CO(ppm)	9	9			
CO ₂ (ppm)	1000	1000			
O ₃ (ppm)	0,05	0,05			
SO ₂ (ppm)	70	70			
U _{OB} (ppm)	3	1-3			
Sıcaklık (°C)	22.5-25.5	22.5-25.5	20–25.5	20–26	20–25,5
Nem (%)	<70	<70	30–60	30–70	40–70
PM ₁₀ (µg/m ³)	150	150			
PM _{2.5} (µg/m ³)	35				

Çizelge 3.1 ve Çizelge 3.2’de sunulan Uluslararası standart değerler göz önünde bulundurularak sistemimiz için kullanmış olduğumuz iç ortam sıcaklık, hava kalitesi ve nem değerleri için 4’er tane alt ve üst sınır değerler belirlenerek Çizelge 3.3’te sunulmuştur.

Çizelge 3. 3. Bulanık Mantık başlangıç giriş üyelik değerleri

Değişkenler	Üyelik Değerleri	Ölçüm aralıkları
Sıcaklık	VC (Very Cold-Çok Soğuk)	Çok Soğuk:[-35,10]
	C (Cold-Soğuk)	Soğuk:[2,18]
	M1 (Medium 1-Orta 1)	Orta 1:[14,42]
	M2 (Medium 2-Orta 2)	Orta 2:[38,65]
Hava Kalitesi	G (Green-Yeşil)	Yeşil:[0,15]
	Y (Yellow-Sarı)	Sarı:[10-18]
	O (Orange-Turuncu)	Turuncu:[16,25]
	R (Red-Kırmızı)	Kırmızı:[20,50]
Nem	VL (Very Low-Çok Düşük)	Çok Düşük:[0,35]
	L (Low-Düşük)	Düşük:[25,45]
	M1 (Medium 1-Orta 1)	Orta 1:[38,77]
	M2 (Medium 2-Orta 2)	Orta 2:[75,100]



a)

b)

c)

Şekil 3. 10. a) Havalandırma çıkışına göre hazırlanan kural tabanı
b) Isıtıcı çıkışına göre hazırlanan kural tabanı
c) Hem havalandırma hem ısıtıcı çıkışlarına göre kural tabanı

Şekil 3.10'da hazırlanan 3 ayrı sisteme ait kural tabanı görülmektedir. FLC sisteminin 3 girişine ait 4'er tane üyelik değeri olduğundan, $4 \times 4 \times 4 = 64$ kural tanımlanmıştır.

4. TARTIŞMA ve SONUÇLAR

4.1. İç ortam Hava Kalitesinin Genetik Algoritma ile Optimizasyonu Uygulama Sonuçları

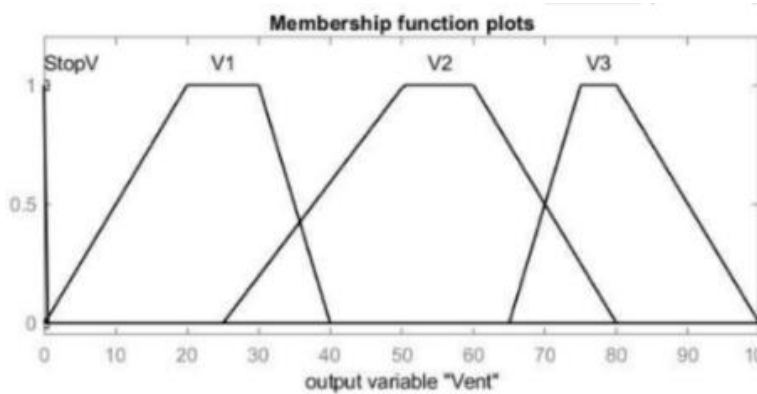
4.1.1. Havalandırma için Bulanık Üyelik Değerlerinin Optimizasyonu

Sıcaklık, hava kalitesi ve nem girişleri ile havalandırma çıkışını içeren bir bulanık sistem tasarlanmış ve bu sistem için tanımlanan 64 tane kural Çizelge 4.1’de listelenmiştir.

Çizelge 4. 1. Havalandırma çıkışına göre kural tabanı

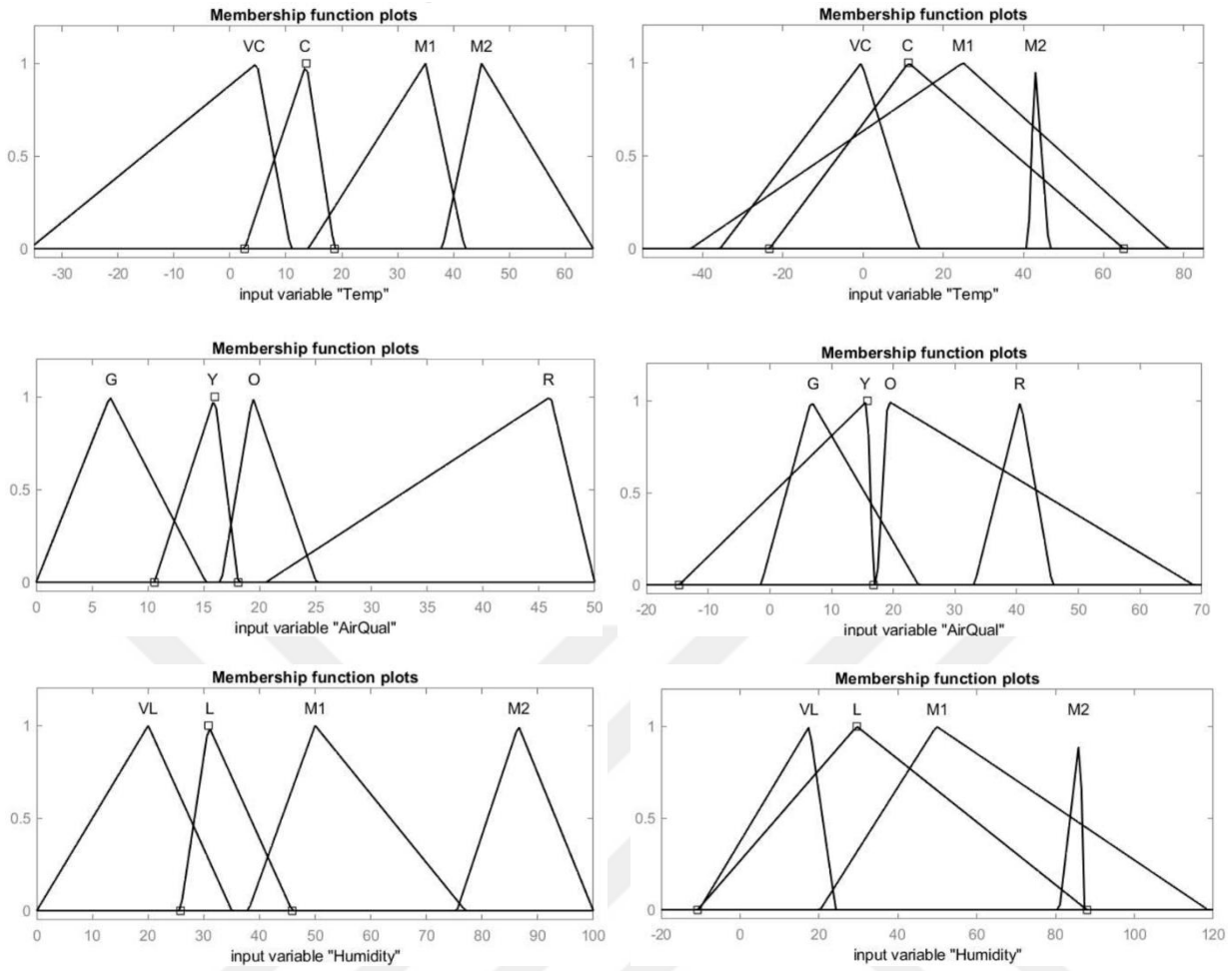
No	Rules
1	Eğer (Sıcaklık =VC) ve (Hava Kalitesi =G) ve (Nem=VL) ise sonuç (Havalandırma=StopV) (1)
2	Eğer (Sıcaklık = VC) ve (Hava Kalitesi = G) ve (Nem = L) ise sonuç (Havalandırma= StopV) (1)
...	
64	Eğer (Sıcaklık = M2) ve (Hava Kalitesi = R) ve (Nem = M2) ise sonuç (Havalandırma=V3) (1)

Örneğin sıcaklık M2 bölgesinde (38~65), hava kalitesi en tehlikeli bölge olan R (20~50) aralığında ve nem M2 (75~100) aralığında ise havalandırma çıkışının en yüksek değer aralığında çalışması istenmektedir.



Şekil 4. 1. Havalandırma çıkış değerleri üyelik fonksiyonları

Şekil 4.1’de havalandırma çıkış sisteminin çalışmasının istenilmediği durumlar L(Low) ile gösterilmiş ve sistemin bu durumda kararlı çalışması için parametreleri [0,0,0] olarak belirlenmiştir.



Şekil 4. 2. a) Sıcaklık değerinin havalandırmaya göre optimizasyonu
b) Hava Kalitesi değerinin havalandırmaya göre optimizasyonu
c) Nem değerinin havalandırmaya göre optimizasyonu

Şekil 4.2'de, Havalandırma çıkışına göre Sıcaklık, Hava Kalitesi ve Nem bulanık girişlerin üyelik değerlerinin başlangıç ve optimize edilmiş durumları ayrı ayrı sunulmaktadır. Başlangıçta tasarlanan bulanık sistem ile optimize edilmiş bulanık tasarım arasındaki sistem performansını değerlendirmek için Ortalama Kare Kök Hatası (RMSE) yöntemi kullanılmıştır.

Havalandırma çıkışına göre gerçekleştirilen optimizasyonda 12. nesilde en iyi fitness değeri 25.01, ortalama değer ise 27.58 olarak elde edilmiştir. Başlangıçta belirlenen giriş üyelik değerlerinin RMSE hatası %60.02, optimizasyon sonucunda ölçülen RMSE hatası %25.21 olarak bulunmuştur. Havalandırma çıkışı için bulanık giriş üyelik değerlerinin optimizasyonu sonucunda % 58'lik bir iyileşme elde edilmiştir.

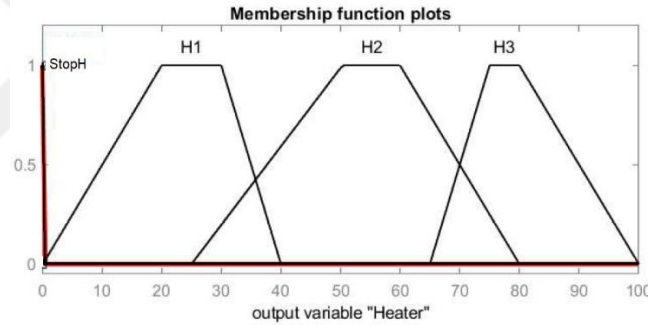
4.1.2. Isıtıcı için Bulanık Üyelik Değerlerinin Optimizasyonu

Sıcaklık, hava kalitesi ve nem girişleri ile ısıtıcı çıkışlarını içeren bir bulanık sistem tasarlanmış ve bu sistem için tanımlanan 64 tane kural Çizelge 4.2’de listelenmiştir.

