T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BULANIK KONTROL YÖNTEMİYLE SERA OTOMASYONU

Mehmet Nuri ÖDÜK

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRONİK VE BİLGİSAYAR SİSTEMLERİ
EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

KONYA, 2010

T.C.

SELÇUK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BULANIK KONTROL YÖNTEMİYLE SERA OTOMASYONU

Mehmet Nuri ÖDÜK

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ELEKTRONİK VE BİLGİSAYAR SİSTEMLERİ EĞİTİMİ
ANABİLİM DALI

Bu tez 26 / 01 / 2010 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile kabul edilmiştir.

……...	……..	……
Prof. Dr.	Yrd. Doç. Dr.	Yrd .Doç. Dr.
Novruz ALLAHVERDİ	Mehmet ÇUNKAŞ	Mesut GÜNDÜZ
(Danışman)	(Üye)	(Üye)

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

BULANIK KONTROL YÖNTEMİYLE SERA OTOMASYONU

Mehmet Nuri ÖDÜK

Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektronik ve Bilgisayar Sistemleri Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Novruz ALLAHVERDİ

2010, 119 Sayfa

Jüri: Prof. Dr. Novruz ALLAHVERDİ
Yrd. Doç. Dr. Mehmet ÇUNKAŞ
Yrd. Doç. Dr. Mesut GÜNDÜZ

Bu çalışmanın amacı seraların kontrolünün geleneksel kontrole göre hayli avantajları olan Bulanık Kontrolle nasıl yapıldığının incelenmesi ve uygun bir Bulanık Uzman Sistem tasarımıdır. Bu amaçla Delphi 7.0 programlama dilinde bir arayüz tasarlanmıştır. Bulanık Kontrol sisteminin giriş parametreleri olarak; sıcaklık, hava nemi, ışık şiddeti, toprak nemi, karbondioksit miktarı ve rüzgar hızı ele alınmıştır. Çıkış parametreleri olarak da; ısıtma, soğutma, gölgeleme, sulama, ışıklandırma ve havalandırma değerleri ele alınmıştır. Gerçekleştirilen Bulanık Sistemin doğruluğunu test etmek için aynı giriş ve çıkış değerleri kullanılarak Matlab FIS editör programı ile karşılaştırılmış ve sonuçların Matlab'dan elde edilen

değerlere yakın olduğu görülmüştür. Ayrıca geleneksel kontrol sistemleriyle de karşılaştırılarak gerçekleştirilen sistemin daha avantajlı olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Bulanık Mantık, Bulanık Kontrol, Sera Otomasyonu, Bulanık Uzman Sistemler

ABSTRACT

Master Thesis

GREEN HOUSE AUTOMATION BY FUZZY CONTROL METHOD

Mehmet Nuri ÖDÜK

Selçuk University Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Electronic and Computer Systems Education

Supervisor : Prof.Dr. Novruz ALLAHVERDİ
2010, 119 page

Jury: Prof. Dr. Novruz ALLAHVERDİ
Yrd. Doç. Dr. Mehmet ÇUNKAŞ
Yrd. Doç. Dr. Mesut GÜNDÜZ

The aim of the present study is to examine how to control greenhouses with Fuzzy Control, which is more advantageous than traditional control and to design an appropriate Fuzzy Expert System. For that reason an interface was designed in Delphi 7.0 programming language. Temperature, air humidity, light intensity, soil humidity, the amount of carbon dioxide and wind speed were taken as the input parameters of the Fuzzy Control System. Heating, cooling, shadowing, irrigation, lighting and ventilation values were taken as the output parameters. The same input and output values were applied in Matlab FIS editor program in order to test the reliability of the Designed Fuzzy System, and it was seen that close results to Matlab

values were obtained. The system was compared to the conventional control systems and it was observed that it was more advantageous.

Key Words: Fuzzy Logic, Fuzzy Control, Greenhouse Automation, Fuzzy Expert Systems

ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimim sırasında desteğini esirgemeyip teşvik eden danışmanım Prof. Dr. Novruz ALLAHVERDİ'ye minnettarım. Çalışmalarım sırasında bir uzman olarak bilgi ve deneyiminden faydalandığım Prof. Dr. Mustafa KÜÇÜKÖDÜK'e, Doç. Dr. Mesut UYANER'e, Yrd. Doç. Dr. Necati ATABERK'e, Yrd. Doç. Dr. Nusret ÖZBAY'a, Yrd. Doç. Dr. Mehmet ÇUNKAŞ'a, Yrd. Doç. Dr. Mesut GÜNDÜZ'e, Yrd. Doç. Dr. Celalettin ÖZDEMİR'e, eşim Dr. Sema ÖDÜK'e, kızım Saliha Sude ve oğlum Mehmet Samet'e sonsuz teşekkürler.

İÇİNDEKİLER

ÖZET i
ABSTRACT iii
ÖNSÖZ v
ŞEKİLLER LİSTESİ vii
TABLOLAR LİSTESİ x
SİMGELER VE KISALTMALAR xi
1. GİRİŞ 1
1.1. Çalışmanın Amacı ve Önemi 2
1.2. Tezin Organizasyonu 3
1.3. Kaynak Araştırması 4
2. BULANIK KONTROL VE UYGULAMALARI 10
2.1. Bulanıklaştırma 12
2.2. Bulanık Kural Tabanı ve Veritabanı 12
2.3. Bulanık Çıkarım Motoru Mekanizması 13
2.4. Durulaştırma 14
2.4.1. Maksimum metodu 15
2.4.1.1. Maksimum ortası metodu 16
2.4.1.2. Sol kenar noktası metodu 16
2.4.1.3. Sağ kenar noktası metodu 17
2.4.2. Ağırlık merkezi metodu 18
2.5. Bulanık Kontrol Uygulamaları 19
2.6. Uzman Sistemler 21
2.7. Bulanık Uzman Sistemler 22
2.8. Geleneksel Kontrol Sistemi 23
2.9. Sera Otomasyonu Sistemlerinde Geleneksel Kontrol Yaklaşımı 24
3. SERADA BULANIK KONTROL UYGULAMALARI 26
3.1. Bulanık Kontrolör Tasarımı 26
3.2. Centroid Yönteminde Ağırlık Merkezinin Hesaplanması 62
3.3. Tasarlanan Ara Yüzün Tanıtılması 72
3.4. Bulanık Kontrol Sera Otomasyonu İçin Uygulama Sonuçları 76
4. ÖRNEK UYGULAMALAR 86
4.1. Örnek Uygulama 1 86
4.2. Örnek Uygulama 2 91
4.3. Örnek Uygulama 3 95
4.4. Örnek Uygulama 4 97
4.5. Örnek Uygulama 5 101
4.6. Örnek Uygulama 6 106
4.7. Sera Kontrolünde Bulanık Uzman Sistemi Yönteminin Ekonomikliği 109
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 113
KAYNAKLAR 116
EKLER 118

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1 Bulanık Kontrolün Blok Şeması.....11
Şekil 2.2 Bulanıklaştırma İşlemi.....12
Şekil 2.3 EĞER – O HALDE Kavramı.....13
Şekil 2.4 Bulanık Kural Tabanlı Çıkarım Sistem Yapısı.....14
Şekil 2.5 Çıkarım İşleminin Şematik Gösterimi.....15
Şekil 2.6 Maksimum Ortası Çıkartım Metodunun Gösterimi.....16
Şekil 2.7 Maksimum Sol Kenar Noktası Metodunun Gösterimi.....17
Şekil 2.8 Maksimum Sağ Kenar Noktası Metodunun Gösterimi.....17
Şekil 2.9 Ağırlık Merkezi Metodunun Gösterimi.....18
Şekil 2.10 Geleneksel Geri Beslemeli Kontrol Çevrimi.....24
Şekil 2.11 Sera Otomasyonunda Geleneksel Kontrol Çevrimi.....25
Şekil 3.1 Bulanık Kontrol Yöntemi İle Sera Otomasyonu.....27
Şekil 3.2 Tasarlanan Bulanık Uzman Sistem Yapısı.....28
Şekil 3.3 Serada Sıcaklık Değeri İçin Sözel Değişkenlerinin Üyelik Fonksiyonları.....31
Şekil 3.4 Serada Hava Nemi Değeri İçin Sözel Değişkenlerinin Üyelik Fonksiyonları.....33
Şekil 3.5 Serada Işık Şiddeti Değeri İçin Sözel Değişkenlerinin Üyelik Fonksiyonları.....34
Şekil 3.6 Serada Toprak Nemi Değeri İçin Sözel Değişkenlerinin Üyelik Fonksiyonları.....36
Şekil 3.7 Serada Karbondioksit Miktarı Değeri İçin Sözel Değişkenlerinin Üyelik Fonksiyonları.....37
Şekil 3.8 Serada Rüzgar Hızı Değeri İçin Sözel Değişkenlerinin Üyelik Fonksiyonları.....39
Şekil 3.9 Serada Isıtma Çıkış Değeri İçin Sözel Değişkenlerinin Üyelik Fonksiyonları.....40
Şekil 3.10 Serada Soğutma Çıkış Değeri İçin Sözel Değişkenlerinin Üyelik Fonksiyonları.....42
Şekil 3.11 Serada Gölgeleme Çıkış Değeri İçin Sözel Değişkenlerinin Üyelik Fonksiyonları.....44
Şekil 3.12 Serada Sulama Çıkış Değeri İçin Sözel Değişkenlerinin Üyelik Fonksiyonları.....45
Şekil 3.13 Serada Işıklandırma Çıkış Değeri İçin Sözel Değişkenlerinin Üyelik Fonksiyonları.....47
Şekil 3.14 Serada Havalandırma Çıkış Değeri İçin Sözel Değişkenlerinin Üyelik Fonksiyonları.....49
Şekil 3.15 Isıtma Değeri Çok Düşük Ağırlık Merkezinin Bulunması.....62
Şekil 3.16 Isıtma Değeri Düşük Ağırlık Merkezinin Bulunması.....63
Şekil 3.17 Isıtma Değeri Orta Ağırlık Merkezinin Bulunması.....63
Şekil 3.18 Isıtma Değeri Yüksek Ağırlık Merkezinin Bulunması.....63
Şekil 3.19 Isıtma Değeri Çok Yüksek Ağırlık Merkezinin Bulunması.....64
Şekil 3.20 Isıtma Değeri Çok Düşük - Düşük a=>b b=<0.5 Durumunda Ağırlık Merkezinin Bulunması.....64

Şekil 3.21 Isıtma Değeri Çok Düşük - Düşük a=>0.5 b=>0.5 Durumunda Ağırlık Merkezinin Bulunması.....65
Şekil 3.22 Isıtma Değeri Çok Düşük - Düşük a=<0.5 b>=a Durumunda Ağırlık Merkezinin Bulunması.....66
Şekil 3.23 Isıtma Değeri Düşük - Orta a>= b b< = 0.4 Durumunda Ağırlık Merkezinin Bulunması.....66
Şekil 3.24 Isıtma Değeri Düşük - Orta a>= 0.4 b> = 0.4 Durumunda Ağırlık Merkezinin Bulunması.....67
Şekil 3.25 Isıtma Değeri Düşük - Orta a<= 0.4 b> = a Durumunda Ağırlık Merkezinin Bulunması.....68
Şekil 3.26 Isıtma Değeri Orta - Yüksek a >= b b< = 0.286 Durumunda Ağırlık Merkezinin Bulunması.....68
Şekil 3.27 Isıtma Değeri Orta - Yüksek a >= 0.286 b> = 0.286 Durumunda Ağırlık Merkezinin Bulunması.....69
Şekil 3.28 Isıtma Değeri Orta - Yüksek a <= 0.286 b> = a Durumunda Ağırlık Merkezinin Bulunması.....70
Şekil 3.29 Isıtma Değeri Yüksek – Çok Yüksek a <= 0.33333 b> = a Durumunda Ağırlık Merkezinin Bulunması.....70
Şekil 3.30 Isıtma Değeri Yüksek – Çok Yüksek a >= 0.33333 b> = 0.33333 Durumunda Ağırlık Merkezinin Bulunması. 71
Şekil 3.31 Isıtma Değeri Yüksek – Çok Yüksek b< = 0.33333 a>=b Durumunda Ağırlık Merkezinin Bulunması.....72
Şekil 3.32 Programın Giriş Seçeneğinin Görüntüsü 73
Şekil 3.33 Programın Ana Sayfa Görüntüsü 74
Şekil 3.34 Sıcaklık Giriş Üyelik Değerleri.....75
Şekil 3.35 Isıtma Çıkış Üyelik Değerleri. 75
Şekil 3.36 Uygulanan Kural Tabanı.....76
Şekil 3.37 Sıcaklık ve Hava Neminin Isıtma Çıkış Değerine Etkisinin Matlab Programında Gösterimi.....82
Şekil 3.38 Sıcaklık ve Hava Neminin Soğutma Çıkış Değerine Etkisinin Matlab Programında Gösterimi.....83
Şekil 3.39 Sıcaklık ve Işık şiddetinin Gölgeleme Çıkış Değerine Etkisinin Matlab Programında Gösterimi.....83
Şekil 3.40 Hava Neminin ve Toprak Neminin Sulama Çıkış Değerine Etkisinin Matlab Programında Gösterimi. 84
Şekil 3.41 Işık Şiddetinin Işıklandırma Çıkış Değerine Etkisinin Matlab Programında Gösterimi.....84
Şekil 3.42 Karbondioksit Miktarı ve Rüzgar Hızının Havalandırma Çıkış Değerine Etkisinin Matlab Programında Gösterimi. 85
Şekil 4.1 Sıcaklık 5 ºC Değerinin Grafiksel Gösterimi.....87
Şekil 4.2 Hava Nemi % 21 Değerinin Grafiksel Gösterimi. 88
Şekil 4.3 Isıtma Derecesinin Yüksek ve Çok Yüksek Grafik Gösterimi. 89
Şekil 4.4 Sıcaklık 44 ºC Değerinin Grafiksel Gösterimi.....91
Şekil 4.5 Hava Nemi % 63 Değerinin Grafiksel Gösterimi. 92
Şekil 4.6 Soğutma Derecesinin Yüksek ve Çok Yüksek Grafiksel Gösterimi. 93
Şekil 4.7 Işık Şiddeti 9000 Lux Değerinin Grafiksel Gösterimi.....95
Şekil 4.8 Işıklandırma Derecesinin Düşük Grafiksel Gösterimi.....96
Şekil 4.9 Sıcaklık 9 ºC Değerinin Grafiksel Gösterimi.....98

Şekil 4.10 Işık şiddetinin 9000 Lux Değerinin Gösterimi.....99
Şekil 4.11 Gölgeleme Derecesinin Düşük Grafiksel Gösterimi. 100
Şekil 4.12 Hava Nemi % 30 Değerinin Grafiksel Gösterimi. 102
Şekil 4.13 Toprak Nemi % 70 Değerinin Grafiksel Gösterimi. 103
Şekil 4.14 Sulama Sisteminin Orta ve Yüksek Grafiksel Gösterimi. 104
Şekil 4.15 Karbondioksit Miktarı 1550 ppm Değerinin Grafiksel Gösterimi. 107
Şekil 4.16 Rüzgar Hızı 0 m/s Değerinin Grafiksel Gösterimi. 108
Şekil 4.17 Havalandırma Derecesinin Düşük Grafiksel Gösterimi. 108

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 2.1 Bulanık Kontrolün Tarihsel Gelişimi. 11
Tablo 2.2 Çıkarım Metotları. 14
Tablo 2.3 Bulanık Kontrolün Endüstriyel Uygulamaları. 19
Tablo 2.4 Bulanık Kontrolün Görsel-İşitsel Aygıt Uygulamaları....20
Tablo 2.5 Bulanık Kontrolün Ev Aletleri Uygulamaları. 20
Tablo 2.6 Bulanık Kontrolün Ulaşım Araçları Uygulamaları. 20
Tablo 2.7 Bulanık Kontrolün Finansal Uygulamaları. 20
Tablo 3.1 Sistem Giriş/Çıkış Değişkenlerinin Bulanık Sözel Değişkenleri. 30
Tablo 3.2 Sistem Giriş/Çıkış Değişkenlerinin Özellikleri. 30
Tablo 3.3 Sıcaklık ve Hava Nemi Giriş Değerlerinin Isıtma Çıkış Değerine Etkisi. 51
Tablo 3.4 Sıcaklık ve Hava Nemi Giriş Değerlerinin Soğutma Çıkış Değerine Etkisi ...53
Tablo 3.5 Sıcaklık ve Işık Şiddeti Giriş Değerlerinin Gölgeleme Çıkış Değerine Etkisi. 55
Tablo 3.6 Hava Nemi ve Toprak Nemi Giriş Değerlerinin Sulama Çıkış Değerine Etkisi 57
Tablo 3.7 Işık Şiddeti Giriş Değişkenin Işıklandırma Çıkış Değerine Etkisi....59
Tablo 3.8 Karbondioksit Miktarı ve Rüzgar Hızı Giriş Değerlerinin Havalandırma Çıkış Değerine Etkisi. 60
Tablo 3.9 Tasarlanan Isıtma BUS ile Matlab Programının Karşılaştırılması. 77
Tablo 3.10 Tasarlanan Soğutma BUS ile Matlab Programının Karşılaştırılması. ...78
Tablo 3.11 Tasarlanan Gölgeleme BUS ile Matlab Programının Karşılaştırılması. 79
Tablo 3.12 Tasarlanan Sulama BUS ile Matlab Programının Karşılaştırılması. 80
Tablo 3.13 Tasarlanan Işıklandırma BUS ile Matlab Programının Karşılaştırılması. 81
Tablo 3.14 Tasarlanan Havalandırma BUS ile Matlab Programının Karşılaştırılması 81
Tablo 4.1 Isıtma BUS ile Geleneksel Kontrol Sisteminin Karşılaştırılması....110
Tablo 4.2 Soğutma BUS ile Geleneksel Kontrol Sisteminin Karşılaştırılması....110
Tablo 4.3 Gölgeleme BUS ile Geleneksel Kontrol Sisteminin Karşılaştırılması 110
Tablo 4.4 Işıklandırma BUS ile Geleneksel Kontrol Sisteminin Karşılaştırılması....111
Tablo 4.5 Sulama BUS ile Geleneksel Kontrol Sisteminin Karşılaştırılması....111
Tablo 4.6 Havalandırma BUS ile Geleneksel Kontrol Sisteminin Karşılaştırılması...111
Tablo 4.7 Tasarlanan BUS ile Geleneksel Kontrol Sisteminin Genel Avantaj Karşılaştırılması....112

SİMGELER VE KISALTMALAR

μ_A	A bulanık kümesinin üyelik fonksiyonu
μ_B	B bulanık kümesinin üyelik fonksiyonu
μ_C	C bulanık kümesinin üyelik fonksiyonu
%	Yüzde
ºC	Santigrat derece
m/s	Mili / Saniye
k/w	Kilo / Watt
μ	Üyelik derecesi
$\mu_{çokdüşük}$	Çok düşük bulanık kümesinin üyelik fonksiyonu
$\mu_{düşük}$	Düşük bulanık kümesinin üyelik fonksiyonu
μ_{orta}	Orta bulanık kümesinin üyelik fonksiyonu
$\mu_{yüksek}$	Yüksek bulanık kümesinin üyelik fonksiyonu
$\mu_{çokyüksek}$	Çok yüksek bulanık kümesinin üyelik fonksiyonu
V	Veya
Λ	Ve
BK	Bulanık Kontrol
BT	Bulanık Teori
BUS	Bulanık Uzman Sistem
Cm	Santimetre
CO_2	Karbondioksit
HVAC	Havalandırma ve Klima
Lt	Litre
LUX	Aydınlık şiddeti birimi
MAX	Maksimum
Micron	Saniyede püskürtülen sıvı miktarı kalınlığı
MİN	Minimum
PPM	Parts per million
Proses	İşlem süreci
US	Uzman Sistem

1. GİRİŞ

Bulanık Mantık günlük yaşantımızda kullandığımız ve davranışlarımızı yorumladığımız yapıya ulaştıran matematiksel bir disiplindir. Bulanık Mantık kavramlarını yaşantımızın bir çok yerinde görmekteyiz. Bu kavramlar yüksek, orta ve düşük değerleridir. Bunun yanında; çok düşük, orta ve çok yüksek ara değerlerini de içerir. Bulanık Mantığın temelini bulanık küme oluşturmaktadır. Bulanık kümeler bulanık sistemlerin en temel elemanlarıdır. Bulanık kümeler ile ilgili ilk açıklama, 1965 yılında ortaya atılmıştır. Berkeley Üniversitesi öğretim üyelerinden aslen Azerbaycanlı Prof. Dr. Lotfi A. Zadeh'in "Information and Control" dergisinde yayımlanan "Fuzzy Sets" (Bulanık Kümeler) makalesiyle ilk kez ortaya atılmıştır.