Çizelge 4. 2. Isıtıcı çıkışına göre kural tabanı

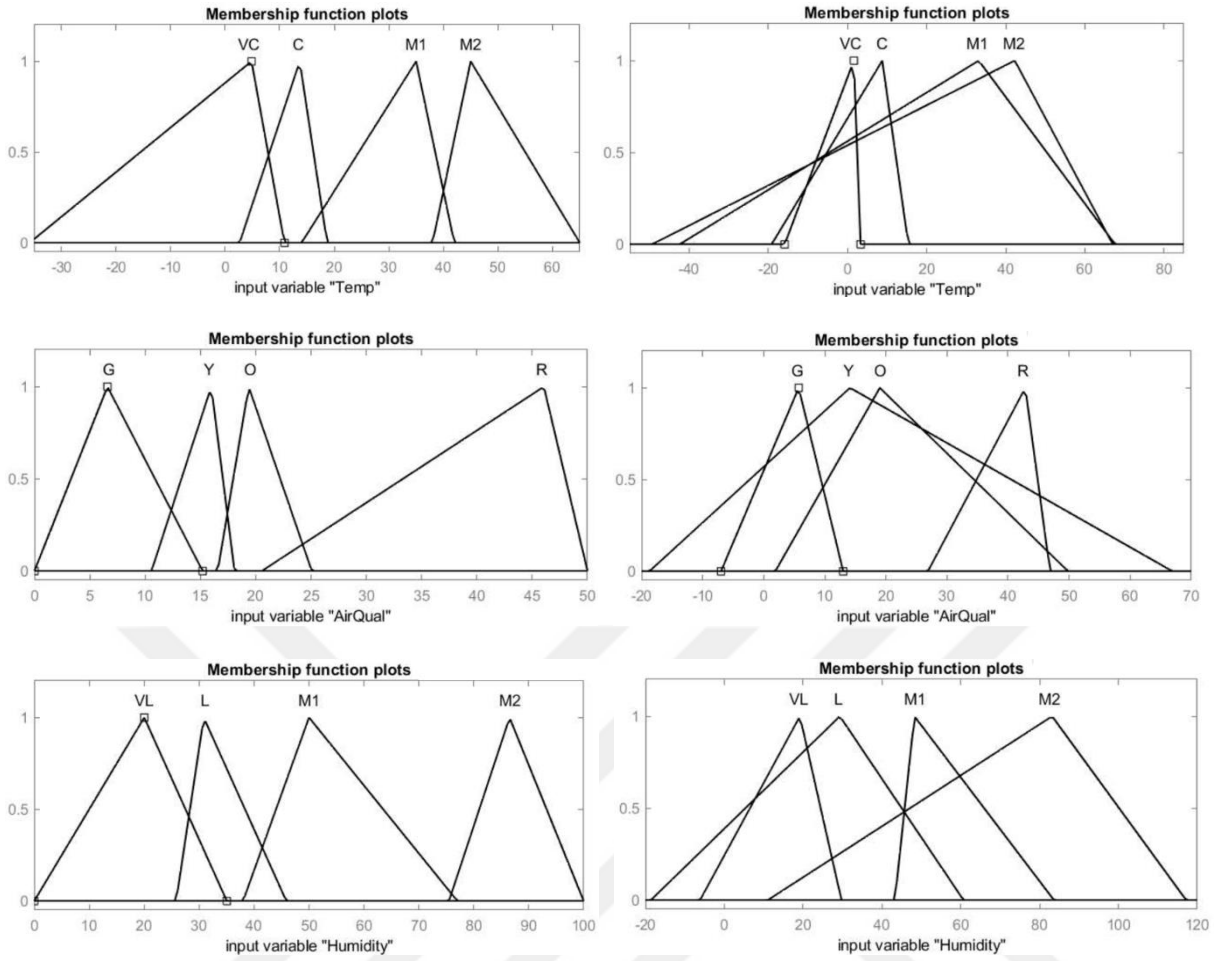
No	Rules
1	Eğer (Sıcaklık=VC) ve (Hava Kalitesi=G) ve (Nem=VL) ise sonuç (Isıtıcı= H3) (1)
2	Eğer (Sıcaklık=VC) ve (Hava Kalitesi=G) ve (Nem=L) ise sonuç (Isıtıcı=H3) (1)
....	
64	Eğer (Sıcaklık=M2) ve (Hava Kalitesi = R) ve (Nem =M2) ise sonuç (Isıtıcı=StopH) (1)

Örneğin sıcaklık M2 bölgesinde (38~65), hava kalitesi en tehlikeli bölge olan R (20~50) aralığında ve nem M2 (75~100) aralığında ise ısıtıcı çıkışının çalışması istenmemektedir.



Şekil 4. 3. Isıtıcı çıkışı için üyelik fonksiyonları

Şekil 4.3'te ısıtıcı çıkış sistemi gösterilmektedir. Isıtıcı sisteminin çalışmasının istenmediği durumlar L(Low) ile gösterilmiş ve sistemin deneysel olarak kararlı çalışması için parametreleri [0,0,0] olarak belirlenmiştir.



Şekil 4. 4. a) Sıcaklık değerinin ısıtıcıya göre optimizasyonu
b) Isıtıcıya göre Hava Kalitesi değerinin optimizasyonu
c) Nem değerinin ısıtıcıya göre optimizasyonu

Şekil 4.4'te ısıtıcı çıkışına göre BMD giriş üyelik değerlerinin optimizasyonu yer almaktadır. Sistem performansını değerlendirmek için, ilk ve son bulanık tasarım için RMSE hataları hesaplanmıştır. Başlangıçta tasarlanan BMD sistemi için belirlenen giriş üyelik değerlerinin RMSE hatası %51,80 iken, optimizasyon sonucu ölçülen RMSE hatası ise %23,22 olarak bulunmuştur. Isıtıcı çıkışı için bulanık giriş üyelik değerlerinin optimizasyonu sonucunda %55 oranında iyileşme sağlanmıştır.

Çizelge 4. 3. Çalışmanın deneysel sonuçları

		Bulanık Mantık Girişleri			Bulanık Mantık Çıkışları		Bulanık Mantık Sistemine Dahil Edilmeyen Giriş ve Çıkış	
	No	Sıcaklık (°C) (Giriş-1)	Hava Kalitesi (Giriş-2)	Nem (Giriş-3)	Havalandırma % (Çıkış-1)	Isıtıcı % (Çıkış-2)	CO-Patlayıcı Gaz Oranı (Giriş-4)	Siren (Çıkış-3)
Havalandırma çıkışına göre optimizasyon	1	25.1	13.1	16.3	0	-	2	OFF
	2	15	25	19.6	20.9	-	3	OFF
	3	6.57	34.8	65.2	35.9	-	6	OFF
	4	-18.7	6.57	19.6	0	-	2	OFF
	5	42	38	70.2	49.7	-	9	ON
Isıtıcı çıkışına göre optimizasyon	6	26.8	15.2	29.8	-	0	2	OFF
	7	11.6	17.4	16.3	-	39.3	2	OFF
	8	-12	18.5	9.52	-	48.52	2	OFF
	9	-5.24	18.5	85.4	-	50	2	OFF
	10	15	42.3	38.2	-	34.6	9	ON
Havalandırma ve ısıtıcı çıkışına göre optimizasyon	11	-2.73	25	26.8	24.5	51	3	OFF
	12	-16.4	53	78.6	34.7	49.4	11	ON
	13	2.73	11	24.1	47.3	48.5	2	OFF
	14	21.8	27	7.73	47.9	35.8	4	OFF
	15	40.9	7	32.3	65.5	0	1	OFF

Çalışmamıza ait deney sonuçların bir bölümü Çizelge 4.3'te sunulmuş olup, ilk 5 deney çalışması havalandırma çıkışına göre, 5-10 numaraları deneyler ise ısıtıcı çıkışlarına göre ayrı ayrı yapılan genetik optimizasyon işlemlerinden elde edilen sonuçlar listelenmiştir. 11-15 arası deney çalışmalarında ise ayrı ayrı gerçekleştirilen genetik optimizasyon sonuçlarından elde edilen iki bulanık sistemin üyelik fonksiyonlarının ortalaması alınarak elde edilen yeni bulanık sistemin test sonuçları gösterilmiştir. Bulanık sistemin karmaşıklığını artırmamak için siren (buzzer), CO-Patlayıcı (Flame) sensör verileri bulanık sisteme dahil edilmemiş CO-Patlayıcı gaz değeri 8'den büyük olduğunda otomatik olarak çalışacak şekilde ayarlanmıştır.

Sonuç olarak; havalandırma çıkışına göre yapılan bulanık mantık giriş üyelik değerlerinin optimizasyonu ile %57 oranında bir iyileşme ve ısıtıcı çıkışına göre yapılan optimizasyonda ise %59 oranında iyileşme sağlanmıştır.

4.1.3. Havalandırma ve Isıtıcı Çıkışına göre kural tabanı

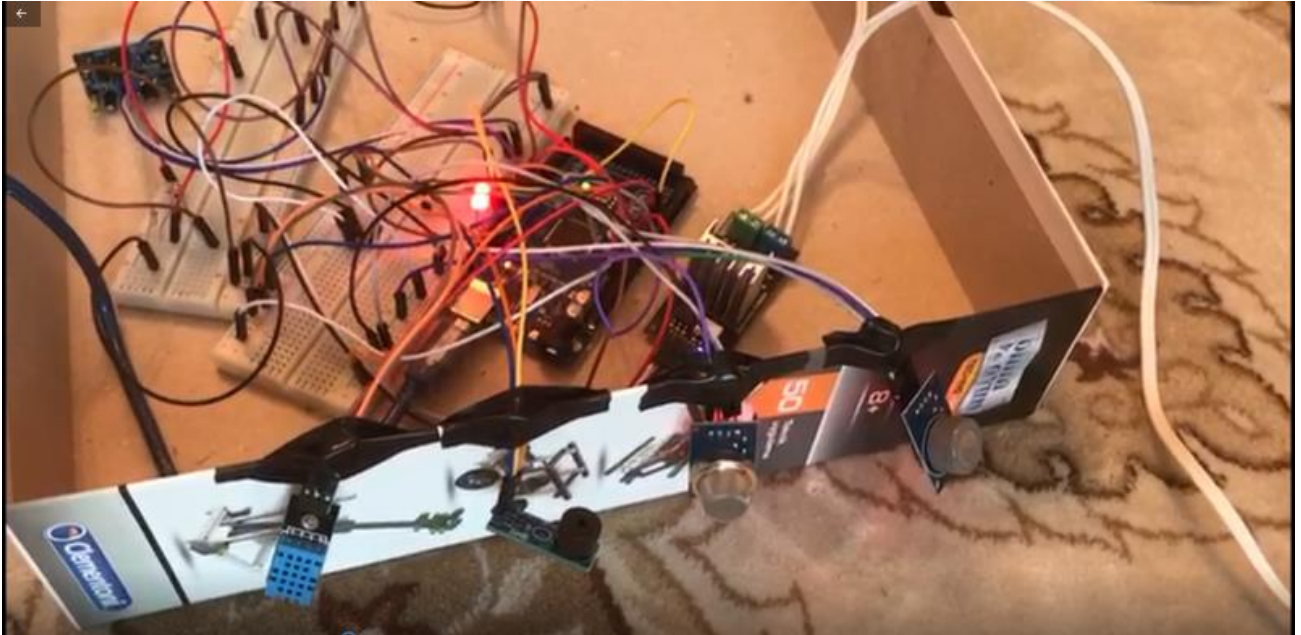
Havalandırma ve ısıtıcı çıkışlarının eş zamanlı olarak genetik optimizasyonu işleminde kararlı sonuçlar elde edilememiştir. Havalandırma ve ısıtıcı çıkışlarına göre üretilen iki yeni bulanık sisteme ait giriş üyelik değerlerinin aritmetik ortalaması alınarak elde edilen yeni bulanık sistem için hazırlanan kural tabanı Çizelge 4.4'te belirtilmiştir.

Çizelge 4. 4. Havalandırma ve Isıtıcı Çıkışına göre kural tabanı

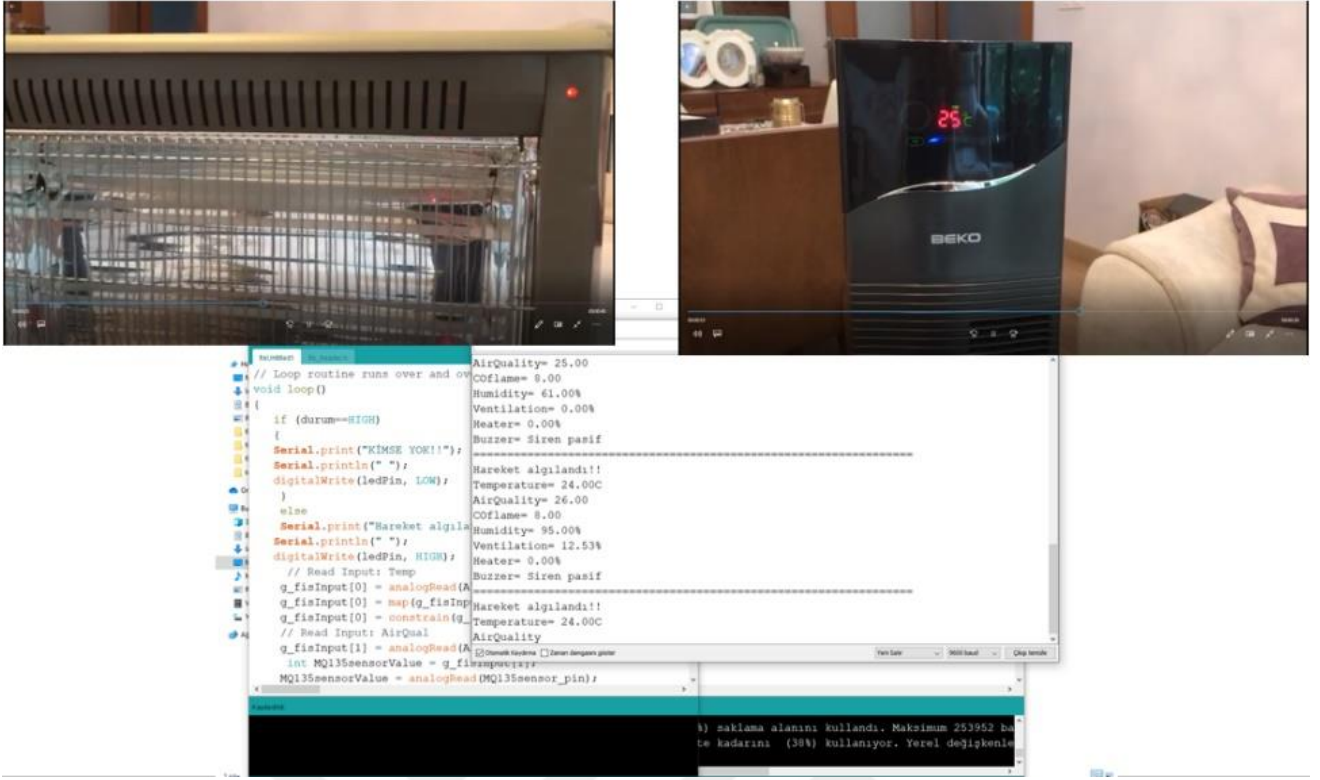
No	Rules
1	Eğer (Sıcaklık=VC) ve (Hava Kalitesi=G) ve (Nem=VL) ise sonuç(Havalandırma=StopV)(Isıtıcı=H3) (1)
2	Eğer (Sıcaklık=VC) ve (Hava Kalitesi=G) ve (Nem=L)) ise sonuç (Havalandırma=StopV)(Isıtıcı=H3) (1)
....	
64	Eğer (Sıcaklık=M2) ve (Hava Kalitesi=R) ve (Nem=M2)) ise sonuç (Havalandırma=V3)(Isıtıcı=StopH) (1)

Yeni bulanık sistemin RMSE hata sonucuna göre %31 oranında azalma saptanmış, böylece sistem performansında iyileşme gözlenmiştir.

Şekil 4.5 ve Şekil 4.6'da Arduino ile havalandırma ve ısıtma bulanık kontrol sistemine ait devre ve tasarım görselleri sunulmuştur.



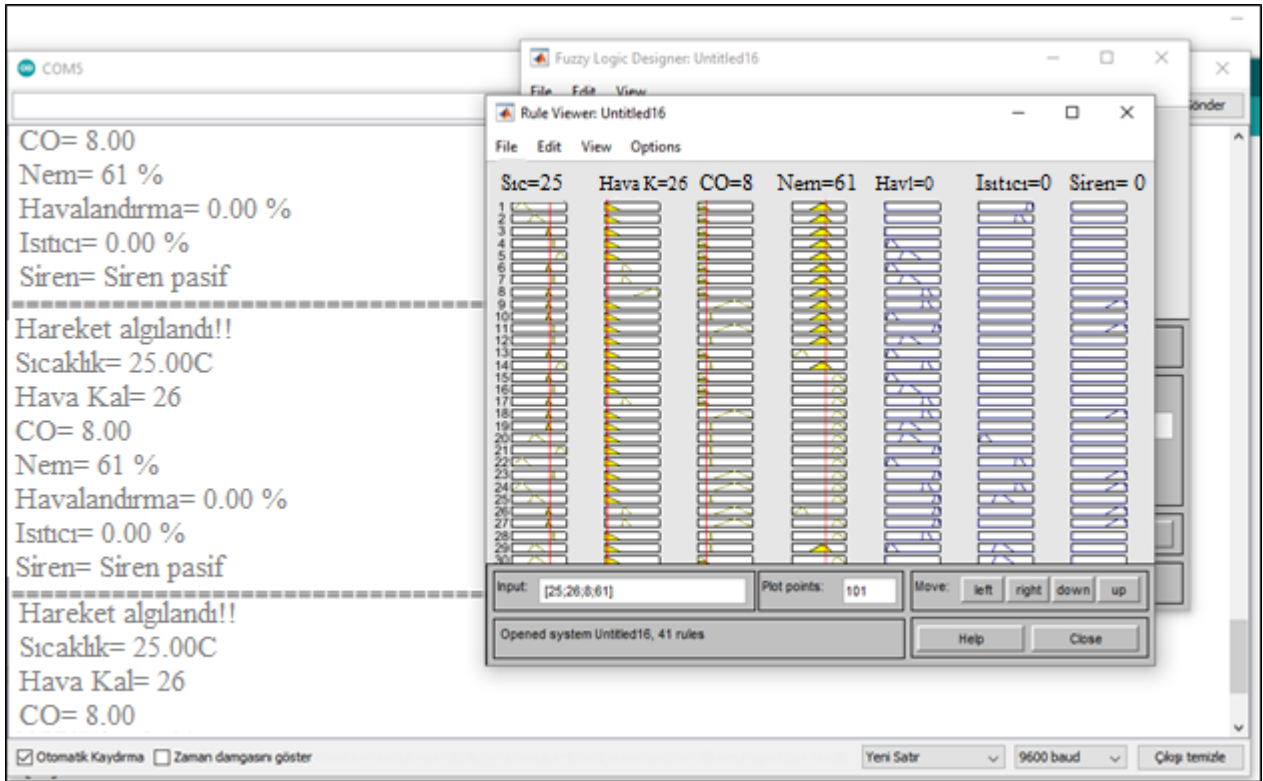
Şekil 4. 5. Arduino ile tasarlanan havalandırma ve ısıtma bulanık kontrol sistemine ait devre tasarımı



Şekil 4. 6. Havalandırma ve ısıtıcı sistemlerinin Bulanık Genetik Sistemle Kontrolü

Şekil 4.6’da sensörlerden gelen verilerin BMD sisteminde değerlendirilmesi yoluyla ısıtıcı veya havalandırma sistemlerinin çalıştırılması gösterilmektedir.

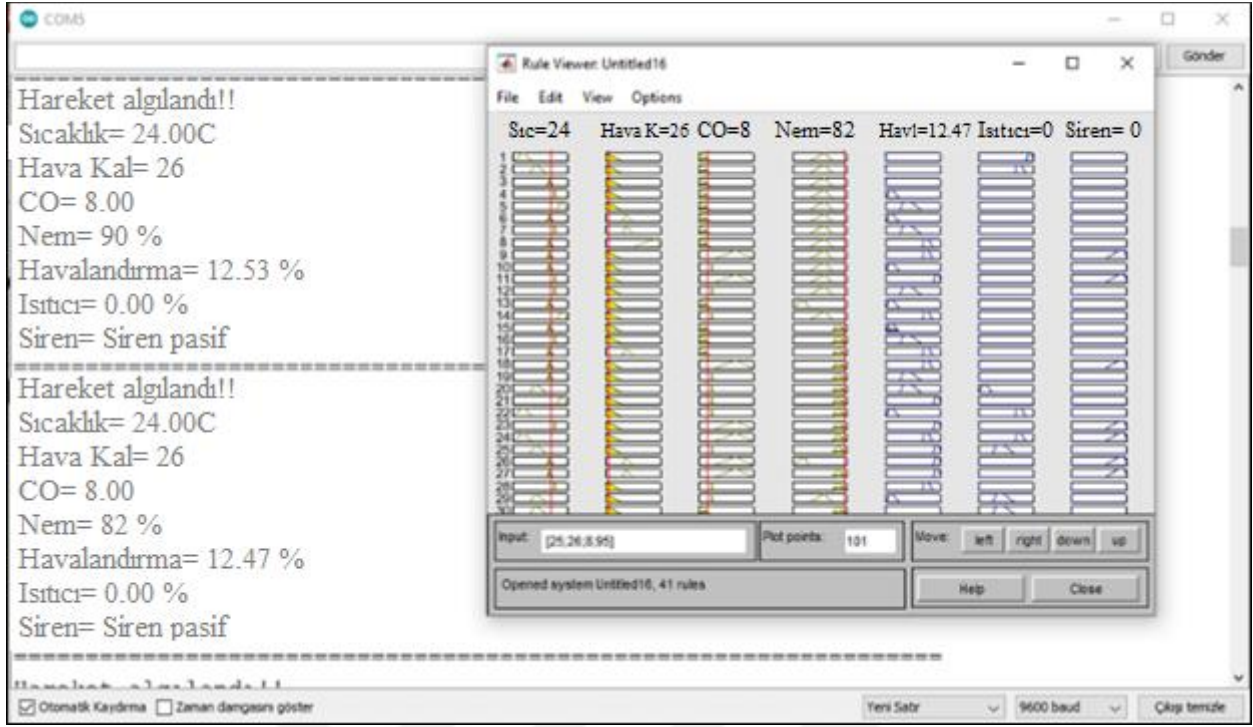
4.1.4. İç Ortam Hava Kalitesi Uygulama Sonuçları



Şekil 4. 7. Deney Sonuçları-1

Sıcaklık=25, Hava Kalitesi=26, CO-Patlayıcı Gaz=8, Nem=%61 iken Havalandırma=%0, Isıtıcı=%0 ve Alarm(Buzzer)=Kapalı.

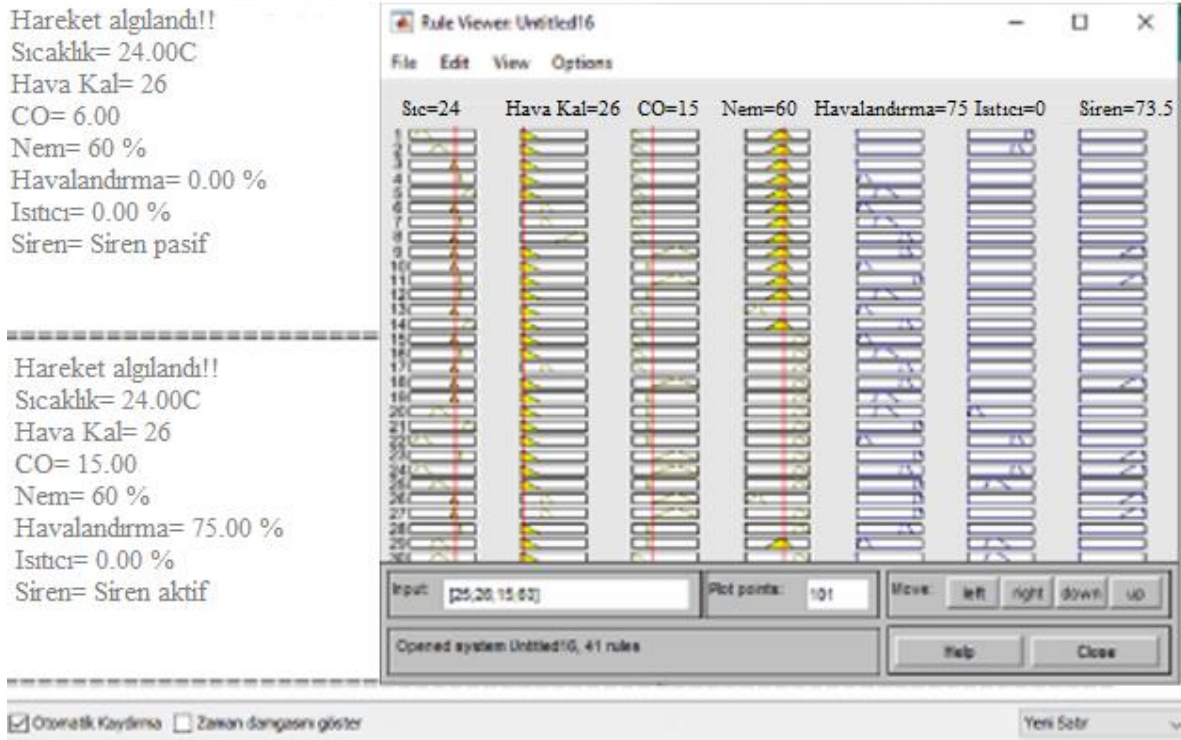
Şekil 4.7’de BMD sisteminin kural tabanından alınan sonuçlara göre, sıcaklık ve iç ortam hava kalitesi normal ancak CO-Patlayıcı Gaz oranı düşük ise havalandırma ve ısıtma sistemleri çalışmamakta ayrıca sesli uyarı sistemi de çalışmamaktadır.