Klasik küme yaklaşımında elemanlar ya o kümeye aittir (1) ya da değildirler (0). Oysa Bulanık Mantık yaklaşımında ise elemanların o kümeye aitliği 0 ile 1 arasında değişir.

Herhangi bir sıcaklık derecesi klasik kümeye göre ya sıcak olabilir yada sıcak olmayabilir. Bulanık kümeye göre bu sıcaklık ait olduğu kümede belirli bir üyelik derecesine sahiptir. Örneğin; 5 ºC sıcaklık değeri çok düşük kümesine göre 0.5 üyelik derecesi ile, düşük kümesi ise 0.667 üyelik derecesi ile ait olabilir.

Bulanık Mantık; teknolojik cihaz yapım ve işleyişinde, beyaz eşya, asansör, metro, şirket işletimi, araba, tarım, sağlık ve yapay zeka modelleme gibi konular yanında hemen hemen her mühendislik konusu ve teknolojik çalışmalarda kullanılmaktadır.

1966 yılında Bulanık Bell Laboratuarları Dr. Peter Marinos tarafından kurulmuştur. 1972 yılında Mamdani Bulanık Mantık temelli uzman sistemle, bir buhar türbinin hızını ve performansının çok başarılı bir şekilde kontrol edilebileceğini göstermiştir. Bulanık Mantık uygulamaları 1980 yılında Danimarka'da çimento fabrikasında kullanılan fırınların kontrolünde uygulamıştır.

1987 yılında ise Hitachi takımının tasarladığı Japon Sendai metrosu bulanık denetleyicisi ile çalışmaya başlamıştır. Bu mantığın uygulanmasıyla 1987 yılının Ekim ayındaki "Kara Pazartesi" adı verilen büyük ekonomik çöküşü 18 gün önceden haber verebilmiştir (Erkan 1999).

Bulanık kuramının uygulamalarının ürünleri Japonya'da 1990 yılından bu yana tüketicilere sunulmaktadır. Örneğin; bulanık denetimli çamaşır makinesi, bu makine çamaşırın cinsine, miktarına, kirliliğine göre en etkili çamaşır yıkama ve su kullanım programını seçebilmektir. Diğer bir örnek ise, arabalarda yakıt püskürtme ve ateşleme sisteminin denetiminde kullanılmıştır. Ayrıca; elektrik süpürgesi, televizyon ve müzik aygıtlarında Bulanık Mantık denetim kullanılmaktadır.

1993 yılında Sony, The Palm Top sistemini tanımıştır. Burada Bulanık Mantık kullanılarak elle yazılan kanji karakterlerinin makine tarafından tanınması sağlanmıştır. Yani 253 yazılırsa, burada Sony Palmtop S harfinden 5 sayısını ayırt edebilmektedir.

Günümüzde elektronik pazarında, pek çok üretim Bulanık Mantık temeline dayanmaktadır. Bulanık Mantık denetim sistemlerinin pek çoğu tüketiciler için SEA/Japonya'da üretilmektedir. Bulanık Mantığa dayanan pek çok otomotiv ürünleri piyasaya sürülmüştür.

Bu örneklerden de görüldüğü gibi Bulanık Mantığın uygulama alanları oldukça geniştir ve bu uygulamalar ekonomik bir kontrol sağlamaya olanak tanımaktadır.

1.1. Çalışmanın Amacı ve Önemi

Çalışmanın amacı, bir sera kontrol otomasyonunun Bulanık Mantık yöntemiyle gerçekleştirmektir. Bunun için, serada giriş parametrelerine karşı çıkış parametrelerinin bulanık uygun değerlerini bulup daha esnek bir kontrolün sağlanmasının elde edilmesi amaçlanmaktadır. Böyle bir esnek kontrolün bitkilerin yetişmesine daha etkin katkı sağlayacağının gösterilmesi düşünülmüştür.

Dünya nüfusu devamlı artmaktadır. Bunun yanında gıda tüketimi artmaktadır. İnsanlar açlık ile yüz yüze kalmaması için, tarım ürünlerinin üretimini artırılması gerektiği açıktır. Bitkisel üretimin kontrollü olarak gerçekleşen yerler seralardır. Uzman kişilerin görüşleri alınarak seralarda sıcaklık, hava nemi, ışık şiddeti, toprak nemi karbondioksit miktarı ve rüzgar hızı bitkinin büyümesini ve verimini etkiler. Bu

etkiler birbiri ile ilişkilidir. Daha önceki çalışmalarda bu giriş parametrelerinin ele alınmadığı görülmüştür.

Somut olarak bu çalışmada, serada altı adet giriş etkenine (sıcaklık, hava nemi, ışık şiddeti, toprak nemi, karbondioksit miktarı ve rüzgar hızı) karşılık Bulanık Kontrol (BK) yardımıyla altı adet çıkış (ısıtma, soğutma, gölgeleme, sulama, ışıklandırma ve havalandırma) değerini harekete geçirerek enerji ve zaman tasarrufu yapılması ön görülmektedir. Bu sayede istenilen üründen fazla hasat sağlanacağı düşünülmektedir.

Bunun için tasarlanacak olan Bulanık Uzman Sistem (BUS) çeşitli açılardan incelenecek ve sistemin çalışma şekli bir görsel bilgisayar programı ile simüle edilecektir.

1.2. Tezin Organizasyonu

Bu tez çalışması toplam altı bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde tezin konusu tanıtılmış ve amacı hakkında bilgi verilmiştir. İkinci bölümde giriş verilerin bulanıklaştırılması, kural tabanı, veri tabanı, çıkarım mekanizması, durulaştırma, BK uygulamaları ve BUS konuları anlatılmaktadır. Üçüncü bölümde BK yöntemiyle sera otomasyonu ele alınmıştır. Uzman yardımıyla serada domates bitkisi için, giriş ve çıkış parametreleri belirlenmiştir. Giriş ve çıkış parametrelerin birimlerin belirlenmesi, hangi giriş parametrelerin hangi çıkış parametrelerini etkilendiği, sözel değişkenlerin belirlenmesi, dilsel değerlerinin belirlenmesi, bulanık ifadelerin belirlenmesi, kural tabanlarının belirlenmesi, ağırlık merkezi hesaplanması, program arayüzün tasarlanması ve BK sera otomasyonu uygulama sonuçları ele alınmıştır. Dördüncü bölümde bir sera için BUS'nin tasarım süreci örneklerle ele alınmıştır. Ayrıca Geleneksel Kontrol ile tasarlanan BUS sonuçları karşılaştırılmıştır. Beşinci bölümde yapılan çalışmadan elde edilen sonuçlar açıklanmış ve ileride yapılabilecek çalışmalar için önerilerde bulunulmuştur. Altıncı bölümde ise çalışmada faydalanılan kaynaklar hakkında bilgi verilmiştir.

BUS tasarımı için 1.83 Ghz işlemcili 1 GB RAM, 120 GB harddisk ve 128 Mb ekran kartı olan bir Notebook ve programlama dili olarak da Delphi 7.0

kullanılmıştır. BUS'nin çıkış değerleri için hesapladığı sonuçlar ile Matlab programının hesapladığı sonuçlar ile karşılaştırılmaktadır.

1.3. Kaynak Araştırması

Boztok ve ark. (1986), yapmış oldukları çalışmada; solar radyasyona göre yapılan farklı seviyelerde sulamanın domates yetiştiriciliğinde verim ve kalite için ne yapmak gerektiğini açıklamışlardır. Ayrıca; sera bitkinin büyüme, gelişme ve üreme gibi tüm fizyolojik faaliyetlerini en üst seviyede sürdürmesi için gerekli optimum yetişme koşullarının oluşturulmasına imkan veren bir bitkisel üretim yapısı olduğu sonucunu bulmuşlardır. Sera, bu optimum koşulların oluşturulmasını sürekli değişken özellik gösteren çevre koşulları etkisi altında gerçekleştirir. Çevre koşullarının sürekli değişken olması, sera klimasını oluşturan faktörlerin kontrolünde iki önemli probleme neden olmaktadır. Birincisi; bitki için en uygun seviyenin seçimi, ikincisi ise; seçilen seviyede kontrolün teminidir. Bu nedenle serada optimum iklim koşullarının sağlanması ve bunun korunması, iklim koşullarının sürekli izlenmesi ve gerektiğinde müdahale edilmesi ile sağlanabilir.

Bu çalışmada BK yöntemine değinilmemiştir.

Baytorun (1988), yapmış olduğu çalışmada, serada bitkisel üretimdeki başarının temeli, gelişim etmenlerinin (sıcaklık, nem, ışık, CO_2 vb.) kontrolünü gerçekleştirmiştir. Seralarda gelişim etmenlerinin denetimi, sera içerisine yerleştirilen kontrol elemanlarıyla yapılabilmektedir.

Bu çalışmada BK yöntemine değinilmemiştir.

Haque (1994), ev soğutma sistemlerinde BK'nin kullanıldığı bir çalışmadır. Sıcaklığın sadece termostatla on/off şeklinde kontrol edildiği sistemlere karşın hedefin ev içerisinde hava kalitesinin ve ortam konforun üst düzeye taşınması hedef alınarak yapılan bir çalışmadır. Ortam sıcaklık ve nem değerinin giriş parametresi olarak kabul edildiği çalışmada, sıcaklık, soğuk, ılık sıcak; nem ise kuru, ılımlı ve nemli olarak üç dilsel ifadede temsil edilmiştir. Klimanın çalışma rejimi ise çıkış parametresi olarak beş dilsel ifade olarak kabul edilmiştir. Giriş ve çıkış parametreleri üçgen şeklinde üyelik fonksiyonuyla bulanıklaştırılmıştır.

Bu çalışma gerçek bir uygulamada test edilmemiştir. Ayrıca giriş parametrelerinde üç dilsel ifade kullanılmıştır.

Banks ve ark. (1995), Bulanık Mantık tabanlı akıllı ev kontrol sitemi üzerine bir çalışma yapmışlardır. Çalışmada Bulanık Mantıkla ev kontrolünün enerji yönetimi, ışıklandırma, güvenlik, klimalandırma gibi birçok alanda kullanılabilirliğinden bahsedilmiştir. Örnek olarak; klima ile ev ısıtma ve soğutma işleminde Bulanık Mantıkla kontrolün nasıl yapılabileceğinden bahsedilmiş, oda konfor derecesi ev içinden ve dışından soğuk, normal ve sıcak olarak üç dilsel ifadede temsil edilmiştir. Amaç odada ısıtma ve soğutma işleminde enerji kaybının en aza indirilmesidir. Oluşturulan prototipte sıcaklık sensörlerinden alınan analog sinyaller (0-5 V) dijital sinyallere çevrilerek mikro kontrolöre (PIC16C74) giriş yapılmıştır. Prototip testlerinde ısıtma ve soğutmada görülen sistemin başarısı, diğer ev kontrollerinde de başarının olabileceğinin kanıtı olmuştur.

Bu çalışmada üç dilsel ifade kullanılmıştır.

İstanbullu ve ark. (1996), bir seranın ısıtma ve havalandırma sisteminin, gün ışığına bağlı 8 bitlik mikrobilgisayar yardımıyla otomasyonu gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada sera otomasyonu için en uygun çözüm olarak mikroişlemci tabanlı sistem, giriş parametreleri olarak sıcaklık, nem, ışık ve karbondioksit düşünülmüştür.

Bu çalışmada mikroişlemci yardımıyla kontrol yapılmış olup BK sistemlerine değinilmemiştir. Giriş parametrelerinin ise sadece dört tanesi ele alınmıştır.

Caponetto ve ark. (1998), bir seranın klimasını kontrol etmek için Bulanık Mantık yöntemini kullanmışlardır. Bu çalışmadaki amaçları; modern bir seranın Bulanık Mantık ile kontrolünün geliştirilmesi için bir temel oluşturmaktır.

Bu çalışmada sadece sıcaklık ve nem parametreleri ele alınmıştır. Diğer parametrelere değinilmemiştir.

Lanfang ve ark (2000), sera kliması için Bulanık Mantık sistemli bir modelin uygulamasını yapmışlardır. Bu sistemle lineer olmayan çeşitli iklim faktörlerini kontrol etmişlerdir.

Bu çalışmada sadece sıcaklık, nem ve karbondioksit parametreleri ele alınmıştır. Diğer parametrelere değinilmemiştir.

Dayıoğlu ve Silleli (2001), bilgisayar tabanlı ölçme sistemi yardımıyla, ölçülen değişkene (sıcaklık, bağıl nem vs.) karşılık gelen sayısal değeri gözlemciye

bilgisayar üzerinden sunulması çalışmasını yapmışlardır. Bunun için sisteme sinyal işleme biriminden sonra, analog ve dijital dönüştürme biriminin eklenmesi gerekirlidir. Sinyal dönüştürme elemanı, sinyal işleme biriminden gelen veriyi alır; bilgisayara girişin sağlanması için uygun formata çevirir. Sensör kalibrasyon karakteristiğine göre, volt olarak alınan elektriksel sinyal, uygun bilgisayar programı kullanılarak anlamlı hale dönüştürülmüştür. Bu bilgiler bilgisayar ekranına ya sayısal ya da grafik olarak işlenebileceği gibi, yazıcıya ya da ana disk'e aktarılabilir.

Bu çalışmada BK sistemi yerine geleneksel kontrol sistemi ele alınmıştır.

Allahverdi (2002), kitabında uzman sistemler hakkında oldukça geniş bir bilgi vermiştir. Bulanık Mantık ve Yapay Sinir Ağlarının Uzman Sistemler ile ilişkisinden bahsetmiştir.

Lafont ve Balmant (2002), iç ve dış sıcaklık, toplam ışınım, bağıl nem ve rüzgar hızı parametrelerine göre sera klimasını Bulanık Mantık yöntemiyle kontrol etmişlerdir. Bu yöntemle sera klimasının başarılı bir şekilde kontrol edilebileceğini belirtmişlerdir.

Bu çalışmada seraya etki eden diğer giriş parametreleri ele alınmamıştır.

Dayıoğlu ve Silleli (2002), sera yetiştiriciliğinde gerek ortam koşullarından, gerekse kültürel işlemlerden kaynaklanan önemli sorunları çözebilmek ve seraların etkili yönetilebilmesi, işletilebilmesi için bilgisayar mikroişlemci kontrollü bilgi işleme ve otomasyon sistemlerine gereksinim duyulduğunu ortaya çıkarmışlardır. Buna göre; seranın bilgisayarla kontrol edilmesi birçok şekilde yapılabilirliğini ortaya çıkarmıştır. Uygulamada gömülü, dağıtılmış ve uzaktan veri toplama-kontrol teknolojileri kullanılabilir. Endüstriyel bilgisayarların içindeki yuvaya takılan I/O kartları kullanılarak, sera içindeki ve dışındaki algılayıcılardan gelen sinyallere göre sera donanımlarının kontrolü gösterilmiştir. Bu işlemlerin yapılabilmesi için, seralar için geliştirilmiş özel otomasyon programlarına gereksinim duyulmaktadır. Bilgisayar kontrollü sera otomasyon sistemi aşağıda sıralanan bileşenlerden oluşur.

- Endüstriyel bilgisayar
- Analog / dijital dönüştürme kartı
- Sera otomasyon programı
- Algılayıcılar (sensörler)
- Sinyal işleme kartı

- Kontrol kartı
- Röle kartı
- Kontrol panosu

Sonuç olarak; seranın etkili yönetilmesi için, sera içindeki ve dışındaki güneş ışınımı, sıcaklık, rüzgar hızı, yağmur, bağıl nem, gibi birçok değişkenin sürekli ölçülmesi gerekliği vurgulanmıştır.

Bu çalışmada geleneksel kontrolden bahsedilmiştir.

Şengirgin (2003), ısıtma, havalandırma ve klima sistemlerinde denetimle ilgili çalışmalarında gelişen teknoloji ile daha yüksek konfor şartlarının arandığı günümüzde en ekonomik şekilde ısıtma, havalandırma ve klima (HVAC) sistemlerinin gelişim sürecini incelenmiştir. Bu çalışmada HVAC sistemlerinin gelişim sürecinin yanı sıra buna bağlı olarak HVAC sistemlerinin denetimde geliştirilen yöntemlerden de bahsedilmiştir. Bu denetim sistemlerinde kullanılması muhtemel Bulanık Mantık, Yapay Sinir Ağları ve Genetik Algoritmanın HVAC sistemlerinin enerji tasarrufu ve değişikliğe hemen cevap vererek verimliliği arttırma durumları incelenmiştir.