Şekil 4. 8. Deney Sonuçları-2

Sıcaklık=24, Hava Kalitesi=26, CO-Patlayıcı Gaz=8, Nem=%82 iken Havalandırma=%12.47, Isıtıcı=%0 ve Alarm(Buzzer)=Kapalı.

Şekil 4.8'deki durum Şekil 3.11'deki durumdan farklı olarak ortamdaki nem oranı %61'den %82'ye artmış görünmektedir. BMD kural tabanından elde edilen sonuçlara göre sistem havalandırması %12.47 oranında çalışmakta, ancak ısıtıcı ve sesli uyarı sistemleri çalışmamaktadır.



Şekil 4. 9. Deney Sonuçları-3

Sıcaklık=24, Hava Kalitesi=26, CO-Patlayıcı Gaz=15, Nem=%60 Havalandırma=%75 olduğunda Isıtıcı=%0 ve Alarm(Buzzer)=Açık

Şekil 4.9’da sıcaklık, nem değerleri normal değerler arasında olduğu durumda CO-Patlayıcı gaz oranı sınır değeri 8’i aşıp 15’e ulaştığında havalandırma %75 oranında çalışmakta ve sesli alarm sistemi uyarı vermektedir.

Çıkış değerleri BMD Matlab Toolbox ve Arduino ara yüzünde eşzamanlı olarak gözlemlenebilmektedir.

4.1.5. Deney Sonuçlarının Kural Tabanı ile Açıklanması

BMD'nin GA ile optimizasyon işleminden sonra elde edilen yeni bulanık sistemin çalışmasına ait deneysel veriler aşağıda sunulmuştur.

Sıcaklık:15, Hava Kalitesi=25, Nem=50 çıktığında

Sıcaklık Değerinin C ve M1 değerleri alabileceği,

Hava Kalitesinin O değerini alabileceği,

Nem Değerinin L veya M1 değerlerini alabileceği görülmektedir.

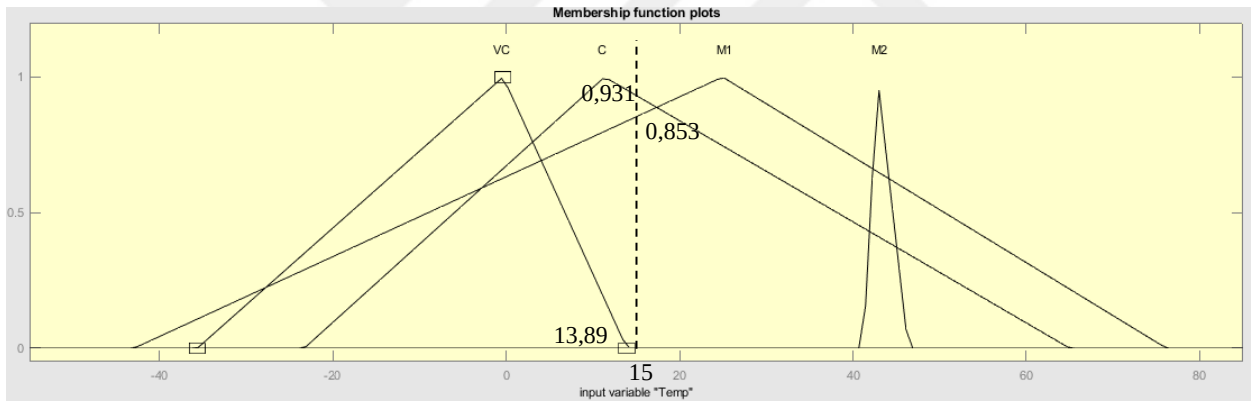
Kuralların kapsadığı alanlara göre 26, 27, 42 ve 43. kurallar tetiklenir.

26.Kural:Eğer Sıcaklık C ve Hava Kalitesi O ve Nem L ise Havalandırma StopV

27.Kural: Eğer Sıcaklık C ve Hava Kalitesi O ve Nem M1 ise Havalandırma StopV

42.Kural: Eğer Sıcaklık M1 ve Hava Kalitesi O ve Nem L ise Havalandırma V1

43.Kural: Eğer Sıcaklık M1 ve Hava Kalitesi O ve Nem M1 ise Havalandırma V1



Şekil 4. 10. Sıcaklık Üyelik Değerlerinde Sıcaklık=15 değerinin Hesaplanması

Şekil 4.10'da sıcaklık=15 değerinin sıcaklık üyelik değer grafiğinde C üyelik fonksiyon grafiğindeki karşılığı 0.931, M1 üyelik fonksiyon grafiğindeki karşılığı 0.853 olarak hesaplanmıştır.

[Giriş1]

Adı='Sıcaklık'

Aralıklar=[-55 85]

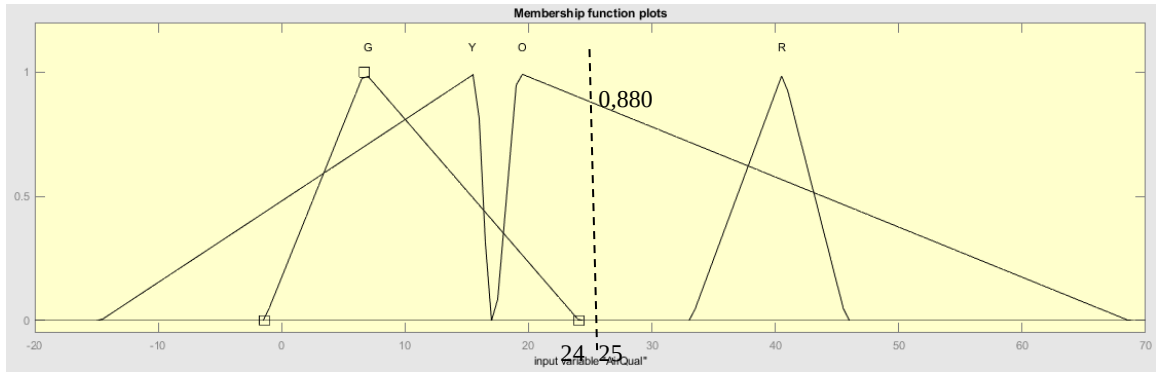
Üyelik Fonksiyon sayısı MFs =4

MF1='VC': 'trapmf', [-35.6521960182855 -0.375299977578472 -0.375299977578472 **13.8963651639088**]

MF2='C': 'trapmf', [-23.317615379823 11.3410493127754 11.3410493127754 64.9978051700677]

MF3='M1': 'trapmf', [-42.9496429545216 24.9499838692207 24.9499838692207 76.1476182467886]

MF4='M2': 'trapmf', [41.1903819463809 42.8234537485193 42.8234537485193 46.3552475614935]



Şekil 4. 11. Hava Kalitesi Üyelik Değerlerinde Hava Kalitesi=25 değerinin Hesaplanması

Şekil 4.11’de hava kalitesi=25 değerinin hava kalitesi üyelik değer grafiğinde O üyelik fonksiyon grafiğindeki karşılığı 0.880 olarak hesaplanmıştır.

[Giriş2]

Adı='Hava Kalitesi'

Aralık=[-20 70]

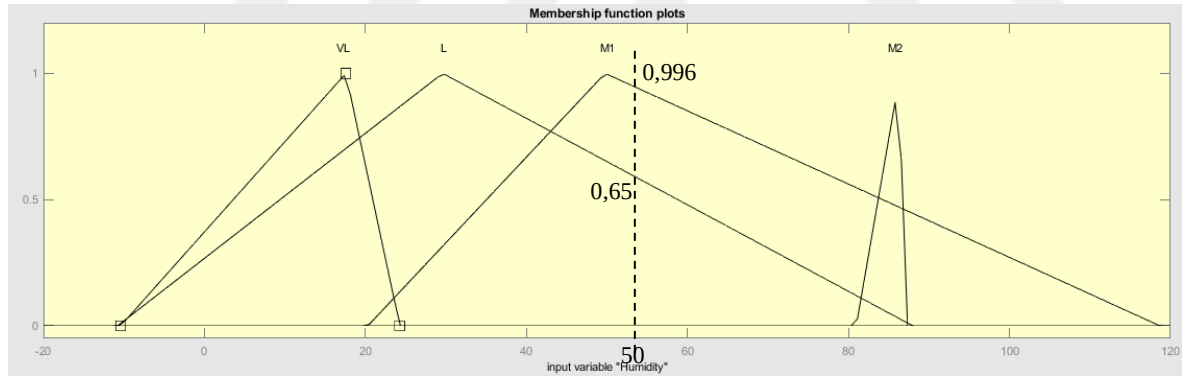
Üyelik Fonksiyon sayısı MFs=4

MF1='G': 'trapmf', [-1.41560852713145 6.702 6.702 **24.0806379595309**]

MF2='Y': 'trapmf', [-14.6868198614884 15.815 15.815 16.815]

MF3='O': 'trapmf', [17.3524185117845 19.0910532106283 19.0910532106283 68.6464315551268]

MF4='R': 'trapmf', [33.1470457202132 40.6155177852259 40.6155177852259 45.7530260916345]



Şekil 4. 12. Nem Üyelik Değerlerinde Nem=50 değerinin Hesaplanması

Şekil 4.12’de nem=50 değerinin nem üyelik değer grafiğinde L üyelik fonksiyon grafiğindeki karşılığı 0.65, M1 üyelik fonksiyon grafiğindeki karşılığı 0.996 olarak hesaplanmıştır.

[Giriş3]

Adı='Nem'

Aralık=[-20 120]

Üyelik Fonksiyon sayısı MFs =4

MF1='VL': 'trapmf', [-10.4134102810534 17.5559252119175 17.5559252119175 24.2622062341113]

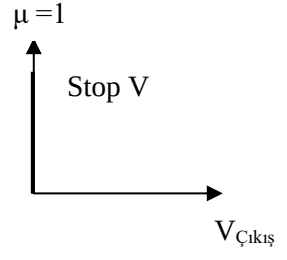
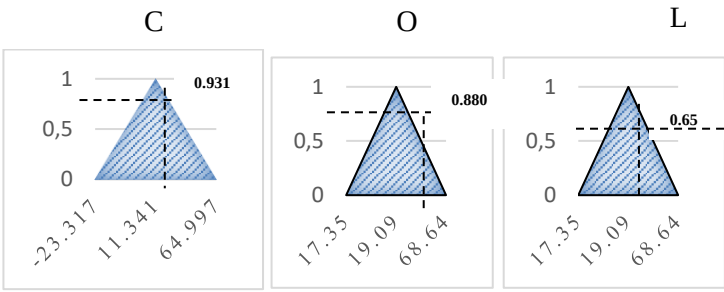
MF2='L': 'trapmf', [-10.8010421251615 29.5842484491394 29.5842484491394 87.9715704395626]

MF3='M1': 'trapmf', [20.2905267129185 49.7629193287141 49.7629193287141 118.669984349128]

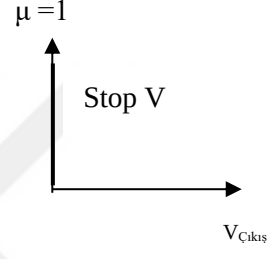
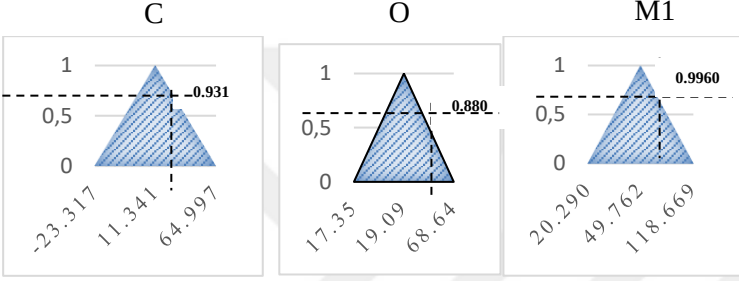
MF4='M2': 'trapmf', [80.9588972970321 86.4054952456234 86.4054952456234 86.8483316013123]

Sıcaklık	Hava Kalitesi	Nem	Çıkış
----------	---------------	-----	-------

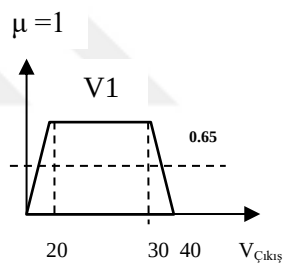
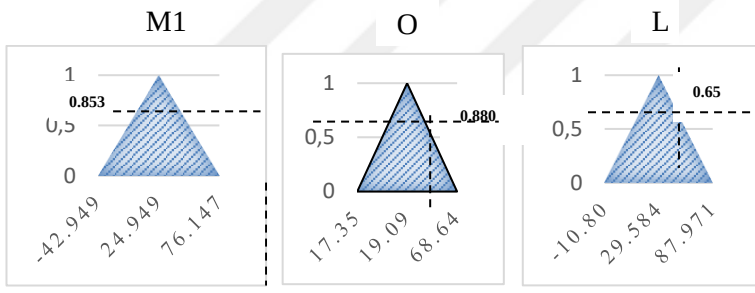
26.Kural



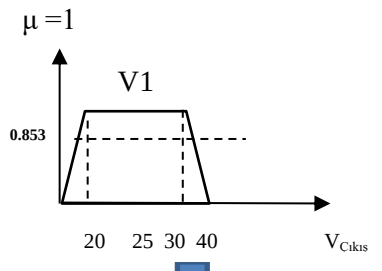
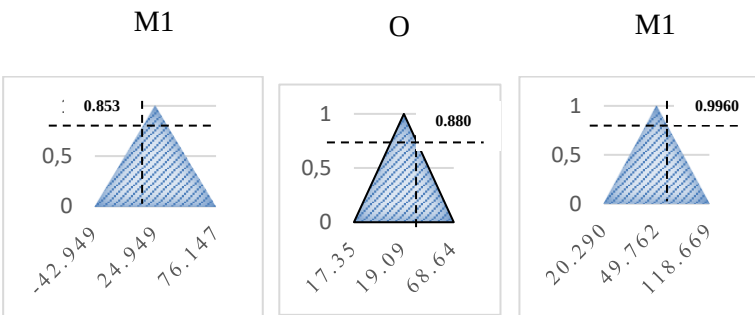
27.Kural



42.Kural

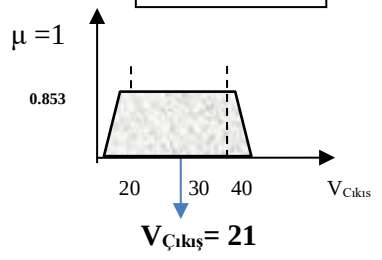


43.Kural



Minimum

Maksimum



[Çıkış1]

Adı='Vent'

Aralık =[0 100]

Üyelik Fonksiyon sayısı MFs =4

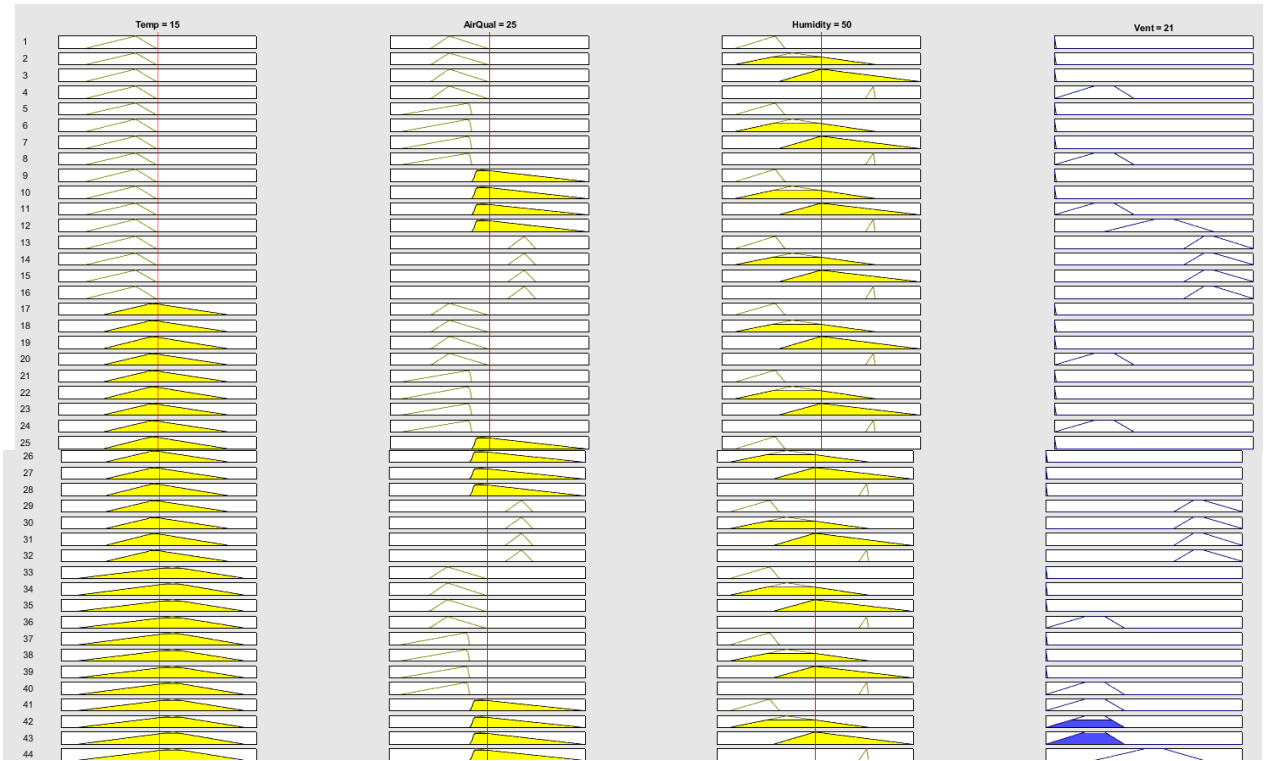
MF1='StopV': 'trapmf',[0 0 0 0]

MF2='V1': 'trapmf',[0.1 20 30 40]

MF3='V2': 'trapmf',[25 50.3 60 80]

MF4='V3': 'trapmf',[65 75 80 100]

Şekil 4.13'te gösterildiği üzere Havalandırma 42. ve 43.kurallar için aktif hale geçmekte ve %21 oranında çalışmaya başlamaktadır.



Şekil 4. 13. Kural Tabanı ile Çıkışın Hesaplanması

4.2. Aydınlatma Tasarımı Uygulama Sonuçları

4.2.1. Aydınlatma Sistemi Optimizasyonu ile ilgili yapılan Deneylerin Sonuçları

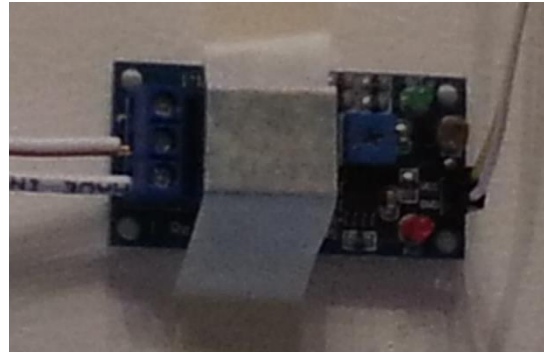
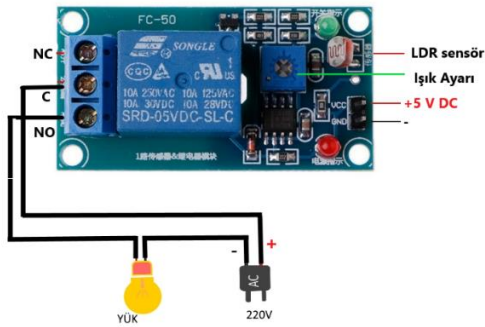
Aydınlatma sisteminin optimizasyonu 2 farklı yöntem kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

İlk yöntemde bir çalışma ortamındaki odanın tavanına 6 adet LDR sensör&röle sistemi monte edilmiş ve LDR Sensör-Röle Modülünde (Songle srd-05vdc-sl-c) üzerinde bulunan ışık şiddeti ayarlama bölümünden her bir bölge için gerekli olan aydınlık değeri manuel olarak belirlenmiştir. Songle srd LDR Modülü üzerinde gerekli işlemler yapılabildiği için 5V. güç değeri adaptörden temin edilmiş, böylece tasarlanan sistemde Arduino ve bulanık mantık sistemi kullanılmasına gerek kalmamıştır. LDR (Light Dependent Resistor) tasarımı aşağıda detaylı olarak açıklanmıştır.

İkinci yöntemde ise ortam aydınlatması Bulanık Mantık sistemi ile kontrol edilmiş ve aydınlatma armatürlerin birbirinden bağımsız olarak istenen parlaklık değerlerinde çalıştırılması sağlanmıştır.

4.2.2. LDR (Light Dependent Resistor) Tasarımı

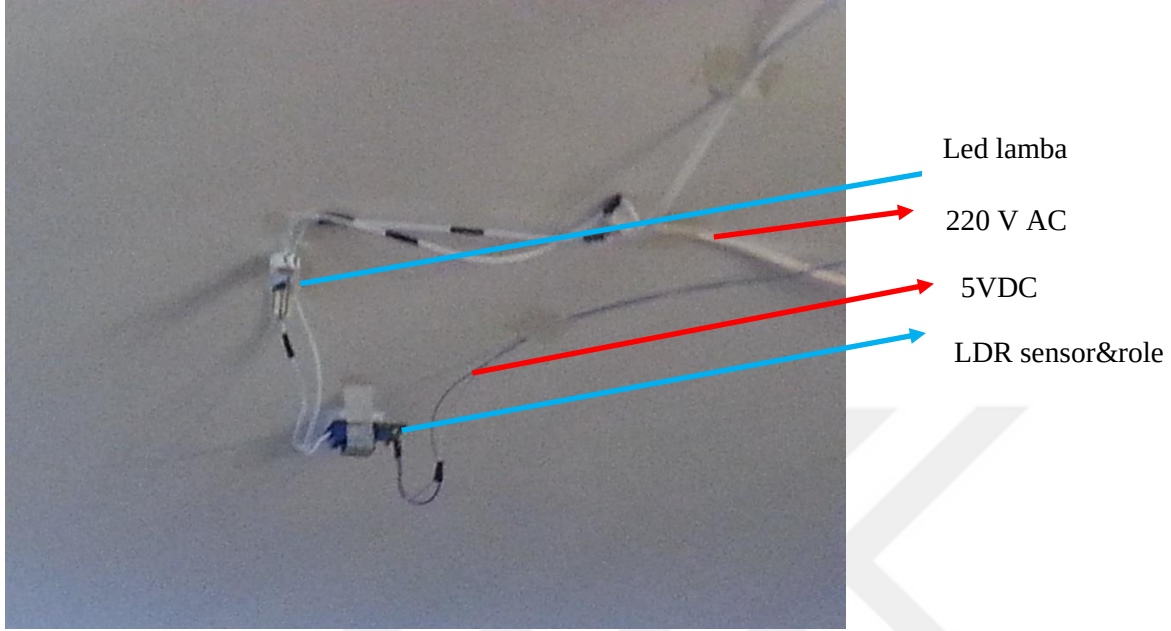
Tezimin ikinci bölümünde ortam ışık şiddetine bağlı olarak otomatik yanan ışık sistemi üzerine çalıştım. Bir çalışma ortamındaki odanın tavanına 6 adet LDR sensör-röle sistemi monte edilerek gün ışığına duyarlı olarak her bir lambanın otomatik olarak gerekli oranda çalıştırılması sağlanmıştır. Buradaki amaç; odanın çeşitli noktalarındaki aydınlatma değerinin standart bir değere sabitlenmesi ile ortam aydınlık değerinin optimize edilmesidir. Aşağıda önerilen sistem sayesinde gün ışığı alan alanlar için daha az ışık sağlanırken, odanın ışık almayan bölümleri için daha fazla ışık sağlanmaktadır.