Şen (2004), kitabında Bulanık Mantık ile ilgili temel bilgilere yer vermiştir. Örnek uygulamalar ile BK sistemlerinden bahsedilmiştir.

Sarıtaş ve ark. (2005), yaptıkları bir çalışmada ameliyathanelerin sıcaklık kontrolü için bir BK sistemi tasarlanmışlardır. Örnek bir ameliyathane modeli ele alınmış, dört farklı noktadan klimalar konumlandırılmış, altı adet algılayıcı ile ısı kontrolü için giriş verileri alınmıştır. Bu verilere göre değerlendirme yaparak hangi taraftaki klimanın ısıtma ya da soğutma yapacağına karar veren bir kontrol sistemi geliştirmişlerdir. Böylece keskin sıcaklık değişimlerinin önüne geçilmesi, enerji kaybının minimuma indirilmesi ve sıcaklığın düzgün dağlımı sağlamayı amaçlamışlar ve sonuç olarak başarılı olmuşlardır.

Akgül (2006), "Bulanık Mantık Yardımıyla Doğal Havalandırma Yapılan Bir Serada Sıcaklık ve Bağıl Nem Kontrolünün Modellenmesi" adlı çalışmasında sadece sıcaklık ve nem parametrelerini kullanmıştır. Çalışmada doğal havalandırma yapılan bir serada, domates bitkisinin bulunduğu döneme ait yetiştirme isteklerine dayalı olarak gün içerisinde (24 saat), pencere açıklığı miktarına karar verme işlemi Bulanık Mantık kullanarak modellenmiştir. Modelleme çalışmasında sera dışı sıcaklık, sera

içi sıcaklığı ve sera içi bağıl nemi kullanılmıştır. Sera pencereleri 0 ile 60 derece arasındaki açıklık konumlarında iken ölçme işlemi yapılmıştır. Ölçme işlemi her 15 saniyede bir yapılıp, 1 dakikalık ortalamalar şeklinde kaydedilmiştir. Ölçülen parametrelere göre sera pencerelerinin açıklık miktarları modelleme ile kontrol edilmiştir.

Bu çalışmada sadece doğal havalandırma konusu ele alınmış ama diğer giriş parametrelerine değinilmemiştir.

Soy (2006), gömülü sistem üzerinde BK ile ev otomasyonun gerçekleştirildiği bir çalışmadır. Bu çalışmada Bulanık Mantıkla geliştirilmiş kontrol birimi mikro kontrolör içine gömülerek ev otomasyon sisteminin kontrolünde görevlendirilmiştir. Ev otomasyon sisteminin yapısı düşünüldüğünde belirlenen kontrol stratejisi için BK çok uygun olduğu gözlemlenmiştir. Kontrolörün giriş parametreleri bina içi sıcaklık, bina dışı sıcaklık ve nispi nem üzerine kurulmuştur. Simülasyon testlerinde başarılı sonuçlar alınmıştır.

Bu çalışmada gerçek ortamda test edilememiştir.

Etik (2007), yapmış olduğu çalışmada, ameliyathane için gerekli ortam şartlarının sağlanması BUS kontrollü bir tasarım yapılmıştır. Hedeflenen amaç için gerçek ameliyathaneler incelenmiştir. Bu ameliyathanelerde uygulanan sistemler araştırılarak daha verimli, konforlu ve güvenilir bir sistem olup olmadığı, BUS ile bir ameliyathanenin nasıl kontrol edilebileceği, avantaj ve dezavantajları araştırılmıştır. Yukarıda sayılan avantajları sağlanabileceği teorik olarak görünen BUS için bir ameliyathane prototipi yapılarak uygun yapılandırma tasarlamıştır. Bu tasarım için ısı, partikül, nem ve oksijen giriş parametreleri olarak temiz hava girişi ve egzoz için fan devreleri çıkış parametresi olarak seçilmiştir. Bir uzman yardımıyla uygun dilsel ifadeler ve bu ifadelerin üyelik fonksiyonları belirlenmiştir. Sensörler gruplandırılmış ve bu sensör bilgileri bilgisayara tasarlanan bir ara birim ile aktarılmıştır. Sistem için C# ile bir arayüz yazılarak veriler anlık olarak sisteme aktarılmıştır. Sistem prototip için en uygun kontrolü sağlayıp sağlanmadığı ameliyat simüle edilerek ekip sayısı ve süreye bağlı kişiler ile denenmiştir. Bu denemelerde giriş çıkış ve gerekli parametre kayıtları yine bilgisayarda depolanmıştır. Sonuç olarak çalışmada BUS ile yapılan ameliyathane prototip kontrolünde çok iyi sonuçlar alınmıştır. Yapılan analizler sonucunda BUS ile yapılan kontrolün daha ekonomik, konforlu, güvenilir ve kararlı

bir kontrol sağladığı ve bunun gerçek ameliyathanelerde uygulanabilirliği görülmüştür.

Torun (2007), yapmış olduğu çalışmada, koroner kalp hastalığı riski tanısı ve tedavisi için hiyerarşik bir BUS tasarımı yapılmıştır. Hastanın ileriye dönük 10 yıllık risk durumuna göre koroner kalp hastalığının tanısı ve tedavisinin yapılması incelenmiştir.

Ödük ve Allahverdi (2009), Bulanık Kontrol yöntemiyle sera otomasyonu üzerine bir çalışmada domates bitkisi için, sıcaklık giriş ve ısıtma çıkış değerlerini sunmuşlardır.

Bu literatür incelemesinde de görüldüğü gibi son yıllarda esnek hesaplama yöntemleri tıp da olmak üzere çok farklı alanlarda uygulanmaya başlanmıştır. Bulanık Mantık, probleme farklı yaklaşım tekniğiyle sorun çözmede şaşırtıcı başarılar göstermekte ve farklı alanlarda da uygulamaları yapılmaktadır.

Bu yaklaşımdan yola çıkarak işte bu çalışmada sera otomasyon sistemlerinin Bulanık Mantık yöntemiyle kontrolü amaçlanmıştır. Literatür incelenmesinde giriş parametreleri olarak sıcaklık, hava nemi ve karbondioksit miktarı ele alınmıştır. Bu çalışmada giriş parametresi olarak sıcaklık, hava nemi, ışık şiddeti, toprak nemi, karbondioksit miktarı ve rüzgar hızı alınarak sistem tasarlanacaktır.

2. BULANIK KONTROL VE UYGULAMALARI

İnsan bilgisine dayalı dilsel bir kontrol stratejisi uygulamak için, Bulanık Teori (BT) kullanılır. Kontrol sistemleri tasarlarken sırasıyla; hedef, bilgi tabanını oluşturan bulanık kontrol kuralları belirlenir ve bulanıklaştırma ve durulaştırma yapılır. BT 1965 yılında ileri sürülmüştür. Bu tarihten kısa bir süre sonra BK çok çabuk gelişme kaydetmiştir.

Bulanık kümeler ve Bulanık Mantık teorisinin en etkin uygulama alanı kontrol sistemleridir. Bulanık sistemler bilgiye dayalı veya kurala dayalı sistemlerdir. Bir sistemin kontrol edilebilmesi için, sistemi oluşturan matematiksel modelin iyi seçilmesi lazımdır. Bazı sistemlerin matematiksel modelleri çok zor elde edilir. Bunun için en iyi yol bulanık kümelerin kullanılmasıdır. Bulanık kümeler geleneksel küme teorisinde kullanılan küme kavramı, bir nesnenin bir kümenin elemanı olması "1" ya da olmaması "0" gibi iki seçenekleri bir mantığa dayanmaktadır. Geleneksel küme teorisinde "0" veya "1" arası yoktur. Belirsizlik içeren bir problemin çözümü güçtür. Bu denetleyici insan gibi hareket edebilmektedir. Bu denetleyici sisteme Bulanık Mantık diyebiliriz (Erkan 1999).

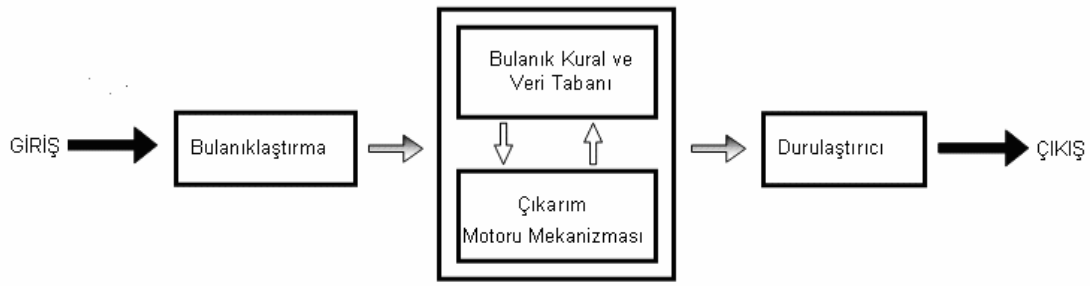
Geleneksel kontrol sistemleri, bulanık kümeler yardımıyla BK sistemlerine dönüştürülür. Kontrol sisteminde BK'nin kullanılmasına karar vermeden önce sistemi iyi incelemek gerekir. Daha sonra nasıl bulanık sistem kullanılacağına karar verilmesi lazımdır.

Aşağıdaki Tablo 2.1'de Bulanık Kontrolün tarihsel gelişimi verilmiştir.

Tablo 2.1 Bulanık Kontrolün Tarihsel Gelişimi.

Yıl	UYGULAYAN	UYGULAMA ALANI
1972	Zadeh	Bulanık Kontrolün öne sürülmesi
1973	Zadeh	Dilsel yaklaşım
1974	Mamdani ve Assilian	Buhar motoru kontrolü
1976	Rutherford	Kontrol algoritmalarının analizi
1977	Ostergaard	Isı değiştirici ve çimento fırın kontrolü
1977	Willaeys	Optimal bulanık kontrol
1979	Komolov	Sonlu otomasyon
1980	Tong	Atık suyun değerlendirilmesi
1980	Fukami, Mizumoto ve Tanaka	Bulanık koşul çıkarımı
1983	Hirota ve pedrycz	Olasılıklı bulanık kümeler
1983	Takagi ve sugeno	Bulanık Kontrolün türetilmesi
1983	Yasunubo ve miyamato	Tahmini Bulanık Kontrol
1984	Sageno ve murakabi	Bir arabanın park etme kontrolü
1985	Kiszka ve gupta	Bulanık sistemin kararlılığı
1985	Togai ve Watanabe	Bulanık yonga
1986	Yamakawa	Bulanık Kontrolör donanım sistemi
1987	Yamakawa	Sendai metrosunda uygulama
1988	Dubois ve parade	Yaklaşık muhakeme

Bulanık sistem tasarlanmasına karar verildikten sonra ilk yapılacak iş , Eğer O- HALDE bulanık kurallar tablosunu elde etmektir. Bu kurallar uzman yardımı ile olur. Aşağıda Şekil 2.1'de BK şeması görülmektedir.

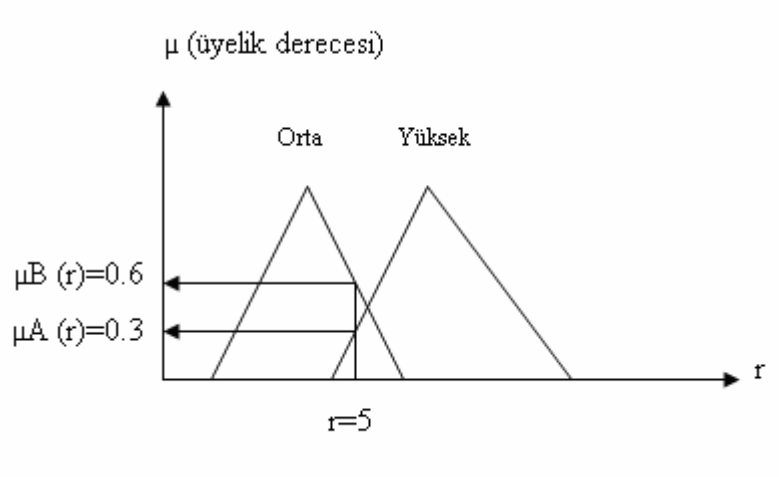


Şekil 2.1 Bulanık Kontrolün Blok Şeması.

2.1. Bulanıklaştırma

Giriş değerleri BK sisteminde kullanılacak olan bulanık değerlere dönüştürülür. Giriş değerleri ait oldukları üyelik fonksiyonlarına göre bulanık değerlere dönüştürülür. Elde edilen bu bulanık değerler ait oldukları üyelik fonksiyonlarındaki üyelik derecelerine karşılık gelir.

Şekil 2.2'de gerçek bir değerin bulanık bir değere dönüştürülmesi gösterilmektedir.

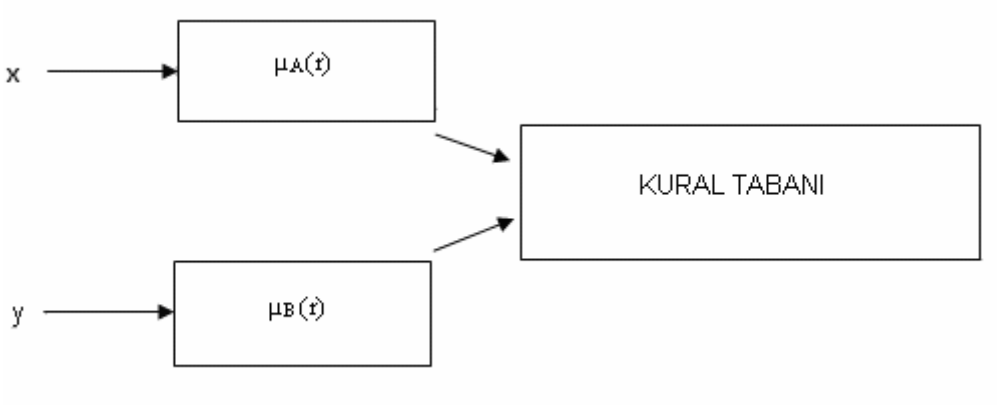


Şekil 2.2 Bulanıklaştırma İşlemi.

2.2. Bulanık Kural Tabanı ve Veritabanı

Bir bulanık sistem tasarlanmasına karar verildikten sonra ilk yapılacak işlem, **EĞER O HALDE** kurallar tablosunu elde etmektir. Bu kurallar, genelde uzmandan yararlanılarak oluşturulur (Bay, 2006).

Veri tabanındaki girişleri çıkış değişkenlerine bağlayan mantıksal **EĞER-İSE** türünde yazılabilen bütün kuralların tümünü içerir. Bu kuralların yazılmasında sadece girdi verileri ile çıktılar arasında olabilecek tüm aralık (bulanık küme) bağlantıları düşünülür. Böylece her bir kural girdi uzayının bir parçasını çıktı uzayına mantıksal olarak bağlar. İşte bu bağlamların tümü kural tabanını oluşturur. Aşağıda Şekil 2.3'de EĞER – O HALDE kavramı şematik olarak gösterilmiştir.



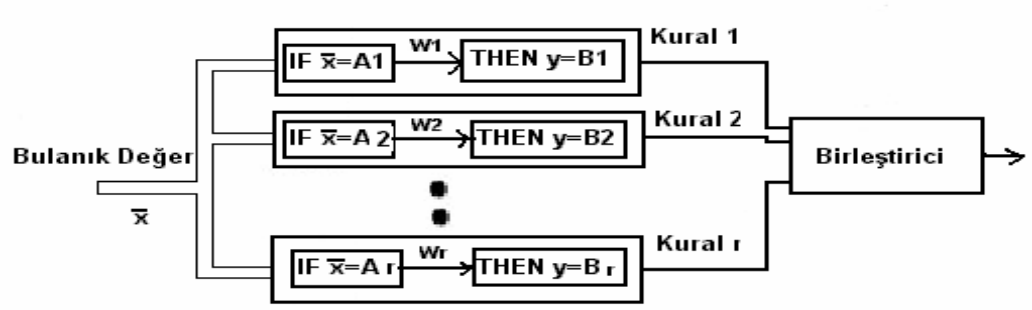
Şekil 2.3 EĞER – O HALDE Kavramı.

2.3. Bulanık Çıkarım Motoru Mekanizması

Bulanık kural tabanında giriş ve çıkış bulanık kümeleri arasında kurulmuş olan ilişkilerin hepsini bir araya toplayarak sistemin bir çıkışlı davranmasını temin eden işlemler topluluğunu içeren mekanizmadır. Bu motor, her bir kuralın çıkarımlarını bir araya toplayarak tüm sistemin girdiler altında nasıl bir çıktı vereceğinin belirlenmesine yarar.

Karar verme birimi, Çıkarım Motoru (Fuzzy Engine) olarak da adlandırılır. Bulanık Mantık denetiminin çekirdek kısmıdır. Bu kısım insanın karar verme ve çıkarım yapma yeteneğinin benzeri bir yolla bulanık kavramlarını işler ve çıkarım yaparak gerekli denetimi belirler.

Bir bulanık kontrolörün temelini kural çözümleyici, veri tabanı ve kural tabanından oluşan kural tabanlı sistem oluşturur. Burada uzman sistemlerde olduğu gibi kural tabanında IF-THEN yapısında oluşturulan kurallar, veri tabanında ise kullanılan üyelik fonksiyonlarının tipleri ve sınır değerleri tutulur. Bulanık kontrolörde kullanılan bir kural tabanlı çıkarım sisteminin iç yapısı daha ayrıntılı olarak Şekil 2.4'de görülmektedir.



Şekil 2.4 Bulanık Kural Tabanlı Çıkarım Sistem Yapısı.

Bir bulanık kural tabanlı sistemde farklı çözümleme yöntemleri uygulanabilir. Bunlardan en önemlileri; Mamdani ve Sugano modelidir. Ayrıca birleştiricide birden fazla kural arasında oluşturulacak olan ilişkilerde uygulanan farklı çıkarım yöntemleri mevcuttur.

Tablo 2.2'de en çok kullanılan çıkarım metotları bulunmaktadır.

Tablo 2.2 Çıkarım Metotları.