Şekil 4. 14. Bir grup Ldr sensor-röle ve lamba devresi bağlantıları

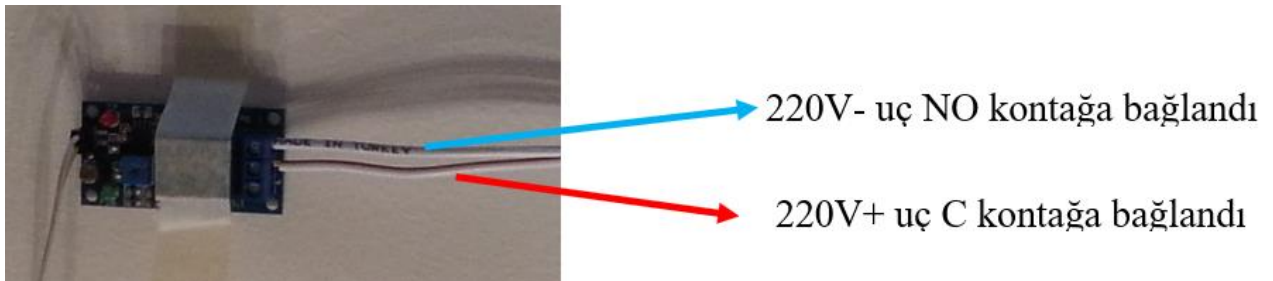
Şekil 4.14'te gösterilen LDR Sensör-Röle Modülünde (Songle srd-05vdc-sl-c) aydınlatma değeri manuel olarak ışık ayarı bölümünden yapılabilmektedir. Bu nedenle sistem karmaşası yaratmamak için Arduino ile kontrol yapılmasına gerek duyulmamıştır ve devreye 5V. besleme gerilimi Arduino üzerinden değil, sadece 5VDC Adaptör ile şebeke gerilimi 5V. DC'ye düşürülerek sensör

beslemeleri yapılmıştır. Bu hali ile sistemin bilgisayardan ve Arduino mikroişlemci aygıtından bağımsız çalışması sağlanmıştır. Mesafe nedeniyle gerilim düşümü olmaması amacı ile gerilim 6 bölgeye board üzerinden paralel olarak dağıtılmıştır.



Şekil 4.15. Bir grup LDR sensör, röle ve lamba gösterimi

Şekil 4.15 ve Şekil 4.16’da şebeke hattı + ucu röle C ucuna bağlanmıştır. Şebekenin – ucu ise yük(lamba) üzerinden rölenin NO (Normalde Açık) kontağına bağlanmıştır. LDR üzerine belirlenen parlaklık değerinden daha fazla ışık geldiğinde LM393 ikili diferansiyel karşılaştırıcı devre elemanı çıkışa 0 değerini göndererek Normalde Açık Kontakının lambayı çalıştırmaması sağlanır. Aksi durumda LDR üzerine istenen parlaklık değerinden daha az ışık geldiğinde LM393 ikili diferansiyel karşılaştırıcı devre elemanı çıkışa 1 değerini göndererek Normalde Açık Kontakını enerjilendirir ve lambayı çalıştırması sağlanır.

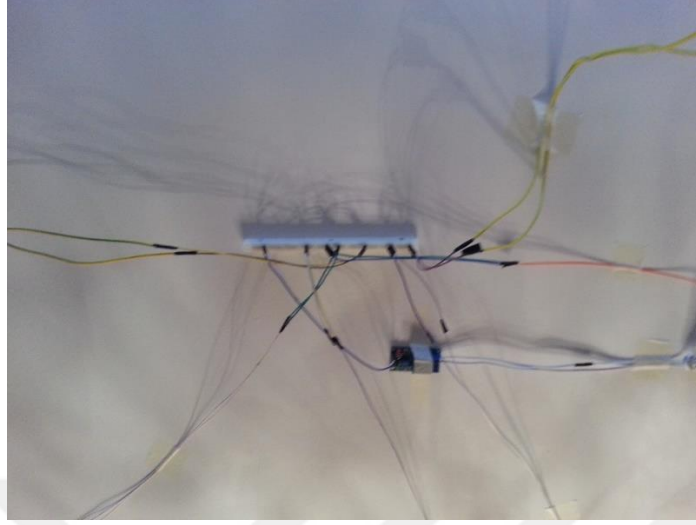


Şekil 4.16. Sensör, röle bağlantı gösterimi

Şekil 4.16’da gösterildiği üzere şebeke hattından + dan gelen akım sensör-röle- lamba üzerinden şebekenin – ucuna tekrar döner. Parlaklık değeri manuel ayarlanan aydınlatma armatürleri, NO kontağına bağlandığı için normalde iletimde olmayan, çalışmayan lambalar bulunduğu ortamın

karanlık oranında çalışmaya başlayacaktır.

Şekil 4.17’de 5 V. DC gerilimin board üzerinden dağıtılması gösterilmektedir.



Şekil 4. 17. 5VDC'nin board üzerinden paralel dağıtılması

LDR, VCC'ye (5V) bağlandığında, üzerindeki giriş ışık yoğunluğuyla doğru orantılı olarak değişen büyüklükte bir analog sinyal üretmektedir. Yani, ışığın yoğunluğu ne kadar büyükse, LDR'den gelen gelen sinyalin voltajı o kadar büyük olacaktır. LDR bir analog voltaj verdiğinden, Arduino üzerindeki analog giriş pinine (A0 veya A1) bağlanır. Dahili ADC'si (analogdan dijitale dönüştürücü) ile Arduino, daha sonra analog voltajı (0-5V'den) (0-1023) aralığında bir dijital değere dönüştürür. İç ortamda bulunan ışık yeterli olduğunda, LDR'den Arduino aracılığıyla okunan dönüştürülmüş dijital değerler 0-1023 aralığında doğru orantılı olacaktır.

4.2.3. AC Işık Parlaklık Ayarlayıcı Dimmer Modül

Önerilen çalışmada ortam ışığı ile ters orantılı olarak lamba gücünün artırılması olduğundan Aydınlatma Değerinin Hesaplanması için çıkış değeri olan OutVal değerinin Arduino Kodu aşağıdaki gibi belirlenmiştir:

1-1024 değeri~%100-%1 aralığına aşağıdaki kod ile eşitlenir.(1 den başlanmasının nedeni arduinonun 0 değeri okuyamamasıdır.)

```
{outVal1 = map(analogRead(0), 1, 1024, 100, 0); // analogRead(analog_pin), min_analog,
max_analog, 100%, 0%);
  dimmer1.setPower(outVal1); // name.setPower(0%-100%)
}
{outVal2 = map(analogRead(1), 1, 1024, 100, 0); // analogRead(analog_pin), min_analog,
max_analog, 100%, 0%);
  dimmer2.setPower(outVal2); // name.setPower(0%-100%)
}
```

4.2.4. LDR (Light Dependent Resistor) Tasarımı uygulama sonuçları

İlk yöntemde bir çalışma ortamındaki odanın tavanına 6 adet ldr sensör-röle sistemi monte edilmiş ve LDR Sensör-Röle Modülünün (Songle srd-05vdc-sl-c) üzerinde bulunan ışık şiddeti ayarlama bölümünden her bir bölge için gerekli olan aydınlık değeri manuel olarak belirlenmiştir. Songle srd LDR Modülü üzerinde tüm işlemler yapılabildiği için adaptör üzerinden 5V. board üzerinden dağıtılmış ve Arduino kullanılmasına gerek kalmamıştır.



Şekil 4. 18. Perde açık iken led lamba yanmamaktadır.

Şekil 4.18’de perde açık ve iç ortamda gün ışığı yeterli iken led lambalar çalışmamaktadır.



Şekil 4. 19. Perde kapalı iken aynı noktadaki led lamba yanmaktadır.

Şekil 4.19’da perde kapalı ve iç ortamda gün ışığı azalan bölgede led lamba çalışmaktadır.



Şekil 4. 20. Salonun ışığı yetersiz olduğunda ledler çalışmaktadır.

Şekil 4.20’de perde kapalı ve iç ortamda gün ışığı tamamen azaldığında odadaki tüm led lambalar çalışmaktadır.



Şekil 4. 21. Salon ışığının yanmasına rağmen odanın penceresinden gelen ışığın açısına göre halen karanlıkta kalan noktada led lamba yanmaktadır.

Şekil 4.21’de perde kapalı iken ve iç ortamda gün ışığı yetersiz olduğunda tüm ledler yanmaktadır ancak odanın ışığı açıldığında köşedeki led lamba hariç odadaki tüm led lambalar kapanmaktadır.

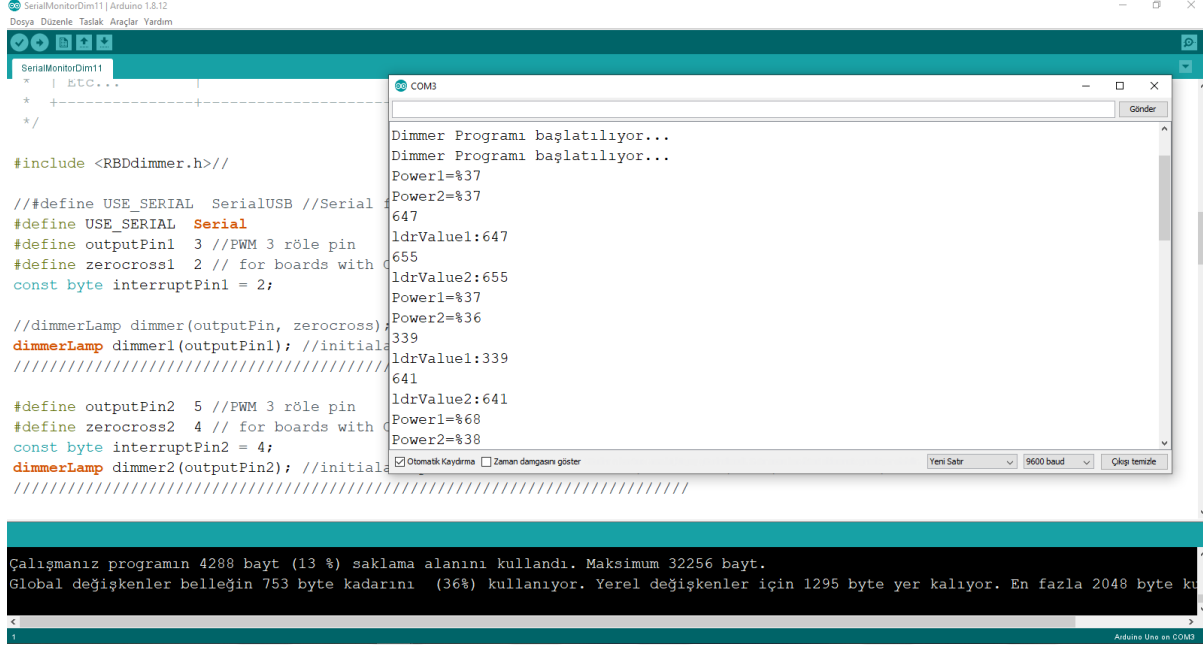
Bütün led lambalar birbirinden bağımsız olarak yanıp, sönebilmektedir. LDR sensör ortamdaki (doğal+yapay) net ışığı ölçebildiği ve röleyi tetikleyebildiği için bu sistemde bulanık mantık gibi ayrıca bir karar verici sistemin dahil edilmesine gerek duyulmamıştır.

Uygulama sonucunda;

- Odanın içerisinde pencereden uzak karanlık olan noktalarda ışık yanması sağlanmıştır.
- Pencereden gün ışığı geldiğinde pencereye yakın lambalar sönmüştür.
- Perde çekilip karanlık ortam yaratılınca lambalar çalışmaya başlamıştır.

4.2.5. AC Işık Parlaklık Ayarlayıcı Dimmer Tasarımı Uygulama Sonuçları

Aydınlatma çalışmamızın ikinci bölümünde iç ortam aydınlatması dimmer röleler ile kontrol edilerek aydınlatma seviyeleri kontrol edilmiştir. Serial port tan okunan değerler incelendiğinde Ldr değeri ortam ışık miktarı arttığında artmaktadır. Lamba güç değeri ters orantılı olarak değiştirilmektedir.



Şekil 4. 22. Ortam ışık miktarı arttığında Ldr değeri artmakta, led gücü azalmaktadır.

Şekil 4.22’de gösterildiği üzere Ldr değeri ile ters orantılı olarak led lamba güç değeri artacak şekilde sistem tasarımı gerçekleştirilmiş olup, tasarıma ait kod ekran görüntüsü Şekil 4.23’te gösterilmektedir.



Şekil 4. 23. Ldr ve lamba güç değerlerinin Arduino üzerinden gösterim kodları



a)



b)



c)

Şekil 4. 24. Birbirinden bağımsız olarak ışık şiddetinin değiştirilmesi

Şekil 4.24'te gösterildiği gibi, lambaların aydınlatma değerleri birbirinden bağımsız olarak değiştirilebilmektedir. Bu hali ile sistem, tezgah bazlı aydınlatma gerektiren çalışma ortamları için de kullanılabilir.

5. ÖNERİLER

Giriş üyelik değerlerinin genetik algoritma ile optimizasyonu her çıkış için ayrı ayrı yapılmıştır. Havalandırma ve ısıtıcı çıkışlarına göre ayrı ayrı yapılan optimizasyon sonuçlarına göre RMSE hata oranları sırasıyla %58 ve %55 oranında azalma tespit edilmiştir. İki çıkışlı sistemin tasarımı gerçekleştirilen iki ayrı optimizasyon sonucuna göre elde edilen iki yeni giriş üyelik değerlerinin aritmetik ortalaması ile oluşturulan yeni BMD ile sağlanmaktadır ve bu BMD sisteminin performansı değerlendirildiğinde, RMSE hata değerinin başlangıç değerinden %31 daha az olduğu saptanmıştır.

Giriş üyelik değerlerinin optimizasyonu her bir çıkış için ayrı ayrı yapılabilmiştir, ileri bir çalışma olarak birden fazla çıkış için aynı anda giriş üyelik değerlerinin optimizasyonu ile sistem geliştirilebilir. Havalandırma ve ısıtıcı çıkışlarına ek olarak karbon monoksit seviyesinin bulanık sisteme katılımı ile uyarı sisteminin geliştirilmesine yönelik çalışmalar da yapılabilir.

Literatürde yer alan ergonomik konfor ve güvenlik amaçlı tasarlanan çalışmalar incelendiğinde, çalışmamız Arduino kullanan ve genetik algoritma ile optimize edilmiş Bulanık Kontrol sistemlerinin fiilen kullanıldığı nadir bir çalışma olması nedeniyle çalışmamız önem kazanmaktadır.

Ortam havası iyileştirilmesi amacı ile Arduino ile hazırlanan bu otomasyon çalışmamızda, bulanık mantık giriş üyelik değerlerinin GA ile optimizasyonu sonucunda daha karmaşık durumlara göre sistem cevabının belirlenebilmesi akıllı cihaz yönetimi için yeni bir yaklaşım sunulmuştur.

Daha ileri bir çalışma olarak, farklı kontrol sistemleri uygulanabilir. Bu kontrol sistemlerine örnek olarak yapay zeka sistemleri örnek verilebilir. Ek olarak, parçacık sürü optimizasyonu, karınca kolonisi optimizasyonu gibi optimizasyon algoritmaları bulanık üyelik değerlerini optimize etmek için kullanılabilir.

KAYNAKLAR

- [1] Arduino FIST: MATLAB Fuzzy Inference System to Arduino Conversion,
- [2] Arslan A. ve Kaya M. (2001). *Determination of fuzzy logic membership functions using genetic algorithms*, Elsevier Fuzzy Sets and Systems, 118, 297-306.
- [3] Ataşoğlu A. (2019), <https://ahmetatasoglu98.medium.com/bulan%C4%B1k-mant%C4%B1k-3-bulan%C4%B1k-kurallar-ve-%C3%A7%C4%B1kar%C4%B1m-8f9d411080c> (Erişim Tarihi:02.07.2023)
- [4] Bağış A. ve Özçelik Y. (2007). *Gerçek Kodlu Genetik Algoritma Kullanılarak Sistem Kimliklendirme*. 12. Elektrik, Elektronik, Bilgisayar, Biyomedikal Mühendisliği Ulusal Kongresi, Eskişehir, Türkiye, 14 - 18 Kasım 2007.
- [5] Balcı S. G., Ersöz S., Lüy M., Türker A. K. ve Barışçı N., (2023). ‘*Optimization of Indoor Thermal Comfort Values with Fuzzy Logic and Genetic Algorithm*’. 1 – 13.
[doi= 10.3233/JIFS-223955](https://doi.org/10.3233/JIFS-223955)
- [6] Banzhaf W., Nordin P., Keller R. ve Francone F. (1998). *Genetic Programming: An Introduction on the Automatic Evolution of computer programs and its Applications*.
- [7] Benammar, M.A., Ahmad, S.H.M., Abdaoui, A., Tariq, H., Touati, F., Al-Hitmi, M.; Crescini, D. A. (2020). *Smart Rig for Calibration of Gas Sensor Nodes*. *Sensors*, 20, 2341.
<https://doi.org/10.3390/s20082341>
- [8] Bommel W.V., Beld V.G. (2004). *Lighting for work:visual and biological effects*, *Lighting Research & Technology*. 2004;36(4):255-266. <https://doi.org/10.1191/1365782804li122oa>
- [9] Bushnag A. (2020). *Air Quality and Climate Control Arduino Monitoring System using Fuzzy Logic for Indoor Environments*, 2020 International Conference on Control, Automation and Diagnosis (ICCAD), Paris, France, pp. 1-6.
[doi: 10.1109/ICCAD49821.2020.9260514](https://doi.org/10.1109/ICCAD49821.2020.9260514), 2020.
- [10] Caldo R.B., Seranilla J.T., Castillo D. J., Diocales K. S., Gulle W. D., Briandale L. N., Parreno C. T. (2015). *Design and development of fuzzy logic controlled dimming lighting system using Arduino microcontroller*, International Conference on Humanoid, Nanotechnology, Information Technology, Communication and Control, Environment and Management (HNICEM), pp. 1-6. [doi: 10.1109/HNICEM.2015.7393161](https://doi.org/10.1109/HNICEM.2015.7393161).
- [11] Catalina, T., Ghita, S. A., Popescu, L. L. ve Popescu, R. (2022). *Survey and Measurements of Indoor Environmental Quality in Urban/Rural Schools Located in Romania*.
<https://scite.ai/reports/10.3390/ijerph191610219>.
- [12] Chu B., Kim D. ve Hong D. (2008). *GA-based fuzzy controller design for tunnel ventilation systems*, *Auto in Construction*, 17:130–136. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2007.05.011>.
- [13] Cuerdo Vilches, T., Navas Martín, M. Á. ve Oteiza, I. (2021). *Behavior Patterns, Energy Consumption and Comfort during COVID-19 Lockdown Related to Home Features, Socioeconomic Factors and Energy Poverty in Madrid*. *Sustainability*, 13(11), 5949.
<https://doi.org/10.3390/su13115949>
- [14] <https://www.electroduino.com/lm393-ic-based-automatic-night-light-circuit/> (Erişim Tarihi:12.07.2023)
- [15] Eiben, A.E., & Schoenauer, M. (2002). *Evolutionary Computing*. *Inf. Process. Lett.*, 82, 1-6.

- [16] Erdinç O., Uzunoğlu M., ve Vural B. (2009). *Modeling and Analysis of an FC/UC Hybrid Vehicular Power System Using a Wavelet-Fuzzy Logic Based Load Sharing and Control Algorithm*, *International journal of hydrogen energy*, Pergamon 2009/6/1, 34-12- 5223-5233.
- [17] Faez, E., Zakerian, S. A., Azam, K., Hancock, K., ve Rosecrance, J. (2021). *An Assessment of Ergonomics Climate and Its Association with Self-Reported Pain*, *Organizational Performance and Employee Well-Being*. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(5), 2610. <https://doi.org/10.3390/ijerph18052610>
- [18] Fernandez M.Z., Malabanan R.Y.L.A., Pizon M. J. M., Quiatchon J. J. A., Serrano J. M., Visaya R. L. G. ve Caldo R. B. (2015), *Design And Development Of Fuzzy Logic Algorithm With Varying Setpoints For Fan Speed Control System Using Arduino Microcontroller*, *LPU-Laguna Journal of Engineering and Computer Studies*, Vol. 3 No.1.
- [19] Fogel, L.J., Owens, A.J. ve Walsh, M.J. (1966), *Intelligent decision making through a simulation of evolution*. *Syst. Res.*, 11: 253-272. <https://doi.org/10.1002/bs.3830110403>
- [20] Fogel, D. B. (1995). *Evolutionary Computation: Toward a new philosophy of machine intelligence*. IEEE, 1080.
- [21] Fragiaco, M., & Mattei, S. (2021). *Facial Expression-Based Experimental Analysis of Human Reactions and Psychological Comfort on Glass Structures in Buildings*. <https://scite.ai/reports/10.3390/buildings11050204>
- [22] Fuzzy Logic Based Smart Home Automation and Forecasting Electric Energy Consumption. https://www.researchgate.net/publication/355571115_Fuzzy_Logic_Based_Smart_Home_Automation_and_Forecasting_Electric_Energy_Consumption (erişim: 18.06.2023).
- [23] Herman N. S., Panessai I.Y. ve Shamsuddin S. H. M. (2009). *Genetic Algorithms and Designing Membership Function In Fuzzy Logic Controllers*, [doi: 10.1109/NABIC.2009.5393629](https://doi.org/10.1109/NABIC.2009.5393629).
- [24] Holland J. H. (1975). *Adaptation in Natural and Artificial Systems*, Ann Arbor, [MIT: University of Michigan](https://www.mit.edu/~holland/).
- [25] Homaifar A. ve McCormick E., (1995). *Simultaneous Design of Membership Functions and Rule Sets for Fuzzy Controllers Using Genetic Algorithms*, *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 3,(2), 129. [doi =10.1109/91.388168](https://doi.org/10.1109/91.388168)
- [26] Hu X. B., Paolo E. D. ve Wu S. F. (2007). *Comprehensive Fuzz-Rule-Based Self-Adaptive Genetic Algorithm*, CEC2007, Singapore. [doi= 10.1108/17563780810857149](https://doi.org/10.1108/17563780810857149)
- [27] Ite, A. E., Ogunkunle, C. O., Obadimu, C. O., Asuaiko, E. R., & Ibok, U. J.. (2017, August 26). *Particulate Matter and Staff Exposure in an Air-Conditioned Office in Akwa Ibom State University – Nigeria*. *Journal of Atmospheric Pollution*, 5(1), 24-32. <https://doi.org/10.12691/jap-5-1-4>rgamon 2009/6/1, 34-12- 5223-5233.
- [28] Junior S., A., Junior M., Dias, A. H., Mathias, I. M. ve Conti G. (2016). *Embedded system in Arduino platform with Fuzzy control to support the grain aeration decision*. *Ciência Rural*, 46(11), 1917–1923. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20141808>
- [29] Kıyak E., ve Kahvecioğlu A. (2003). *Bulanık mantık ve uçuş kontrol problemine uygulanması*, *Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi*, 1(2), 63-72.
- [30] Koza, J.R. *Genetic programming as a means for programming computers by natural selection*. *Stat Comput* 4, 87–112 (1994). <https://doi.org/10.1007/BF00175355>