BULANIK ÇIKARIM METODU	μA → B (x,y)
MAMDANI (MAX-MIN)	MIN(μA (x), μB (y))
MAX – PROD	(μA(x) * μB (y))
ZADEH	MAX[MIN(μA (x), μB (y))], 1-μA (x)
LUKASIEWICS	MIN (1,1 - μA (x) + μB (y)
GÖDEL	1 → μA (x) < = μB (y) μB (y) → diğer
KLEENE-DIENES	MAX (1 - μA (x), μA (y))
SHARP	1 → μA (x) < μB (x) 0 → diğer

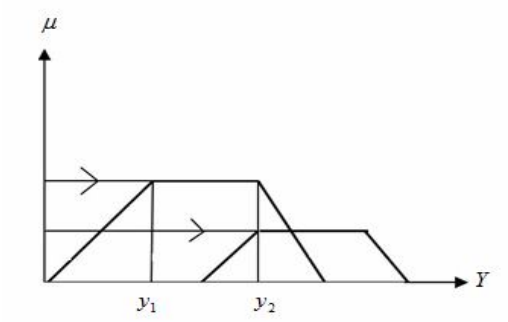
2.4. Durulaştırma

Çıkarım işlemi sonucu bir bulanık kümedir. Bulanık ifadeler ya da bulanık kümeler gerçek dünyada birer anlam ifade etmediklerinden dolayı çıkarım sonunda elde edilen bulanık bilgilerin gerçek dünyada kullanılan bilgilere dönüştürülmesi

gerekmektedir. Bu işlem durulaştırma kısmında yapılmaktadır. Durulaşma metotları aşağıdadır (Torun 2007).

2.4.1. Maksimum metodu

Maksimum ortası metodunda çıkışa ait keskin değerin elde edilmesi için sadece en büyük karşılama derecesine sahip olan kural çıkışa gönderilir. Yani işlenen kurallar içinde en büyük yüksekliğe sahip (en büyük üyelik derecesine sahip) sonuç bulanık küme işleme tabi tutulur. İki kuralın aynı anda işlendiği, Şekil 2.5'de görüleceği üzere bu metotla elde edilecek değer $[y1\, y2]$ aralığına karşılık gelir. $[y1\, y2]$ aralığında sonuç bulanık kümenin büyük üyelik derecesini ifade etmektedir.



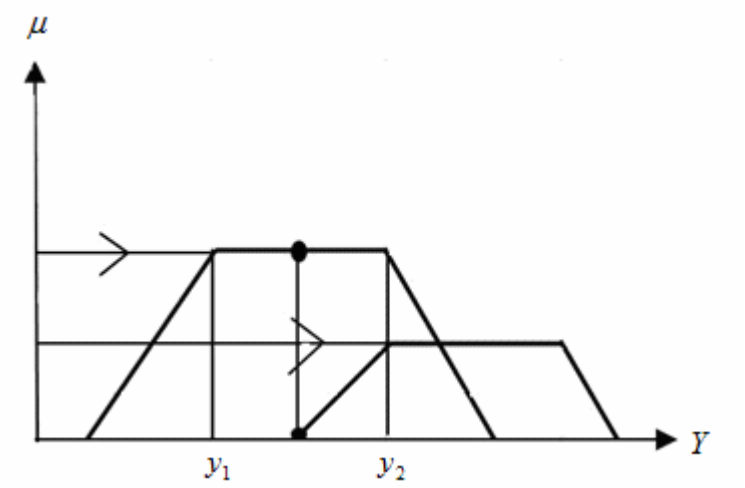
Şekil 2.5 Çıkarım İşleminin Şematik Gösterimi.

$[y1\, y2]$ aralığında sonuç bulanık kümesi en büyük üyelik derecesini ifade etmektedir. Farklı uygulamalarda bu metotla alakalı olarak üç değişik kullanım mevcuttur. Bu metotlar aşağıda gösterilmiştir (Torun 2007)

2.4.1.1. Maksimum ortası metodu

Bu metot, en büyük yüksekliğe sahip bulanık çıkış kümesinde maksimum yüksekliğin sınırlarını belirleyen $[y1\ y2]$ sınır değerinin ortalaması alınır. Maksimum ortalaması çıkartım metodunun gösterimi Şekil 2.6'da gösterilmiştir.

$$y' = \frac{y_1 + y_2}{2} \tag{2.1}$$



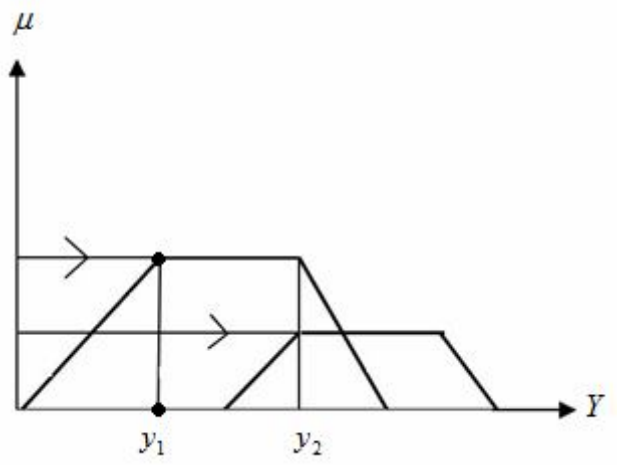
Şekil 2.6 Maksimum Ortası Çıkartım Metodunun Gösterimi.

Literatürde "maksimum yüksekliğe göre durulaştırma" söz edildiğinde ortalama değerden bahsedilmektedir (Torun 2007).

2.4.1.2. Sol kenar noktası metodu

Bu çeşit uygulamada sonuç keskin değeri olarak alt aralık sınır değeri seçilir. Sol kenar noktası metodunun gösterimi Şekil 2.7 ile ifade edilir (Torun 2007).

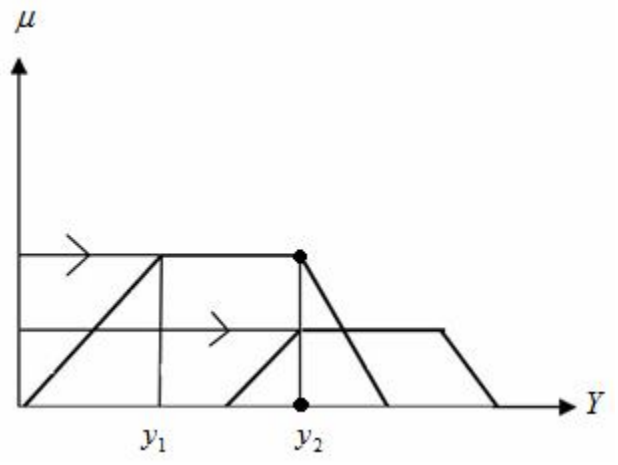
$$y' = y_1 \tag{2.2}$$



Şekil 2.7 Maksimum Sol Kenar Noktası Metodunun Gösterimi.

2.4.1.3. Sağ kenar noktası metodu

Bu çeşit uygulamada sonuç keskin değeri olarak üst aralık sınır değeri seçilir. Sağ kenar noktası metodunun gösterimi Şekil 2.8'de gösterilmiştir (Torun 2007).



Şekil 2.8 Maksimum Sağ Kenar Noktası Metodunun Gösterimi.

$$y' = y_2 \tag{2.3}$$

2.4.2. Ağırlık merkezi metodu

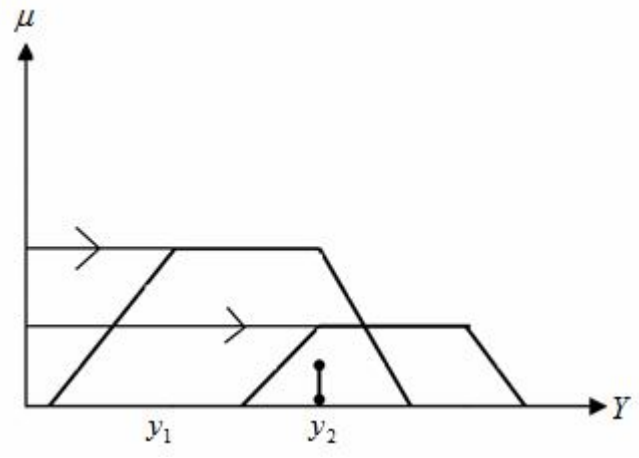
Sonuca ait çıkış keskin değeri, işlenen kuralların oluşturduğu, çıkışa ait elde edilen sonuç, bulanık kümelerin karşılama değerlerinin altlarındaki alanların toplamının teşkil ettiği alanın ağırlık merkezinin yatay eksen değeri olarak ele alınır. Bu yöntem en çok kullanılan durulaştırma yöntemlerinden birisidir.

$$y' = \frac{\int y * \mu(y) * dy}{\int \mu(y) * dy} \tag{2.4}$$

olarak ifade edilir.

Teknik olarak bu hesaplama temel ayrık destek noktalarında y_i nümerik integrali ile gerçekleştirilir. Sonucun daha hassas olması hesap süresini artırır.

Ağırlık merkezi metodunun gösterimi Şekil 2.9 ile ifade edilir. Maksimum metoduna karşılık ağırlık merkezi metodunda işlenen kurallar ile elde edilen bütün çıkış bulanık kümeler hesaplamaya katılır. Dolayısıyla aktif olan pek çok kural karşılama dereceleriyle ortalamaya girer (Torun 2007).



Şekil 2.9 Ağırlık Merkezi Metodunun Gösterimi.

2.5. Bulanık Kontrol Uygulamaları

Bulanık denetimin ilk uygulamaları genellikle endüstriyel alanlarda, çimento sanayinde (1980) ve su arıtma sistemlerinde (1983) olmuştur. Daha sonraları literatürde nükleer reaktör, asansör ve vinç denetimi gibi daha dinç uygulamalar Japonya'nın Sendai kentindeki metro sisteminde çok başarılı bir biçimde kullanıldığı görülmüştür. Bu uygulama 1990'larda zirveye ulaşmış ve ev aletlerinden borsa portföyü denetimine, fotoğraf makinelerinden hasta izleme uzman sistemlerine kadar uzanan çok geniş bir yelpaze içerisinde kullanılması ile sonuçlanmıştır. Günümüzde artık bulanık denetim uygulamalarına yönelik özel yazılım ve donanımlar piyasadan hazır bir şekilde temin edilmektedir. Örneğin; Omron firması bulanım benzetim paketleri ve bulanık mikroişlemci olarak adlandırdıkları özel tümleşik devreler pazarlamaktadırlar (Elmas 2003).

BK, Tablo 2.3'de ifade edildiği gibi endüstriyel uygulamalar, Tablo 2.4'de ifade edildiği gibi görsel-işitsel aygıt uygulamaları, Tablo 2.5'de ifade edildiği gibi ev aletleri uygulamaları, Tablo 2.6'de ifade edildiği gibi ulaşım araçları uygulamaları, Tablo 2.7'de ifade edildiği gibi finansal uygulamalar gibi alanlarda kullanılmıştır.

Tablo 2.3 Bulanık Kontrolün Endüstriyel Uygulamaları (Elmas 2003).

ALAN	FİRMA	UYGULAMA
Çelik Endüstri	Nippon-Steel	Geleneksel denetleyicilerin yerini alır.
Çimento Sanayi	Mitsubishi-Chen	Değirmende ısı ve oksijen oranı denetimi yapar.
Isı Denetleyicisi	Omron	Bir PID denetleyici ile hibrid çalışır,ani değişiklerde PID denetleyicinin görevini üstlenir.
PLC	Omron	Fabrikalarda süreç denetiminde kullanılır.
Hata tanısı	Guanghou	Bir süreçte hatanın nereden kaynaklandığını bulur.
Asansör denetimi	Fujitech, Toshiba, Mitsubishi	Yolcu trafiğini değerlendirir, böylece bekleme zamanını azaltır.

Tablo 2.4 Bulanık Kontrolün Görsel-İşitsel Aygıt Uygulamaları (Elmas 2003).

SLR fotoğraf makinesi	Sanya - Fisher, Canon, Minolta	Ekranda birçok obje bulunması halinde en iyi focusu ve aydınlatmayı belirler.
Video kayıt aleti	Panasonic	Aygıtın elle tutulması nedeniyle oluşan sarsıntıları ortadan kaldırır.

Tablo 2.5 Bulanık Kontrolün Ev Aletleri Uygulamaları (Elmas 2003).

Çamaşır makinesi	Matsushita	Çamaşır kirliliğini, ağırlığını kumaş cinsini sezer ona göre yıkama programı belirler.
Elektrik süpürgesi	Matsushita	Yerin durumunu ve kirliliğini sezer ve motor gücünü uygun bir şekilde ayarlar.
Su ısıtıcısı	Matsushita	Isıtmada kullanılan suyun miktarı ve sıcaklığına göre ayarlar.
Klima aygıtı	Mitsubishi	Ortam koşullarını sezerek en iyi çalışma durumunu saptar.
Tansiyon aleti	Omron	Tansiyon ölçer.
Televizyon	Sony	Ekran kontrastını, parlaklık ve rengini ayarlar.
El bilgisayarı	Sony	El yazısı ile veri ve komut girişine olanak tanır.

Tablo 2.6 Bulanık Kontrolün Ulaşım Araçları Uygulamaları (Elmas 2003).

Sendai metro sistemi	Hitachi	Hızlanma ve yavaşlamayı ayarlayarak rahat bir yolculuk sağlamanın yanı sıra durma pozisyonunu iyi ayarlar güçten tasarruf sağlar.
Otomobil aktarma organı	Subaru-Nissan	Araba kullanış stilini ve yükünü sezerek en iyi dişli oranını seçer.
Abs fren sistemi	Nisa	Tekerleklerin kilitlenmeden frenlenmesini sağlar.

Tablo 2.7 Bulanık Kontrolün Finansal Uygulamaları (Elmas 2003).

Hisse senedi alım satım programı	Yamaichi-Securities	Hisse senedi portföyü idare eder.

2.6. Uzman Sistemler

Belirli bir problem kümesi için bir uzman gibi davranan programlara Uzman Sistem (US) denir. US veri işlemeden, bilgi işlemeye bir geçiş olarak ifade edilebilir. Veri işlemede, veri tabanı bir algoritmaya bağlı olarak etkin bir şekilde işlenirken bilgi işlemede herhangi bir algoritmaya bağlı kalınmadan çıkarılmış kurallar ve gerçeklerden oluşan bilgi tabanı etkin bir şekilde işlenir. Bir başka deyişle algoritmalarla sonuç çıkarma mekanizmaları yer değiştirmiştir, yani;

Geleneksel Programlar ⟶ Algoritmalar + Veri Tabanı
Uzman Sistemler ⟶ Çıkarım Mekanizması + Bilgi Tabanı

US'lerin tanımı çeşitli kurum ve kişilerce farklı olarak yapılmakta, bu da bir kavram kargaşasına neden olmaktadır. En sık yapılan hatalardan biri US'ler ile bilgi tabanlı sistemlerin karıştırılmasıdır. Bilgi tabanlı sistemler bilgisayara girilmiş bilgi yardımıyla ve akıl yürütme işlemiyle zor problemleri çözerler. Ancak bunlar US'lerden çözdükleri problemlerin küçük boyutlu ve daha sınırlı olması yönüyle ayrılırlar. Bir başka deyişle US'ler gerçek uzmanlığı gerektiren karmaşık bilgileri içerirler. Bu tür bilgiler bireylerin ancak uzman oluncaya kadar yıllar süren deneyimleri ile elde ettiği bilgilerdir. Kitap, dergi gibi dökümanlarda bulunmazlar. Oysaki bilgi tabanlı sistemler yalnızca yayınlarda bulunan bilgilerle oluşturulur (Allahverdi 2002).

Uzmandan bilginin elde edilmesi ve bilgisayara aktarılması US'in tasarımı en zor problemlerden birisidir. US'in tasarımı işlemi genellikle "bilgi mühendisliği" olarak isimlendirilir. US tasarımı belli bir problem altında çalışan bir ya da daha fazla uzman ile bilgi mühendisi olarak adlandırılan US tasarımcısı arasında özel bir iletişimi gerektirir. Bilgi mühendisi uzmanı gözlemler, onun problem çözüm yöntemlerini, kurallarını, stratejileri ve prosedürlerini alarak uzman sistem içine yerleştirir ya da bunu yapacak programcıya uygun bir şekilde iletir. Uzmandan bilgiyi elde etmenin iki temel yöntemi, protokol analizi ve söyleyişidir. Birinci yöntemde uzman kendi bilgilerini serbest olarak sunar. İkincisinde ise uzman etkileşimli olarak istenilen bilgileri sunar. Bir US'in en önemli parçası sistem

tasarımı sonrasında sürekli olarak artabilecek yapıya sahip güçlü bir tabandır. US kullanıcısı yeni olay ve bilgilerin etkilerini ve sonuç ile olan ilgilerini görebilmelidir. US'ler;Yapay Sinir Ağları, Bulanık Mantık ve Genetik Algoritmalar gibi yöntemlerle kullanılabilmektedir. Böylelikle US'lerin kısıtlamaları ortadan kalkmış olmaktadır.

Örneğin; Yapay Sinir Ağları ile kullanılan bir US'de esnek öğrenme olanağı , Bulanık Mantık ile kullanılan bir US'de bilgi yetersizliği durumunda doğru sonuçlara varabilme olanağına sahip olunmaktadır (Allahverdi 2002).

2.7. Bulanık Uzman Sistemler

BUS, veriler üzerinde akıl yürütme yapabilmek için Boolean mantığı yerine, fonksiyon ve kuralların bulanık üyelik özelliklerini kullanan bir US'dir. Aşağıda BUS'lerdeki kurallara bir örnek verilmektedir.

Eğer X düşük ve Y yüksek ise o halde Z ortadır.