- [31] Kvnadig, http://www.makeproto.com/projects/fuzzy/matlab_arduino_FIST/index.php, 2012.
- [32] Kulaksız S., 2020, Arduino Dersleri, https://urlaanadolulisesi.meb.k12.tr/meb_iys_dosyalar/35/23/972897/dosyalar/2022_11/07125008_ARDUNIO-DERSLERI-1-10.pdf?CHK=ca11d063a7ab51ed1c87aa2a95f28b77 .
- [33] Kumar K., Sen N., Azid S. ve Mehta U. (2016). *A Fuzzy Decision in Smart Fire and Home Security System*, 2016 IEEE International Symposium on Robotics and Intelligent Sensors, IRIS 2016, 17-20, Tokyo, Japan. [doi=https://doi.org/10.1016/j.procs.2017.01.207](https://doi.org/10.1016/j.procs.2017.01.207)
- [34] Labellapansa A., Syafitri N. ve Kadir E. A. (2019). *Prototype for early detection of fire hazards using fuzzy logic approach and Arduino microcontroller*, International Journal of Advanced Computer Research. 9 (44), 276-282. [doi= 10.19101/IJACR.PID47](https://doi.org/10.19101/IJACR.PID47)
- [35] Li, X., Lou, J., Yuan, Z., Shi, A., Wang, N., Zhou, L., & Wu, Y. (2022). *The Effect Of Indoor Daylight Levels On Hospital Costs and Length Of Stay Of Patients Admitted To General Surgery*. *Front. Public Health*, (9). <https://doi.org/10.3389/fpubh.2021.678941>
- [36] Manav B. ve Yener C., (2017). *Effects of Different Lighting Arrangements on Space Perception*, Architectural Science Review Volume 42. 43-47. [doi= 10.1080/00038628.1999.9696847](https://doi.org/10.1080/00038628.1999.9696847)
- [37] <https://www.mathworks.com/help/gads/ga.html>
- [38] Morim A., Fortes E.S., Reis P. ve Cosenza C. A. (2017). *Think Fuzzy System : Developing New Pricing Strategy Methods for Consumer Goods Using Fuzzy Logic*. Article in International Journal of Fuzzy Logic Systems. [Doi=10.5121/ijfls.2017.7101](https://doi.org/10.5121/ijfls.2017.7101)
- [39] Obrecht, T. P., Kunič, R., Jordan, S., & Dovjak, M.. (2019). *Comparison of Health and Well-Being Aspects in Building Certification Schemes*. *Sustainability*, 11(9), 2616. <https://doi.org/10.3390/su11092616>
- [40] Piver, W. T.. (1991). *Global atmospheric changes.*, <https://scite.ai/reports/10.1289/ehp.9196131>
- [41] Puteh M., Ahmad C.N.C ve Noh, N.M. (2015). *The Classroom Physical Environment and Its Relation to Teaching and Learning Comfort Level*. International Journal of Social Science and Humanity, Vol. 5, No. 3, 2015.
- [42] Rechenberg, I. (1973) *Evolution Strategy: Optimization of Technical Systems According to the Principles of Biological Evolution*. Frommann-Holzboog Verlag, Stuttgart.
- [43] Salam R. A., Munir M. M., Warsahemas T., Saputra C., Latief H. ve Khairurrijal K. (2019). *A simple solar simulator with highly stable controlled irradiance for solar panel characterization*. *Measurement and Control*, Vol. 52(3-4) 159–168. <https://doi.org/10.1177/002029401982732>
- [44] Schwefel, Hans-Paul. (1995). *Evolution and Optimum Seeking*. Wiley ISBN: 978-0-471-57148-3.
- [45] Toksoy M., Sofuoğlu S. S. ve Atmaca İ. (2015). *Okullarda İç Hava Kalitesi Eğitimi: Pilot Çalışma İzmir*. Tesisat Mühendisliği - Vol 148.
- [46] Twumasi-Ankrah, S., Owusu, M., Appiah, S. K., Pels, W. A., & Arthur, D.. (2021, February 28). *Forecasting COVID-19 Confirmed Cases in Ghana: A Model Selection Approach*. <https://scite.ai/reports/10.22178/pos.67-2>
- [47] Uskon Akışkan Kontrol Sistemleri, <http://blog.us-kon.com.tr/normalde-acik-no-ve-normalde-kapali-nc-kontaklar/> (Erişim tarihi:11.07.2023)

- [48] Üstün S. V. ve Demirtaş M. (2008). *Optimal tuning of PI coefficients by using fuzzy-genetic for V/f controlled induction motor*. Expert Systems with Appl., 34:2714–2720, 2008, M. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2007.05.029>
- [49] Vugar, (2018). *Genetic optimization of a Mamdani-Type fuzzy system*, <https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/67715-genetic-optimization-of-a-mamdani-type-fuzzy-system> (Erişim tarihi:11.07.2023)
- [50] Yaman F., ve Yılmaz A. E. (2009). Genetik Algoritmada Tek ve Çok Noktalı Çaprazlama Tekniklerinin Doğrusal Anten Dizisi Sentez Probleminde İncelenmesi, Elektrik Mühendisleri Odası Dergisi.
- [51] Yılmaz M. ve Arslan E. (2005). *Bulanık Mantığın Jeodezik Problemlerin Çözümünde Kullanılması*, Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, Mühendislik Ölçmeleri STB Komisyonu, 2. Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu, 23-25 Kasım 2005, İTÜ – İstanbul.
- [52] Yılmaz Ş., (2016). Arduino Temel Bilgiler, https://viafl.meb.k12.tr/meb_iys_dosyalar/34/14/962584/dosyalar/2019_03/27113538_Arduino_Temel_Bilgiler.pdf (Erişim tarihi:11.07.2023)
- [53] Yuan Y. ve Zhuang H., (1996). *A genetic algorithm for generating fuzzy classification rules*, Fuzzy Sets and Systems, 84, 1-19.
- [54] Zhang H.X., Wang F. ve Zhang B. (2009). *Genetic Optimization Of Fuzzy Membership Functions*, 2009 International Conference on Wavelet Analysis and Pattern Recognition, Baoding,

EKLER

Ek-1 Çaprazlama ve Mutasyon Sözde Kodları

Tek noktalı çaprazlama

Olası bir çözüm olan gen dizisinde herhangi bir kesim noktasından (cutpoint) her iki ebeveyn parçasının takas edilmesi yoluyla çocuklar elde edilmektedir. Tek noktalı çaprazlama için uygulanan sözde kod aşağıda belirtilmiştir.

```
function[kiz, erkek]=singlepointcrossover(anne, baba)
n=numel(anne);
cutpoint=randi(1 n-1);
kiz=[anne (1:cutpoint) baba (cutpoint+1:end)]
erkek=[baba (1:cutpoint) anne (cutpoint+1:end)]
```

İki noktalı çaprazlama

Olası bir çözüm olan gen dizisinde herhangi iki kesim noktasından(cutpoint) her iki ebeveyn parçasının takas edilmesi yoluyla çocuklar elde edilmektedir. İki noktalı çaprazlama için uygulanan sözde kod aşağıda belirtilmiştir.

```
function [kiz erkek]=doublepointcrossover(anne, baba)
n=numel(anne);
cutpoint=randi([1 n-1], 1,2);
c1=min(cutpoint);
c2=max(cutpoint)
kiz=[anne(1:c1) baba(c1+1:c2) anne(c2+1:end)];
erkek=[baba(1:c1) anne(c1+1:c2) baba(c2+1:end)];
```

Kes ve Ekle Çaprazlama

Olası bir çözüm olan gen dizisinin farklı kesim noktalarından(cutpoint) her iki ebeveyn parçasının takas edilmesi yoluyla çocuklar elde edilmektedir.

Binary gösterimde Kes ve Ekle Çaprazlama için sözde kod aşağıda belirtilmiştir.

```
function [kiz erkek]=uniformcrossover(anne, baba)
n=numel(anne);
alpha=0.8; veya alpha=randi([0 1]), size(anne));
kiz=alpha.*anne+(1-alpha).*baba;
erkek=alpha.*baba+(1-alpha).*anne;
```

Gerçek sayılarda Kes ve Ekle Çaprazlama için sözde kod aşağıda belirtilmiştir.

```
function [kiz erkek]=crossover(anne, baba)
n=numel(anne);
alpha=unifrnd (0 1), size(anne));
kiz=alpha.*anne+(1-alpha).*baba;
erkek=alpha.*baba+(1-alpha).*anne;
```

Binary kod için Mutasyon sözde kodu:

```
function y=mutation(x)
n=numel(x);
j=randi([1 n]);
y=x;
y(j)=1-x(j);    veya
```

Binary kod için uniformcrossover Mutasyon sözde kodu:

```
function y=mutation(x)
n=numel(x);
mu=0.5;
y=ceil(n*mu);
j=randi([1 n], 1,y);
y=x;
y(j)=1-x(j);
```

Gerçek kod için Mutasyon sözde kodu:

```
function y=mutate(x, varmax, varmin)
n=numel(x);
mu=0.05;
y=ceil(n*mu);
j=randsample(n,y);
sigma=0.1*(varmax-varmin);
y=x;
y(j)=x(j)+sigma*randn(size(j));
y=max(y, varmin);
y=min(y,varmax);
j=randi([1 n]);
y=x;
y(j)=1-x(j);
```

Ek-2 Genetik Optimizasyon Matlab Kodu

```
boundlength = 0;
for i=1:length(fuzinfsys.input)
    for j=1:length(fuzinfsys.input(i).mf)
        boundlength = boundlength+1;
    end
end
boundlength = boundlength*3; % {the number of tuned variables} = {the number of
attributes} * 3

LB = zeros(1,boundlength);
RB = zeros(1,boundlength);

delta_num = 0;
for i=1:length(fuzinfsys.input)
    for j=1:length(fuzinfsys.input(i).mf)
        delta_num = delta_num + 1;
        LB(delta_num) = -(fuzinfsys.input(i).mf(j).params(1)-
fuzinfsys.input(i).range(1))-dist;
        RB(delta_num) = (fuzinfsys.input(i).mf(j).params(2)-
fuzinfsys.input(i).mf(j).params(1))/2;

        delta_num = delta_num + 1;
        LB(delta_num) = -(fuzinfsys.input(i).mf(j).params(2)-
fuzinfsys.input(i).mf(j).params(1))/2;
        RB(delta_num) = (fuzinfsys.input(i).mf(j).params(4)-
fuzinfsys.input(i).mf(j).params(2))/2;

        delta_num = delta_num + 1;
        LB(delta_num) = -(fuzinfsys.input(i).mf(j).params(4)-
fuzinfsys.input(i).mf(j).params(2))/2;
        RB(delta_num) = fuzinfsys.input(i).range(2)-
fuzinfsys.input(i).mf(j).params(4)+dist;
    end
end
disp('-----');
```

Ek-3 Ortalama Karekök Hatası (RMSE) için kullanılan Matlab Kodu:

Ortalama Karekök Hatası(RMSE) için kullanılan Matlab Kodu:

```
data = data(I); estimate = estimate(I);  
r=sqrt(sum((data(:)-estimate(:)).^2)/numel(data));
```