Burada X ve Y giriş değişkenleri veya bilinen veri değerlerinin adlarıdır, Z çıkış değişkeni veya değeri hesaplanması istenen verinin adıdır, düşük- X üzerinde belirlenmiş üyelik fonksiyonu (bulanık alt küme); yüksek- Y üzerinde belirlenmiş üyelik fonksiyonu; orta- z üzerinde belirlenmiş üyelik fonksiyonudur. Kuralın varsayım kısmı (eğer) bu kuralın ne derecede uygulanabileceğini, çıkarım (o halde) kısmı ise bir veya birden çok çıkış değişkenlerinin her birini üyelik fonksiyonu tahsis edilmesini tanımlamaktadır. Bir kural birden çok hüküm çıkarmaya da olanak tanıyabilmektedir. Genel olarak BUS'lerde çıkarım sonucu üç veya dört adımdan oluşmaktadır. Bunlar;

1.Bulanıklaştırma-Her bir varsayımın doğruluk derecesini belirlemesi için gerçek değerlere uygulanmış giriş değişkenleri üzerinde üyelik fonksiyonlarının belirlenmesi;

2.Çıkarım-Her bir kuralın varsayım kısmı için doğru değerlerin hesaplanması ve bu değerlerin her kuralın çıkarım kısmına uygulanması. Bir bulanık alt kümede olan bu sonuçlar her kuraldaki çıkış değişkenine atanır. Genelde yalnız min veya çarpım işlemleri bir çıkarım kural olarak kullanılır. Min çıkarma çıkış üyelik fonksiyonu, kural varsayımının hesaplanmış doğruluk derecesine uygun

ağırlıkların kesişmesi ile elde edilir (bulanık ve). Çarpım çıkarımda çıkış üyelik fonksiyonu, kural varsayımının hesaplanmış doğruluk derecesi ile ölçeklenir (scaled).

3.Bileşim (Composition)-Her bir çıkış değişkenine atanmış bulanık alt kümelerin tümünün, her bir çıkış değişkeni için bir tane bulanık alt küme oluşturulması için birleştirilmesi. Bu amaçla en çok max veya toplam fonksiyonları kullanılır. Max bileşim, birleştirilmiş çıkış bulanık alt kümeleri çıkarım kuralları değişkenlerine atanmış bulanık alt kümelerin maksimumlarını alarak elde edilir (bulanık veya). Toplam bileşim, birleştirilmiş çıkış bulanık altkümeleri çıkarım kuralları değişkenlerine atanmış bulanık alt kümelerin toplamalarını almakla elde edilir.

4.Durulaştırma-Bulanık çıkış kümesinin kesin (crisp) sayılara dönüştürülmek istendiği zaman yapılan işlem olarak tanımlanabilir. Bir çok durulaştırma yöntemi mevcuttur. Bunlardan en çok bilinenleri ağırlık merkezi (CENTROİD) ve maksimum (MAXIMUM) yöntemleridir.

2.8. Geleneksel Kontrol Sistemi

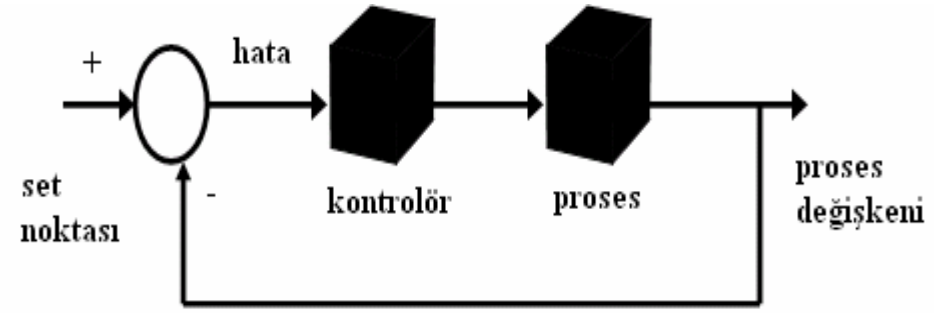
Geleneksel Kontrol Sistemi geri besleme kavramına dayanır. Negatif geri beslemede değerler sistemin sürekli olarak ölçülen çıkış değerlerini istenilen gerçek değerlerden çıkarılması ile bulunur. Uygulamaların pek çoğu kapalı çevrim kontrol şeklinde olduğu görülmektedir.

Kapalı çevrim kontrol dışında ardışık kontrol biçiminde kontrol uygulamalarında görülebilir. Ardışık kontrolde otomatik kontrol sağlamak için her çevrim başlangıcında bir takım hareketlere gereksinim duyulur. Asansör uygulamasında kapının asansör hareket etmeden önce kapanması ardışık kontrole verilebilecek bir örnektir.

Diğer bir kontrol biçimide açık-kapalı (on-off) kontrolüdür. Sistem çıkışı hareket sağlayıcı ile açık veya kapalı şeklinde uyarılır. Termostat kontrolü en çok bilinen uygulama şeklidir.

Servomekanizma tipi kontrol, kontrol edilen değişkenin tamamen uygulamaya değiştiği durumlarda kullanılır. Robot uygulamalarında genellikle bu tip kontrol tercih edilir.

Kapalı çevrim kontrolünün gelişmiş ve en çok gerçekleştirilen şekillerinden biri PID (proportional integral derivative) kontrol olarak isimlendirilir. PID kontrolör çıkışını bulmak daha detaylı bir algoritma gerektirir.



Şekil 2.10 Geleneksel Geri Beslemeli Kontrol Çevrimi.

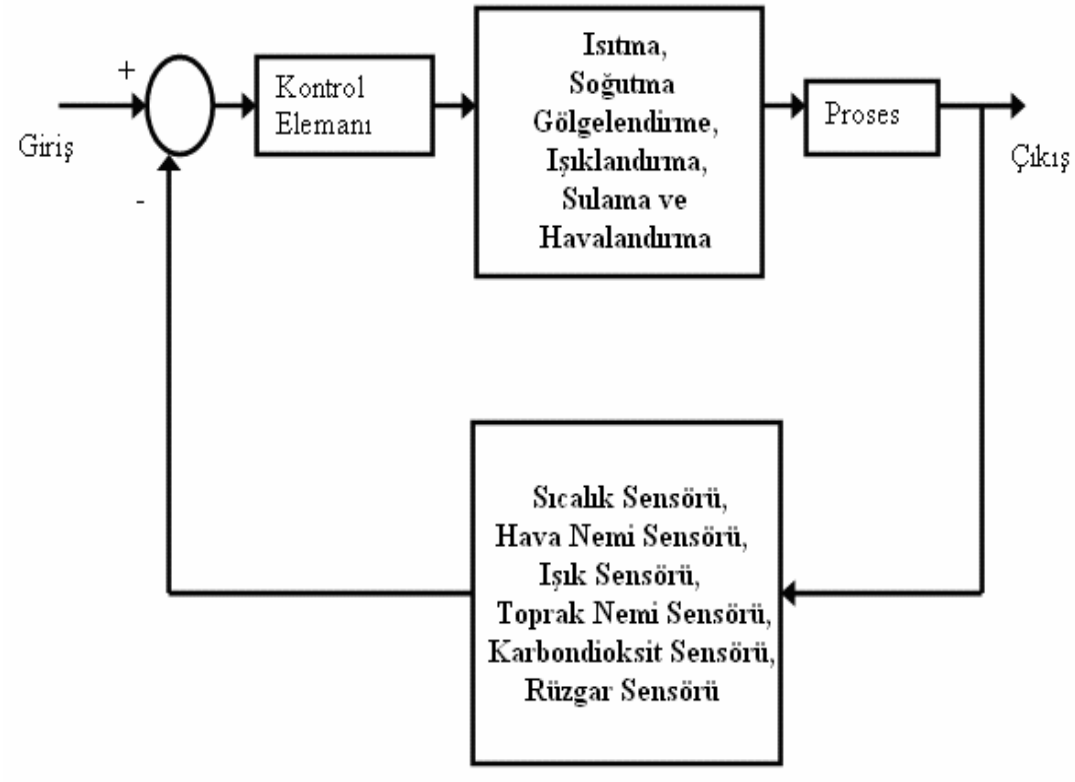
Şekil 2.10'da çevrim modeli gösterilen geleneksel geri beslemeli kontrolü başarıyla gerçekleştirmek için proses hareket bilgilerinin tümünü bilmek gerekir. Kompleks proses uygulamalarında bunu gerçekleştirmek bazen çok zor hatta imkansızdır. Aynı zamanda çoğu kez prosesin lineer modelinin bilinmesi de istenir (Soy 2006).

2.9. Sera Otomasyonu Sistemlerinde Geleneksel Kontrol Yaklaşımı

Sera otomasyon sistemlerinde bulunan otomatik kontrol birimi sistem hareketlerini düzenler. Kontrol edilen değişkenlerden birinde meydana gelebilecek değişiklik ve dengesizlikleri yeniden istenilen dengeye getirmek için otomatik kontrol birimi diğer değişkenler üzerinde ayarlamalar yaparak tepki verir.

Modern birimlerde kontrol otomatik kontrol birimi enerji kullanımı en aza indirecek şekilde tasarlanır. Kontrol edilen değişken veya değişkenler büyük oranda sistem karakteristiğini düzenler. Sistem hatası genellikle istenilen değer ile gerçek değer arasındaki farktır. Sensörler kontrol edilen sistemin hata cevabını değiştirir. Hata cevabı, hareket sağlayıcı elemanlar aracılığı ile sisteme iletilir.

Genellikle sera otomasyonu sistemlerinde kapalı çevrim kontrol uygulanır. Kapalı çevrim kontrol sistemlerinde kontrol edilen değişken sensörler tarafından ölçülerek geri besleme yapılır. Bu tip kontrol sisteminin yapısı şekil 2.11'de gösterilmiştir.



Şekil 2.11 Sera Otomasyonunda Geleneksel Kontrol Çevrimi.

Geleneksel kontrol sistemlerinin çalışması ancak kontrol edilecek sistemin matematiksel modelinin kurulması ile mümkündür. Matematiksel model üzerindeki hesaplamaları yapmak için genellikle mikroişlemci tabanlı sistemler tercih edilir (Soy 2006).

3. SERADA BULANIK KONTROL UYGULAMALARI

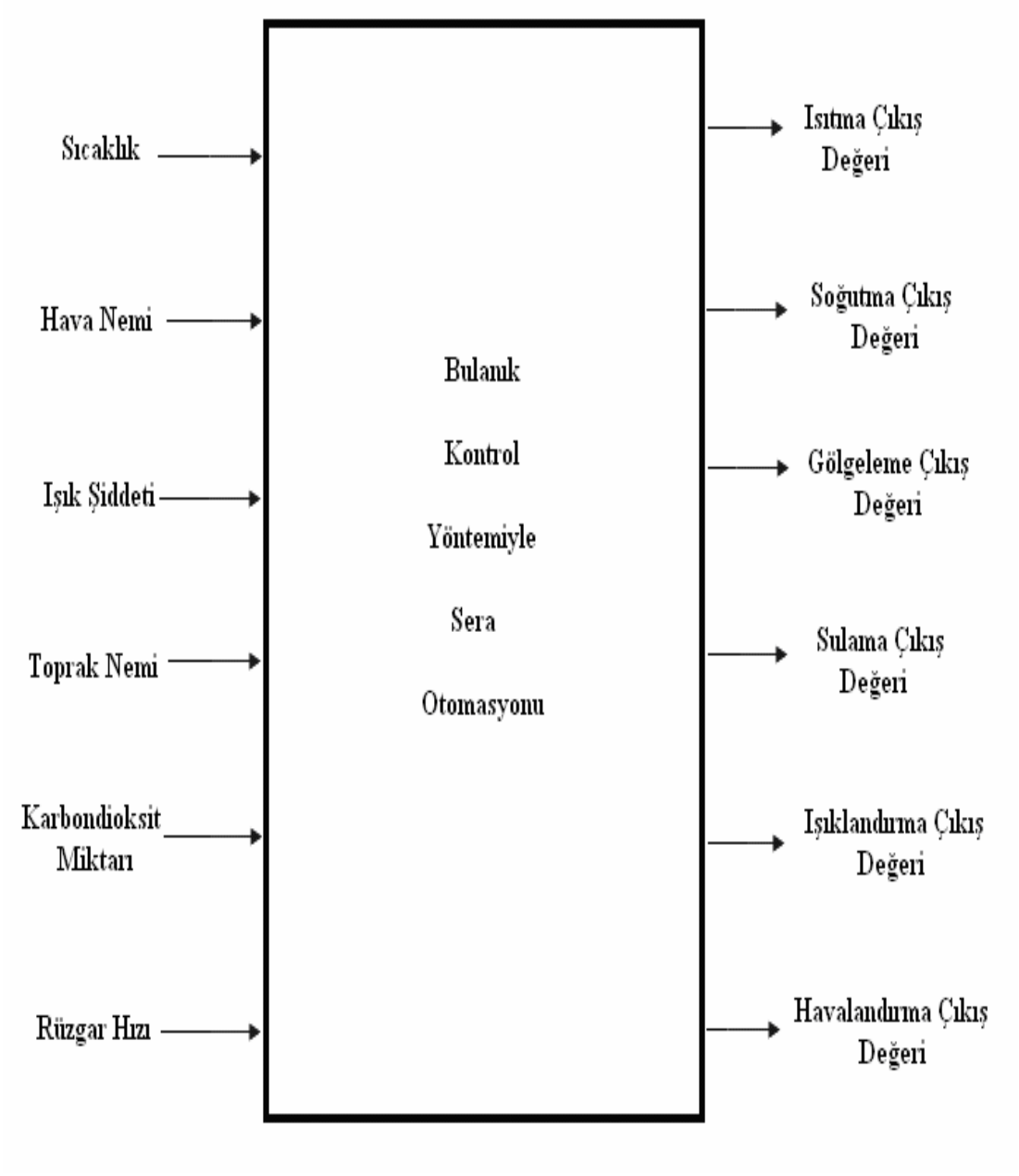
3.1. Bulanık Kontrolör Tasarımı

Serada BK sistemi tasarımı için, konunun uzmanıyla Antalya'nın Serik ve Mersin'in Anamur ilçesinde incelemeler yapılmıştır. Geleneksel kontrol sistemlerine göre, BK sistemi nasıl olumlu bir katkı sağlayacağı araştırılmıştır. Serada domates bitkisi yetiştirileceği ve seranın alanı 9 m^2 olduğu düşünülmüştür. Giriş birimlerinin değerleri ona göre alınmıştır.

Bitki yetiştirilen serada sıcaklık, hava nemi, ışık şiddeti, toprak nemi, karbondioksit miktarı, ve rüzgar hızı gibi önemli özelliklerin sürekli takip edilmesi gereken unsurlardır. Bitkinin iyi yetişmesi için bu unsurlar göz önüne alınmalıdır. Serada sıcaklık, hava nemi, ışık şiddeti, toprak nemi, karbondioksit miktarı ve rüzgar hızı istenilen değerinde tutulması için bilgisayar yardımıyla kontrol edilmesi lazımdır. Bunun için, geleneksel kontrol sistemlerinden farklı olan bulanık kontrol sistemi tasarlanmıştır (Şekil 3.1). Serada giriş parametreleri olarak sıcaklık değeri santigrat derece (ºC), hava nemi yüzde (%), ışık şiddeti (lux), toprak nemi yüzde (%), karbondioksit miktarı ppm (parts per million) ve rüzgar hızı (m/s) dır. Çıkış parametreleri ise ısıtma kilowatt (kw), soğutma (micron), gölgeleme santimetre (cm), sulama litre (lt), ışıklandırma (lux) ve havalandırma derece (º) olarak tasarlanmıştır.

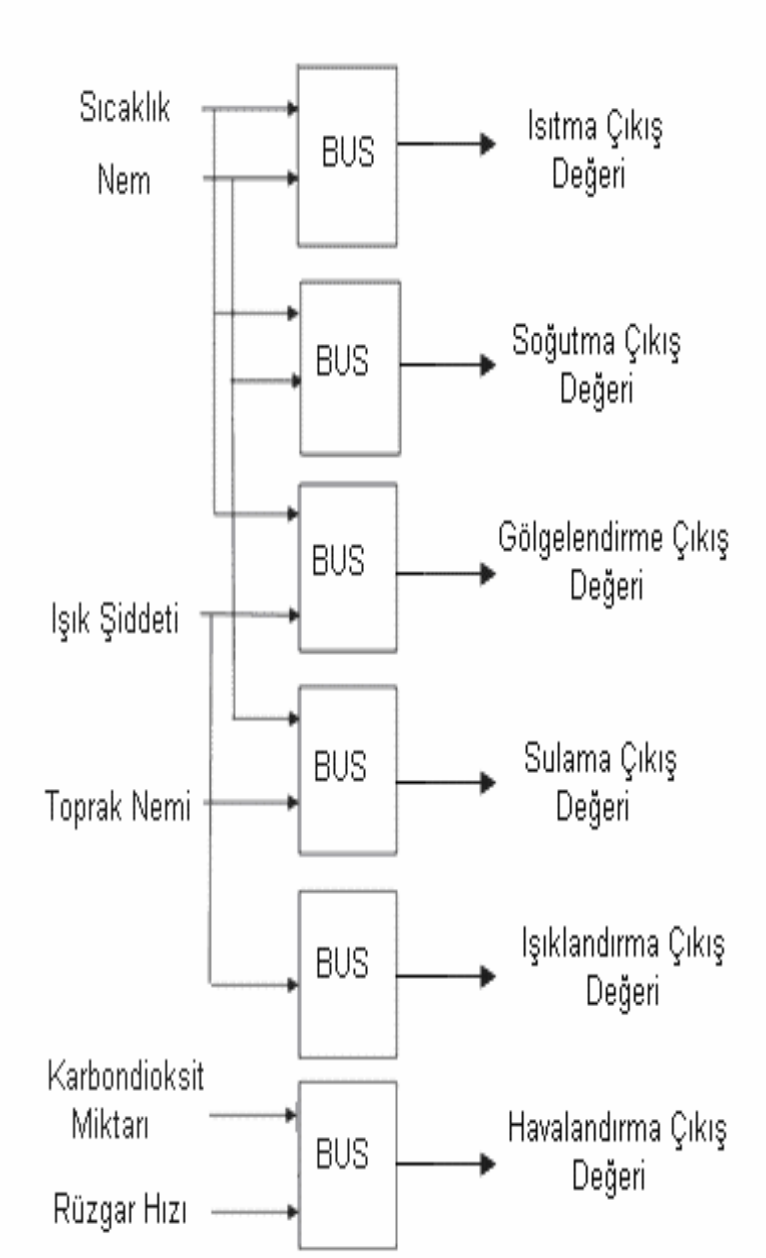
Uzman kişilerin yardımı ile tasarlanan sistemde giriş parametrelerin hangi çıkış parametrelere etki ettiği tespit edilmiştir. Bu durumda, sıcaklık ve hava nemi giriş parametresi ısıtma ve soğutmayı, sıcaklık ve ışık şiddeti giriş parametresi gölgelemeyi, hava nemi ve toprak nemi giriş parametresi sulamayı, ışık şiddeti giriş parametresi ışıklandırmayı ve karbondioksit miktarı ve rüzgar hızı giriş parametresi havalandırmayı etki ettiği görülmüştür. Bundan dolayı tasarlanacak olan BUS yapısının çok aşamalı veya hiyerarşik bir yapıda olacağı sonucuna varılmıştır.

Şekil 3.1'de tüm giriş ve çıkış parametreleri görülmektedir.



Şekil 3.1 Bulanık Kontrol Yöntemi İle Sera Otomasyonu.

Tüm durumlar göz önüne alınarak oluşturulmuş standartlar doğrultusunda serada sıcaklık, soğutma, gölgeleme, sulama, ışıklandırma ve havalandırma çıkış değerlerini harekete geçilerek bitkinin istenilen yetişme şartları oluşacaktır. Bitkiden daha fazla ürün alabilmek için geleneksel kontrol sistemlerinden farklı olan BUS tasarlanmıştır. Şekil 3.2'de tasarlanan BUS yapısı görülmektedir.



Şekil 3.2 Tasarlanan Bulanık Uzman Sistem Yapısı.

BK giriş ve çıkış değerleri literatürdeki veriler gibi [Haque, 1994] ve uzman görüşüne göre beş dilsel ifade ile tanımlanmıştır. Bunlar; Çok Düşük, Düşük, Orta, Yüksek, Çok Yüksek'tir.

Giriş parametreleri aşağıda belirtildiği gibi altı adet seçilmiş olup, belirlenen dilsel ifadeler Tablo 3.1'de verilmiştir.

Giriş parametresi olarak:

1. Sıcaklık değeri için evrensel küme [-10…50] ºC değerleri arasındadır.
2. Hava Nemi değeri için evrensel küme % [0…100] değerleri arasındadır.
3. Işık şiddeti değeri için evrensel küme [0…20000] lux değerleri arasındadır.
4. Toprak nemi değeri için evrensel küme % [0…100] değerleri arasındadır.
5. Karbondioksit miktarı değeri için evrensel küme [0…2000] ppm değerleri arasındadır.
6. Rüzgar hızı değeri için evrensel küme [0…10] m/s değerleri arasındadır.

Çıkış parametresi olarak:

1. Isıtma için evrensel küme [0…6] kilowatt (k/w) değerleri arasındadır.
2. Soğutma için evrensel küme [0…30] micron değerleri arasındadır.
3. Gölgeleme için evrensel küme [0…300] santimetre (cm) değerleri arasındadır.
4. Sulama değeri evrensel küme [0…50] litre (lt) değerleri arasındadır.
5. Işıklandırma için evrensel küme [0…20000] lux değerleri arasındadır.
6. Havalandırma için evrensel küme [0…60] derece (º) değerleri arasındadır.

Sistemin çalışma mantığı, sera içindeki sıcaklık ve hava nemi değerlerinin ısıtma ve soğutmayı, sıcaklık ve ışık şiddeti gölgelemeyi, hava nemi ve toprak nemi sulamayı, ışık şiddeti ışıklandırmayı, karbondioksit ve rüzgar hızı havalandırmayı aktif hale getirecektir. Yapılan tüm bulanık çıkarımlar için Mamdani bulanık modelinin kullanımı tercih edilmiştir. Bunun sebebi Mamdani bulanık modelinin hem basit hem de sistem yapısına uygun olmasıdır.

Sistem giriş/çıkış değişkenlerinin bulanık sözel değerleri ve değişkenlerin özellikleri Tablo 3.1 ve Tablo 3.2'de ayrıntılı olarak gösterilmektedir.

Tablo 3.1 Sistem Giriş/Çıkış Değişkenlerinin Bulanık Sözel Değişkenleri.

Değişken Adı	**Tipi**	**BULANIK SÖZEL DEĞİŞKENLER**
Sıcaklık	Giriş	Çok Düşük, Düşük, Orta, Yüksek, Çok Yüksek
Hava Nemi	Giriş	Çok Düşük, Düşük, Orta, Yüksek, Çok Yüksek
Işık Şiddeti	Giriş	Çok Düşük, Düşük, Orta, Yüksek, Çok Yüksek
Toprak Nemi	Giriş	Çok Düşük, Düşük, Orta, Yüksek, Çok Yüksek
Karbondioksit Miktarı	Giriş	Çok Düşük, Düşük, Orta, Yüksek, Çok Yüksek
Rüzgar Hızı	Giriş	Çok Düşük, Düşük, Orta, Yüksek, Çok Yüksek
Isıtma	Çıkış	Çok Düşük, Düşük, Orta, Yüksek, Çok Yüksek
Soğutma	Çıkış	Çok Düşük, Düşük, Orta, Yüksek, Çok Yüksek
Gölgeleme	Çıkış	Çok Düşük, Düşük, Orta, Yüksek, Çok Yüksek
Sulama	Çıkış	Çok Düşük, Düşük, Orta, Yüksek, Çok Yüksek
Işıklandırma	Çıkış	Çok Düşük, Düşük, Orta, Yüksek, Çok Yüksek
Havalandırma	Çıkış	Çok Düşük, Düşük, Orta, Yüksek, Çok Yüksek

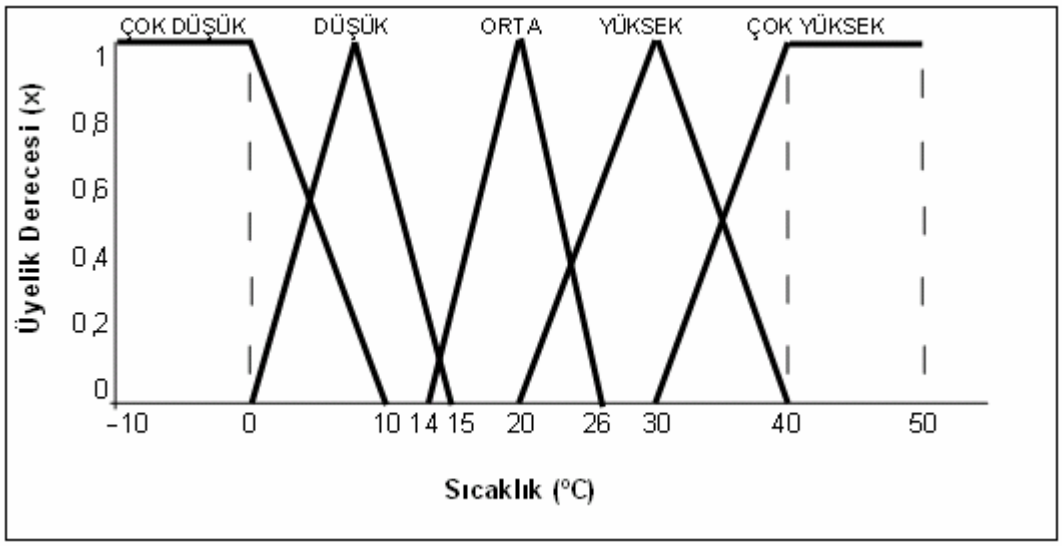
Tablo 3.2 Sistem Giriş/Çıkış Değişkenlerinin Özellikleri.

Değişkeni	**Min**	**Max**	**Birim**
Sıcaklık	-10	50	ºC
Hava Nemi	0	100	%
Işık Şiddeti	0	20000	Lux
Toprak Nemi	0	100	%
Karbondioksit Miktarı	0	2000	ppm
Rüzgar Hızı	0	10	m/s
Isıtma	0	6	k/w
Soğutma	0	30	Micron
Gölgeleme	0	300	Cm
Sulama	0	50	Lt
Işıklandırma	0	20000	Lux
Havalandırma	0	60	º

Kontrol için bütün giriş ve çıkış parametreler bulanıklaştırılmıştır. En uygun ve basit yöntemi üçgen bulanıklaştırma olduğu literatürden (Sarıtaş, 2005) görüldüğü için burada üçgen bulanıklaştırma seçilmiştir (Şekil 3.3, 3.4, 3.5, 3.6, 3.7, 3.8, 3.9, 3.9, 3.10, 3.11, 3.12, 3.13, 3.14).

Bulanık parametrelerin üyelik fonksiyonları üçgen alındığından dolayı onların matematiksel formülleri uygun şekilde elde edilmiştir. Burada dilsel değerler belirlenirken uzman kişinin yardımı alınmıştır. Domates bitkisi için genelde istenilen sıcaklık değeri 20 ºC'dir. Seranın kurulacağı yerdeki sıcaklık -10 ºC ile 50 ºC arasında değişebilmektedir. Giriş dilsel değerlerinin bulanıklık derecelerinin sağ ve sol taraflarının değerleri uzman kişinin yardımı ile belirlenmiştir. Örneğin "Orta" dilsel sıcaklık değerleri 14 ºC ile 26 ºC arasında değişecektir ve burada üyelik derecesinin en büyük değeri 20 ºC olacaktır, yani $\mu_{Orta}(20\ ºC) = 1$.

Sıcaklık (X) dilsel değeri için matematiksel ifadeler aşağıdaki gibidir (Şekil 3.3).



Şekil 3.3 Serada Sıcaklık Değeri İçin Sözel Değişkenlerinin Üyelik Fonksiyonları.

Domates bitkisi için serada sıcaklık değerleri aşağıdadır (Ödük ve Allahverdi, 2009).

Sıcaklık için bulanık ifadeler (Sıcaklık=X, Sıcaklık değeri=x);

$$\mu_{\text{Çok Düsük}}(x) = \begin{cases} -10 \le x \le 0 \;\; ;1 \\ 0 \le x \le 10 \;\; ;(10 - x)/10 \\ x > 10 \;\;\;\; ;0 \end{cases}$$

$$\mu_{\text{Düsük}}(x) = \begin{cases} x < 0 \text{ veya } x > 15 \;\; ;0 \\ 0 \le x \le 7.5 ; (x - 0)/7.5 \\ 7.5 \le x \le 15; (15 - x)/7.5 \end{cases}$$

$$\mu_{Orta}(x) = \begin{cases} x < 14 \text{ veya } x > 26 \;\; ;0 \\ 14 \le x \le 20 ; (x - 14)/6 \\ 20 \le x \le 26; (26 - x)/6 \end{cases}$$

$$\mu_{Yüksek}(x) = \begin{cases} x < 20 \text{ veya } x > 40 \;\; ;0 \\ 20 \le x \le 30 ; (x - 20)/10 \\ 30 \le x \le 40; (40 - x)/10 \end{cases}$$

$$\mu_{Çok\ \text{Yüksek}}(x) = \begin{cases} x < 30 \text{ veya } x > 50 \;\; ;0 \\ 30 \le x \le 40 ; (x - 30)/10 \\ 40 \le x \le 50; \; 1 \end{cases}$$

Bu değerlere göre bulunan sıcaklık bulanık kümeleri aşağıda verilmiştir.

$$\mu_{\text{Çok Düsük}}(x) = \{1/-10, \quad 1/-5, \quad 1/0, \quad 0.5/5, \quad 0/10\}$$

$$\mu_{\text{Düsük}}(x) = \{0/0, \quad 0.666/5, \quad 1/7.5, \quad 0.666/10, \quad 0/15\}$$

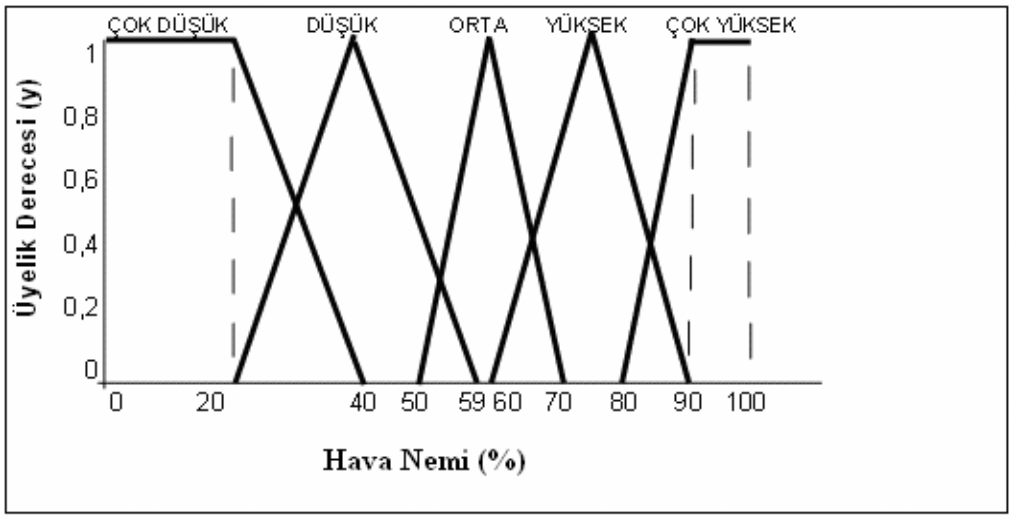
$$\mu_{\text{Orta}}(x) = \{0/14, \quad 0.5/17, \quad 1/20, \quad 0.5/23, \quad 0/26\}$$

$$\mu_{\text{Yüksek}}(x) = \{0/20, \quad 0.5/25, \quad 1/30, \quad 0.5/35, \quad 0/40\}$$

$$\mu_{\text{Çok Yüksek}}(x) = \{0/30, \quad 0.5/35, \quad 1/40, \quad 1/45, \quad 1/50\}$$

Domates bitkisi için genelde istenilen hava nemi değeri % 60'dır. Seradaki hava nemi % 0 ile % 100 arasında değişmektedir. Örneğin "Orta" dilsel hava nemi değerleri % 50 ile % 70 arasında değişecektir ve burada üyelik derecesinin en büyük değeri % 60 olacaktır, yani $\mu_{\text{Orta}}(\%60) = 1$.

Hava nemi (Y) dilsel değeri için matematiksel ifadeler aşağıdaki gibidir (Şekil 3.4).



Şekil 3.4 Serada Hava Nemi Değeri İçin Sözel Değişkenlerinin Üyelik Fonksiyonları.

Hava nemi için bulanık ifadeler (Hava nem=Y, Hava nemi değeri=y);

$$\mu_{Çok\ \text{Düsük}}(y)=\begin{cases}0\le y\le 20 & ;1\\ 20\le y\le 40 & ;(40-y)/20\\ y>40 & ;0\end{cases}$$

$$\mu_{\text{Düsük}}(y)=\begin{cases}y<0 \text{ veya } y>59 & ;0\\ 20\le y\le 39.5 & ;(y-20)/19.5\\ 39.5\le y\le 59 & ;(59-y)/19.5\end{cases}$$

$$\mu_{Orta}(y)=\begin{cases}y<50 \text{ veya } y>70 & ;0\\ 50\le y\le 60 & ;(y-50)/10\\ 60\le y\le 70 & ;(70-y)/10\end{cases}$$

$$\mu_{Yüksek}(y)=\begin{cases}y<60 \text{ veya } y>90 & ;0\\ 60\le y\le 75 & ;(y-60)/15\\ 75\le y\le 90 & ;(90-y)/15\end{cases}$$

$$\mu_{\text{Çok Yüksek}}(y)=\begin{cases}y<80 \text{ veya } y>100 & ;0\\ 80\le y\le 90 & ;(y-80)/10\\ 90\le y\le 100 & ;1\end{cases}$$

Bu değerlere göre bulunan hava nemi bulanık kümeleri aşağıda verilmiştir.

$$\mu_{\text{Çok Düsük}}(y) = \{1/0,\quad 1/15,\quad 0.5/30,\quad 0.25/35,\quad 0/40\}$$

$$\mu_{\text{Düsük}}(y) = \{0/20,\quad 0.256/25,\quad 1/39.5,\quad 0.461/50,\quad 0/59\}$$

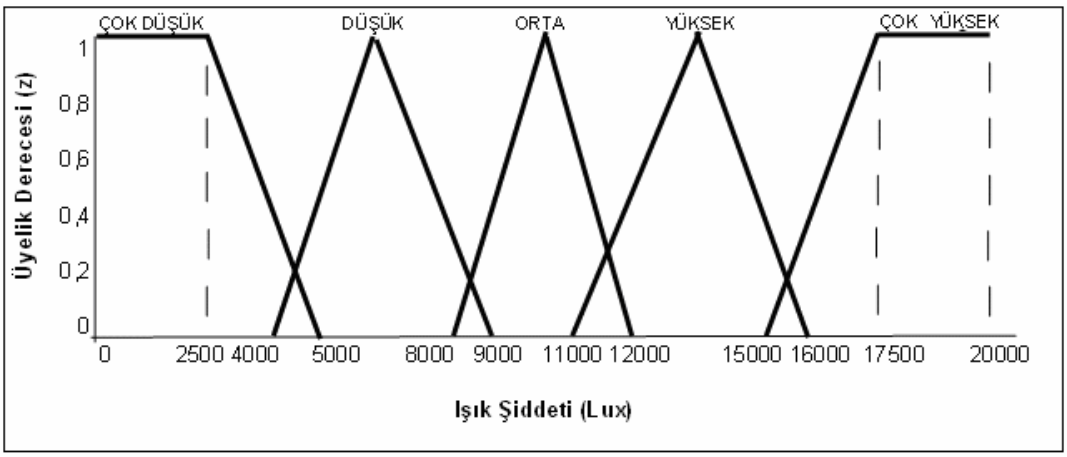
$$\mu_{\text{Orta}}(y) = \{0/50,\quad 0.5/55,\quad 1/60,\quad 0.5/65,\quad 0/70\}$$

$$\mu_{\text{Yüksek}}(y) = \{0/60,\quad 0.66/70,\quad 1/30,\quad 0.33/85,\quad 0/90\}$$

$$\mu_{\text{Çok Yüksek}}(y) = \{0/80,\quad 0.5/85,\quad 1/90,\quad 1/95,\quad 1/100\}$$

Domates bitkisi için genelde istenilen ışık şiddeti 10000 lux'dür. Seradaki ışık şiddeti 0 lux ile 20000 lux arasında değişebilmektedir. Örneğin "Orta" dilsel ışık şiddeti değerleri 8000 lux ile 12000 lux arasında değişecektir ve burada üyelik derecesinin en büyük değeri 10000 lux olacaktır, yani $\mu_{\text{Orta}}(10000\ \text{lux}) = 1$.

Işık şiddeti (Z) dilsel değeri için matematiksel ifadeler aşağıdaki gibidir (Şekil 3.5).



Şekil 3.5 Serada Işık Şiddeti Değeri İçin Sözel Değişkenlerinin Üyelik Fonksiyonları.

Işık şiddeti için bulanık ifadeler (Işık Şiddeti=Z, Işık Şiddeti değeri=z);

$$\mu_{\text{Çok Düsük}}(z) = \begin{cases} 0 \le z \le 2500 & ;1 \\ 2500 \le z \le 5000 & ;(5000 - z)/2500 \\ z > 5000 & ;0 \end{cases}$$

$$\mu_{\text{Düsük}}(z) = \begin{cases} z < 4000 \text{ veya } z > 9000 \;\; ; 0 \\ 4000 \le z \le 6500 \,; (z - 4000)/2500 \\ 6500 \le z \le 9000 \,; (9000 - z)/2500 \end{cases}$$

$$\mu_{\text{Orta}}(z) = \begin{cases} z < 8000 \text{ veya } z > 12000 \;\; ; 0 \\ 8000 \le z \le 10000 \,; (z - 8000)/2000 \\ 10000 \le z \le 12000 \,; (12000 - z)/2000 \end{cases}$$

$$\mu_{\textit{Yüksek}}(z) = \begin{cases} z < 11000 \text{ veya } z > 16000 \;\; ; 0 \\ 11000 \le z \le 13500 \,; (z - 11000)/2500 \\ 13500 \le z \le 16000 \,; (16000 - z)/2500 \end{cases}$$

$$\mu_{\text{Çok Yüksek}}(z) = \begin{cases} z < 15000 \text{ veya } z > 20000 \;\; ; 0 \\ 15000 \le z \le 13500 \,; (z - 15000)/2500 \\ 17500 \le z \le 20000; \; 1 \end{cases}$$

Bu değerlere göre bulunan ışık şiddeti bulanık kümeleri aşağıda verilmiştir.

$$\mu_{\text{Çok Düsük}}(z) = \{1/0, \quad 1/2000, \quad 0.8/3000, \quad 0.4/4000, \quad 0/5000\}$$

$$\mu_{\text{Düsük}}(z) = \{0/4000, \quad 0.4/5000, \quad 1/6500, \quad 0.8/7000, \quad 0/9000\}$$

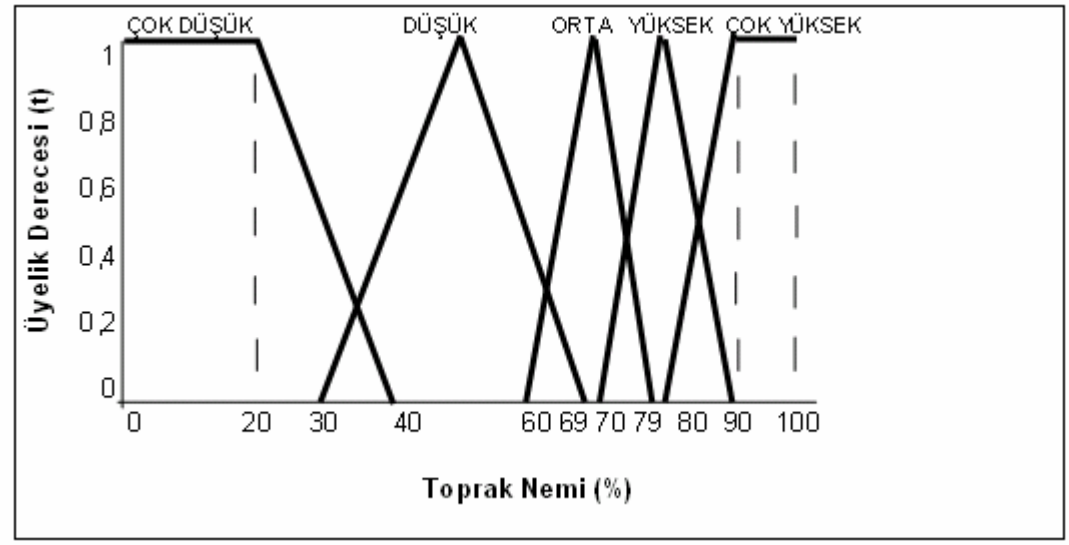
$$\mu_{\text{Orta}}(z) = \{0/8000, \quad 0.5/9000, \quad 1/10000, \quad 0.5/11000, \quad 0/12000\}$$

$$\mu_{\text{Yüksek}}(z) = \{0/11000, \quad 0.4/12000, \quad 1/13500, \quad 0.8/14000, \quad 0/16000\}$$

$$\mu_{\text{Çok Yüksek}}(z) = \{0/15000, \quad 0.4/16000, \quad 1/17500, \quad 1/19000, \quad 1/20000\}$$

Domates bitkisi için genelde istenilen toprak nemi değeri % 69 ile % 70 arasındadır. Seradaki toprak nemi miktarı % 0 ile % 100 arasında değişecektir. Örneğin "Orta" dilsel toprak nemi değerleri % 60 ile % 79 arasında değişecektir ve burada üyelik derecesinin en büyük değeri % 69.5 olacaktır, yani $\mu_{\text{Orta}}(\%\ 69.5) = 1$.

Toprak nemi (T) dilsel değeri için matematiksel ifadeler aşağıdaki gibidir (Şekil 3.6).



Şekil 3.6 Serada Toprak Nemi Değeri İçin Sözel Değişkenlerinin Üyelik Fonksiyonları.

Toprak nemi için bulanık ifadeler (Toprak nemi=T, Toprak nemi değeri=t);

$$\mu_{\text{Çok Düsük}}(t) = \begin{cases} 0 \le t \le 20 \;\; ;1 \\ 20 \le t \le 40 \;\; ;(40 - t)/20 \\ t > 40 \;\;\;\; ;0 \end{cases}$$

$$\mu_{\text{Düsük}}(t) = \begin{cases} t < 30 \text{ veya } t > 69 \;\; ;0 \\ 30 \le t \le 49.5 \,; (t - 30)/19.5 \\ 49.5 \le t \le 69 \,; (69 - t)/19.5 \end{cases}$$

$$\mu_{Orta}(t) = \begin{cases} t < 60 \text{ veya t} > 79 \;\; ;0 \\ 60 \le t \le 69.5 \,; (t - 60)/9.5 \\ 69.5 \le t \le 79 \,; (79 - t)/9.5 \end{cases}$$

$$\mu_{Yüksek}(t) = \begin{cases} t < 70 \text{ veya t} > 90 \;\; ;0 \\ 70 \le t \le 80 \,; (t - 70)/10 \\ 80 \le t \le 90 \,; (90 - t)/10 \end{cases}$$

$$\mu_{\text{Çok Yüksek}}(t) = \begin{cases} t < 80 \text{ veya t} > 90 \;\; ;0 \\ 80 \le t \le 90 \,; (t - 80)/10 \\ 90 \le t \le 100; \; 1 \end{cases}$$

Bu değerlere göre bulunan toprak nemi bulanık kümeleri aşağıda verilmiştir.

$$\mu_{\text{Çok Düsük}}(t) = \{1/0,\quad 1/10,\quad 1/20,\quad 0.5/30,\quad 0/40\}$$

$$\mu_{\text{Düsük}}(t) = \{0/30,\quad 0.512/40,\quad 1/49.5,\quad 0.461/60,\quad 0/69\}$$

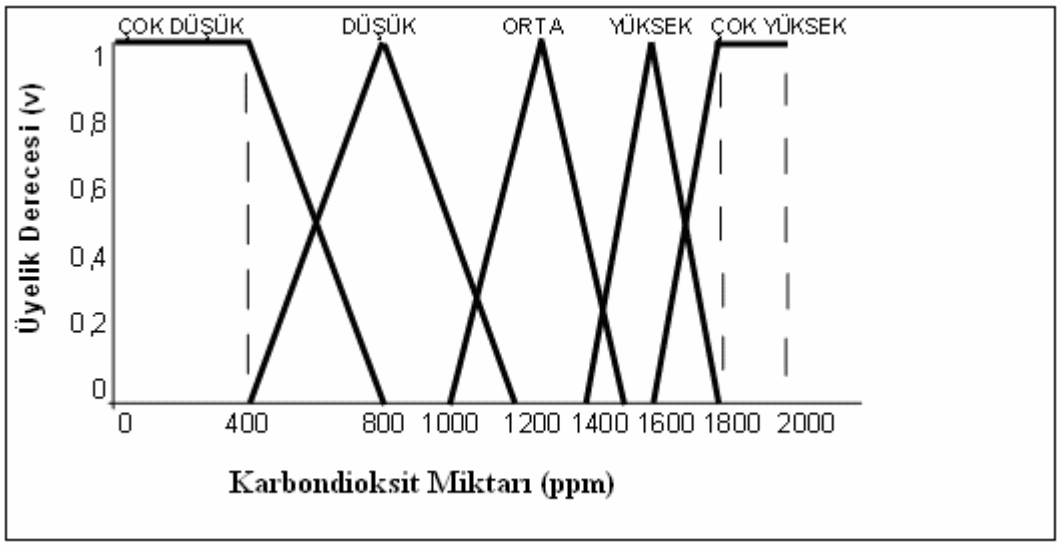
$$\mu_{\text{Orta}}(t) = \{0/60,\quad 0.526/65,\quad 1/69.5,\quad 0.421/75,\quad 0/79\}$$

$$\mu_{\text{Yüksek}}(t) = \{0/70,\quad 0.5/75,\quad 1/80,\quad 0.5/85,\quad 0/90\}$$

$$\mu_{\text{Çok Yüksek}}(t) = \{0/80,\quad 0.5/85,\quad 1/90,\quad 1/95,\quad 1/100\}$$

Domates bitkisi için genelde istenilen karbondioksit miktarı değeri 1250 ppm'dir. Seradaki karbondioksit miktarı 0 ppm ile 2000 ppm arasında değişebilmektedir. Örneğin "Orta" dilsel karbondioksit değerleri 1000 ppm ile 1500 ppm arasında değişecektir ve burada üyelik derecesinin en büyük değeri 1250 ppm olacaktır, yani $\mu_{\text{Orta}}(1250\ \text{ppm}) = 1$.

Karbondioksit miktarı (V) dilsel değeri için matematiksel ifadeler aşağıdaki gibidir (Şekil 3.7).



Şekil 3.7 Serada Karbondioksit Miktarı Değeri İçin Sözel Değişkenlerinin Üyelik Fonksiyonları.

Karbondioksit miktarı için bulanık ifadeler (Karbondioksit miktarı=V, Karbondioksit miktarı Değeri=v);

$$\mu_{\text{Çok Düsük}}(v)=\begin{cases}0\le v\le 400 & ;1\\ 400\le v\le 800 & ;(800-\text{v})/400\\ v>800 & ;0\end{cases}$$

$$\mu_{\text{Düsük}}(v)=\begin{cases}v<400 \text{ veya } \text{v}>1200 & ;0\\ 400\le v\le 800 & ;(v-400)/400\\ 800\le v\le 1200 & ;(1200-v)/400\end{cases}$$

$$\mu_{Orta}(v)=\begin{cases}v<1000 \text{ veya } \text{v}>1500 & ;0\\ 1000\le v\le 1250 & ;(v-1000)/250\\ 1250\le v\le 1500 & ;(1500-v)/250\end{cases}$$

$$\mu_{Yüksek}(v)=\begin{cases}v<1400 \text{ veya } \text{v}>1800 & ;0\\ 1400\le v\le 1600 & ;(v-1400)/200\\ 1600\le v\le 1800 & ;(1800-v)/200\end{cases}$$

$$\mu_{\text{Çok Yüksek}}(v)=\begin{cases}v<1600 \text{ veya } v>2000 & ;0\\ 1600\le v\le 1800 & ;(v-1600)/200\\ 18000\le v\le 2000 & ;1\end{cases}$$

Bu değerlere göre bulunan karbondioksit miktarı kümeleri aşağıda verilmiştir.

$$\mu_{\text{Çok Düsük}}(v)=\{1/0,\quad 1/10,\quad 1/200,\quad 0.5/600,\quad 0/800\}$$

$$\mu_{\text{Düsük}}(v)=\{0/400,\quad 0.5/600,\quad 1/800,\quad 0.5/1000,\quad 0/1200\}$$

$$\mu_{\text{Orta}}(v)=\{0/1000,\quad 0.8/1200,\quad 1/1250,\quad 0.4/1400,\quad 0/1500\}$$

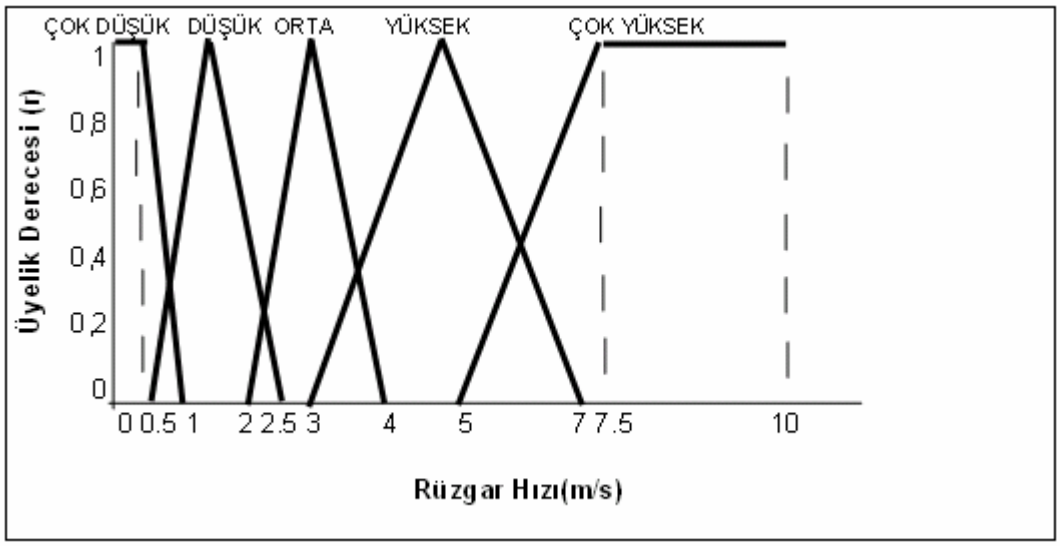
$$\mu_{\text{Yüksek}}(v)=\{0/1400,\quad 0.5/1500,\quad 1/1600,\quad 0.5/1700,\quad 0/1800\}$$

$$\mu_{\text{Çok Yüksek}}(v)=\{0/1600,\quad 0.5/1700,\quad 1/1800,\quad 1/1900,\quad 1/2000\}$$

Domates bitkisi için genelde istenilen rüzgar hızı değeri 3 m/s'dir. Seradaki rüzgar hızı 0 m/s ile 10 m/s arasında değişebilmektedir. Örneğin "Orta" dilsel rüzgar

hızı değerleri 2 m/s ile 4 m/s arasında değişecektir ve burada üyelik derecesinin en büyük değeri 3 m/s olacaktır, yani $\mu_{Orta}(3\ m/s) = 1$.

Rüzgar hızı (R) dilsel değeri için matematiksel ifadeler aşağıdaki gibidir (Şekil 3.8).



Şekil 3.8 Serada Rüzgar Hızı Değeri İçin Sözel Değişkenlerinin Üyelik Fonksiyonları.

Rüzgar hızı için bulanık ifadeler (Rüzgar hızı=R, Rüzgar hızı değeri=r);

$$\mu_{\text{Çok Düsük}}(r) = \begin{cases} 0 \le r \le 0.5 & ;1 \\ 0.5 \le r \le 1 & ;(1-r)/0.5 \\ r > 1 & ;0 \end{cases}$$

$$\mu_{\text{Düsük}}(r) = \begin{cases} r < 0.5 \text{ veya } r > 2.5 & ;0 \\ 0.5 \le r \le 1.5 & ;(r-0.5)/1 \\ 1.5 \le r \le 2.5 & ;(2.5-r)/1 \end{cases}$$

$$\mu_{Orta}(r) = \begin{cases} r < 2 \text{ veya } r > 4 & ;0 \\ 2 \le r \le 3 & ;(r-2)/1 \\ 3 \le r \le 4 & ;(4-r)/1 \end{cases}$$

$$\mu_{Yüksek}(r) = \begin{cases} r < 3 \text{ veya } r > 7 & ;0 \\ 3 \le r \le 5 & ;(r-3)/2 \\ 5 \le r \le 7 & ;(7-r)/2 \end{cases}$$

$$\mu_{\text{Çok Yüksek}}(r) = \begin{cases} r < 5 \text{ veya } r > 10 & ;0 \\ 5 \le r \le 7.5 & ;(r-5)/2.5 \\ 7.5 \le r \le 10 & ;1 \end{cases}$$

Bu değerlere göre bulunan rüzgar hızı kümeleri aşağıda verilmiştir.

$$\mu_{\text{Çok Düsük}}(r) = \{1/0,\quad 1/0.25,\quad 1/0.5,\quad 0.5/0.75,\quad 0/1\}$$

$$\mu_{\text{Düsük}}(r) = \{0/0.5,\quad 0.5/1,\quad 1/1.5,\quad 0.5/2,\quad 0/2.5\}$$

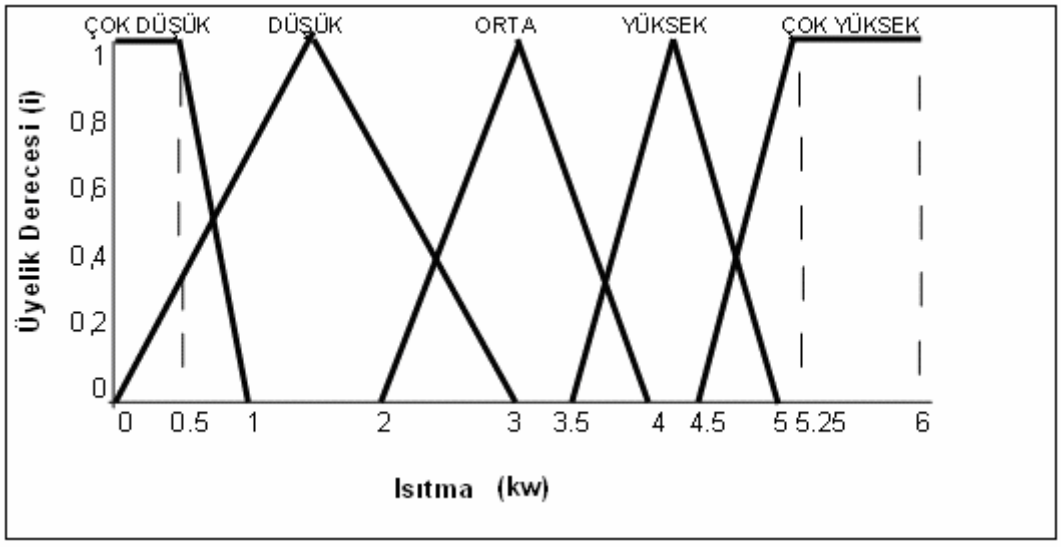
$$\mu_{\text{Orta}}(r) = \{0/2,\quad 0.25/2.25,\quad 1/3,\quad 0.75/1400,\quad 0/4\}$$

$$\mu_{\text{Yüksek}}(r) = \{0/3,\quad 0.5/4,\quad 1/5,\quad 0.5/6,\quad 0/7\}$$

$$\mu_{\text{Çok Yüksek}}(r) = \{0/5,\quad 0.4/6,\quad 0.8/7,\quad 1/7.5,\quad 1/10\}$$

Sera 9 m^2 olduğu için çıkış parametreleri bu değerlere göre uzman yardımıyla alınmıştır. Domates bitkisi için genelde istenilen ısıtma değeri 3 kw'dır. Seradaki ısıtma değeri 0 kw ile 6 kw arasında değişebilmektedir. Çıkış değerlerinin bulanıklık dereceleri sağ ve sol taraflarının değerleri uzman kişinin yardımı ile belirlenmiştir. Örneğin "Orta" dilsel ısıtma çıkış değerleri 2 kw ile 4 kw arasında değişecektir ve burada üyelik derecesinin en büyük değeri 3 kw olacaktır, yani $\mu_{\text{Orta}}(3\text{ kw}) = 1$.

Isıtma (İ) dilsel değeri için matematiksel ifadeler aşağıdaki gibidir (Şekil 3.9).



Şekil 3.9 Serada Isıtma Çıkış Değeri İçin Sözel Değişkenlerinin Üyelik Fonksiyonları.

Isıtma çıkış değeri için bulanık ifadeler (Isıtma =İ, Isıtma çıkış değeri=i);

$$\mu_{Çok\ \text{Düsük}}(i) = \begin{cases} 0 \le i \le 0.5 & ;1 \\ 0.5 \le i \le 1 & ;(1-i)/0.5 \\ i > 1 & ;0 \end{cases}$$

$$\mu_{\text{Düsük}}(i) = \begin{cases} i < 0 \text{ veya } i > 3 & ;0 \\ 0 \le i \le 1.5 & ;(i-0)/1.5 \\ 1.5 \le i \le 3 & ;(3-i)/1.5 \end{cases}$$

$$\mu_{Orta}(i) = \begin{cases} i < 2 \text{ veya } i > 4 & ;0 \\ 2 \le i \le 3 & ;(i-2)/1 \\ 3 \le i \le 4 & ;(4-i)/1 \end{cases}$$

$$\mu_{Yüksek}(i) = \begin{cases} i < 3.5 \text{ veya } i > 5 & ;0 \\ 3.5 \le i \le 4.25 & ;(i-3.5)/0.75 \\ 4.25 \le i \le 5 & ;(5-i)/0.75 \end{cases}$$

$$\mu_{Çok\ Yüksek}(i) = \begin{cases} i < 4.5 \text{ veya } i > 6 & ;0 \\ 4.5 \le i \le 5.25 & ;(i-4.5)/0.75 \\ 5.25 \le i \le 6 & ;1 \end{cases}$$

Bu değerlere göre bulunan ısıtma çıkış değeri kümeleri aşağıda verilmiştir.

$$\mu_{\text{Çok Düsük}}(i) = \{1/0,\quad 1/0.25,\quad 1/0.5,\quad 0.5/0.75,\quad 0/1\}$$

$$\mu_{\text{Düsük}}(i) = \{0/0,\quad 0.667/1,\quad 1/1.5,\quad 0.667/2,\quad 0/3\}$$

$$\mu_{\text{Orta}}(i) = \{0/2,\quad 0.5/2.5,\quad 1/3,\quad 0.5/3.5,\quad 0/4\}$$

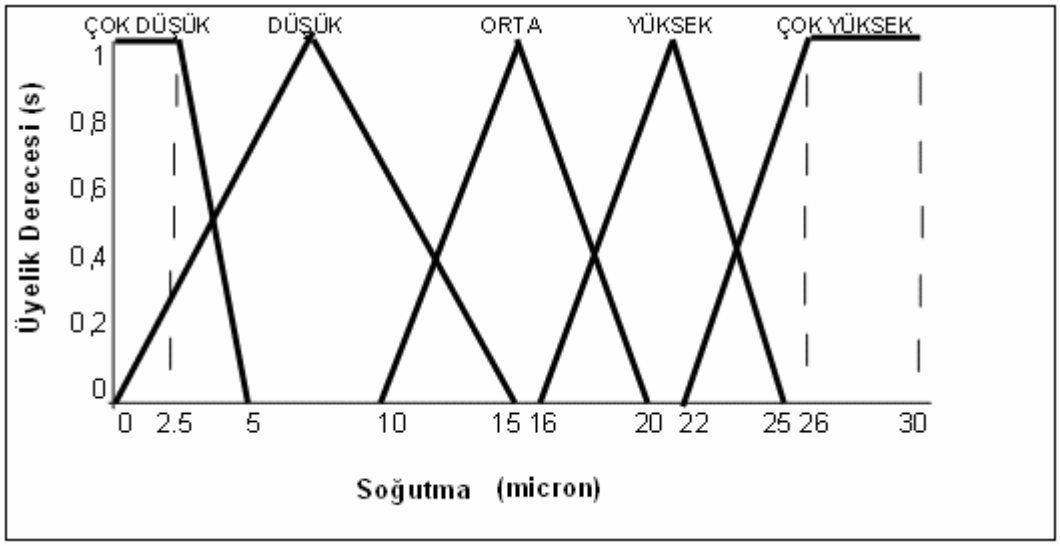
$$\mu_{\text{Yüksek}}(i) = \{0/3.5,\quad 0.667/4,\quad 1/4.25,\quad 0.667/4.5,\quad 0/5\}$$

$$\mu_{\text{Çok Yüksek}}(i) = \{0/4.5,\quad 0.667/5,\quad 1/5.25,\quad 1/5.5,\quad 1/6\}$$

Domates bitkisi için istenilen soğutma değeri 15 micron'dur. Burada micron bir saniyede püskürtülen sıvı miktarı kalınlığıdır. Seradaki soğutma değeri 0 micron

ile 30 micron arasında değişecektir. Örneğin "Orta" dilsel soğutma çıkış değerleri 10 micron ile 20 micron arasında değişecektir ve burada üyelik derecesinin en büyük değeri 15 micron olacaktır, yani $\mu_{\text{Orta}}(15 \text{ micron}) = 1$.

Soğutma (S) dilsel değeri için matematiksel ifadeler aşağıdaki gibidir (Şekil 3.10).



Şekil 3.10 Serada Soğutma Çıkış Değeri İçin Sözel Değişkenlerinin Üyelik Fonksiyonları.

Soğutma çıkış değeri için bulanık ifadeler (Soğutma =S, Soğutma çıkış değeri=s);

$$\mu_{Çok\ \text{Düsük}}(s) = \begin{cases} 0 \le s \le 2.5 \ ;1 \\ 2.5 \le s \le 5 \ ;(5 - s)/2.5 \\ s > 5 \ ;0 \end{cases}$$

$$\mu_{\text{Düsük}}(s) = \begin{cases} s < 0 \text{ veya } s > 15 \ ;0 \\ 0 \le s \le 7.5 ; (s - 0)/7.5 \\ 7.5 \le s \le 15; (15 - s)/7.5 \end{cases}$$

$$\mu_{Orta}(s) = \begin{cases} s < 10 \text{ veya } s > 20 \;\; ; 0 \\ 10 \le s \le 15 \, ; (s-10)/5 \\ 15 \le s \le 20; (20-s)/5 \end{cases}$$

$$\mu_{Yüksek}(s) = \begin{cases} s < 16 \text{ veya } s > 25 \;\; ; 0 \\ 16 \le s \le 20.5 \, ; (s-16)/4.5 \\ 20.5 \le s \le 25; (25-s)/4.5 \end{cases}$$

$$\mu_{Çok\ Yüksek}(s) = \begin{cases} s < 22 \text{ veya } s > 30 \;\; ; 0 \\ 22 \le s \le 26 \, ; (s-22)/4 \\ 26 \le s \le 30; \; 1 \end{cases}$$

Bu değerlere göre bulunan soğutma çıkış değeri kümeleri aşağıda verilmiştir.

$$\mu_{\text{Çok Düsük}}(s) = \{1/0, \quad 1/1.5, \quad 1/2.5, \quad 0.4/4, \quad 0/5\}$$

$$\mu_{\text{Düsük}}(s) = \{0/0, \quad 0.667/5, \quad 1/7.5, \quad 0.667/10, \quad 0/15\}$$

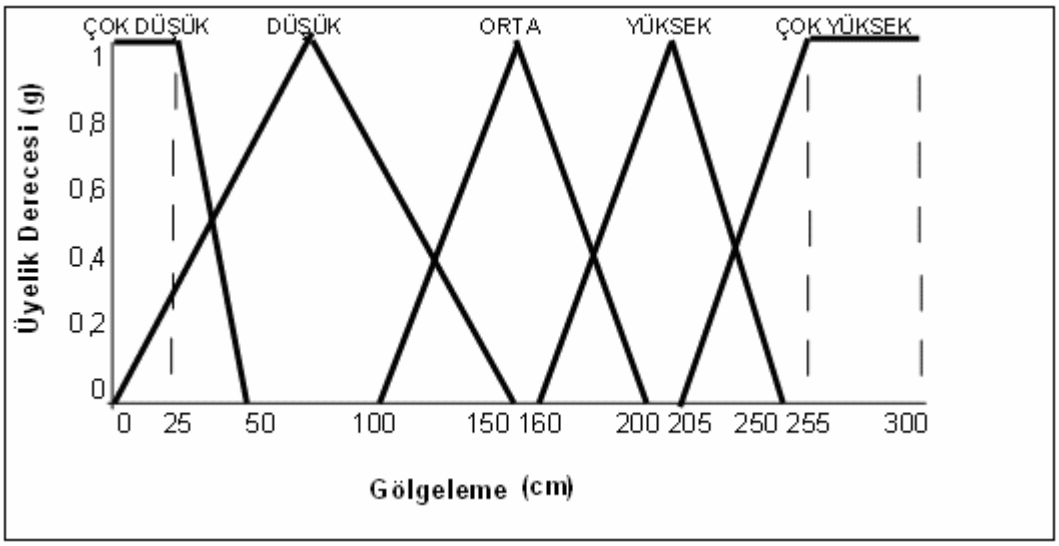
$$\mu_{\text{Orta}}(s) = \{0/10, \quad 0.5/12.5, \quad 1/15, \quad 0.5/17.5, \quad 0/20\}$$

$$\mu_{\text{Yüksek}}(s) = \{0/16, \quad 0.667/19, \quad 1/20.5, \quad 0.444/23, \quad 0/25\}$$

$$\mu_{\text{Çok Yüksek}}(s) = \{0/22, \quad 0.5/24, \quad 1/26, \quad 1/28, \quad 1/30\}$$

Domates bitkisi için genelde istenilen gölgeleme değeri 150 cm'dir. Gölgeleme yapmak için perde kullanılarak güneş ışıkları kesilecektir. Perde uzunluğu 3 metredir. Seradaki gölgeleme değeri 0 cm ile 300 cm arasında değişebilmektedir. Örneğin "Orta" dilsel gölgeleme çıkış değerleri 100 cm ile 200 cm arasında değişecektir ve burada üyelik derecesinin en büyük değeri 150 cm olacaktır, yani $\mu_{\text{Orta}}(150\text{ cm}) = 1$.

Gölgeleme (G) dilsel değeri için matematiksel ifadeler aşağıdaki gibidir (Şekil 3.11).



Şekil 3.11 Serada Gölgeleme Çıkış Değeri İçin Sözel Değişkenlerinin Üyelik Fonksiyonları.

Gölgeleme çıkış değeri için bulanık ifadeler (Gölgeleme=G, Gölgeleme çıkış değeri=g);

$$\mu_{Çok\ \text{Düsük}}(g)=\begin{cases}0\le g\le 25 & ;1\\ 25\le g\le 50 & ;(50-g)/25\\ g>50 & ;0\end{cases}$$

$$\mu_{\text{Düsük}}(g)=\begin{cases}g<0 \text{ veya } g>150 & ;0\\ 0\le g\le 75 & ;(g-0)/75\\ 75\le g\le 150 & ;(150-g)/75\end{cases}$$

$$\mu_{Orta}(g)=\begin{cases}g<100 \text{ veya } g>200 & ;0\\ 100\le g\le 150 & ;(g-100)/50\\ 150\le g\le 200 & ;(200-g)/50\end{cases}$$

$$\mu_{Yüksek}(g)=\begin{cases}g<160 \text{ veya } g>250 & ;0\\ 160\le g\le 205 & ;(g-160)/45\\ 205\le g\le 250 & ;(250-g)/45\end{cases}$$

$$\mu_{Çok\ Yüksek}(g)=\begin{cases}g<210 \text{ veya } g>300 & ;0\\ 210\le g\le 255 & ;(g-210)/45\\ 255\le g\le 300 & ;1\end{cases}$$

Bu değerlere göre bulunan gölgeleme çıkış değeri kümeleri aşağıda verilmiştir.

$$\mu_{\text{Çok Düsük}}(g) = \{1/0,\quad 1/12.5,\quad 1/25,\quad 0.4/40,\quad 0/50\}$$

$$\mu_{\text{Düsük}}(g) = \{0/0,\quad 0.667/50,\quad 1/75,\quad 0.667/100,\quad 0/150\}$$

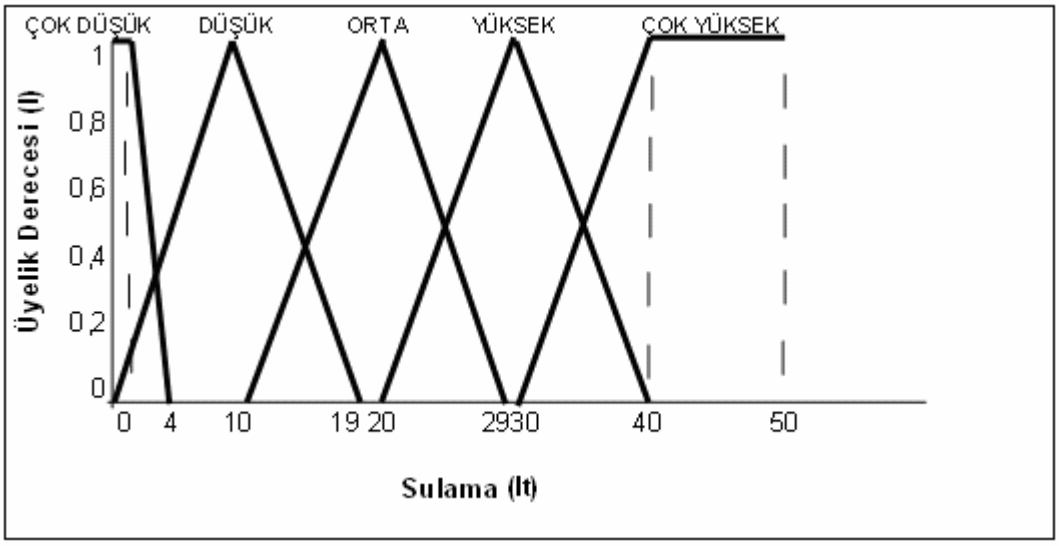
$$\mu_{\text{Orta}}(g) = \{0/100,\quad 0.5/125,\quad 1/150,\quad 0.5/175,\quad 0/200\}$$

$$\mu_{\text{Yüksek}}(g) = \{0/160,\quad 0.667/190,\quad 1/205,\quad 0.444/230,\quad 0/250\}$$

$$\mu_{\text{Çok Yüksek}}(g) = \{0/210,\quad 0.667/240,\quad 1/255,\quad 1/280,\quad 1/300\}$$

Domates bitkisi için genelde istenilen sulama çıkış değeri 14 lt ile 15 lt arasındadır. Seradaki sulama çıkış değeri 0 lt ile 50 lt arasında değişebilmektedir. Örneğin "Orta" dilsel sulama çıkış değerleri 10 lt ile 29 lt arasında değişecektir ve burada üyelik derecesinin en büyük değeri 14.5 lt olacaktır, yani $\mu_{\text{Orta}}(14.5\text{ lt}) = 1$.

Sulama (L) dilsel değeri için matematiksel ifadeler aşağıdaki gibidir (Şekil 3.12).



Şekil 3.12 Serada Sulama Çıkış Değeri İçin Sözel Değişkenlerinin Üyelik Fonksiyonları.

Sulama çıkış değeri için bulanık ifadeler (Sulama =L, Sulama çıkış değeri=l);

$$\mu_{Çok\ \text{Düsük}}(l) = \begin{cases} 0 \le l \le 2 & ;1 \\ 2 \le l \le 4 & ;(4-l)/2 \\ l > 4 & ;0 \end{cases}$$

$$\mu_{\text{Düsük}}(l) = \begin{cases} l < 0 \text{ veya } l > 19 & ;0 \\ 0 \le l \le 9.5 & ;(l-0)/9.5 \\ 9.5 \le l \le 19 & ;(19-l)/9.5 \end{cases}$$

$$\mu_{Orta}(l) = \begin{cases} l < 10 \text{ veya } 1 > 29 & ;0 \\ 10 \le l \le 19.5 & ;(l-10)/9.5 \\ 19.5 \le l \le 29 & ;(29-l)/9.5 \end{cases}$$

$$\mu_{Yüksek}(l) = \begin{cases} l < 20 \text{ veya } l > 40 & ;0 \\ 20 \le l \le 30 & ;(l-20)/10 \\ 30 \le l \le 40 & ;(40-l)/10 \end{cases}$$

$$\mu_{Çok\ Yüksek}(l) = \begin{cases} l < 30 \text{ veya } l > 50 & ;0 \\ 30 \le l \le 40 & ;(l-30)/10 \\ 40 \le l \le 50 & ;1 \end{cases}$$

Bu değerlere göre bulunan sulama çıkış değeri kümeleri aşağıda verilmiştir.

$$\mu_{\text{Çok Düsük}}(l) = \{1/0,\quad 1/1.5,\quad 1/2,\quad 0.25/3.5,\quad 0/4\}$$

$$\mu_{\text{Düsük}}(l) = \{0/0,\quad 0.526/5,\quad 1/9.5,\quad 0.421/15,\quad 0/19\}$$

$$\mu_{\text{Orta}}(l) = \{0/10,\quad 0.526/15,\quad 1/19.5,\quad 0.421/25,\quad 0/29\}$$

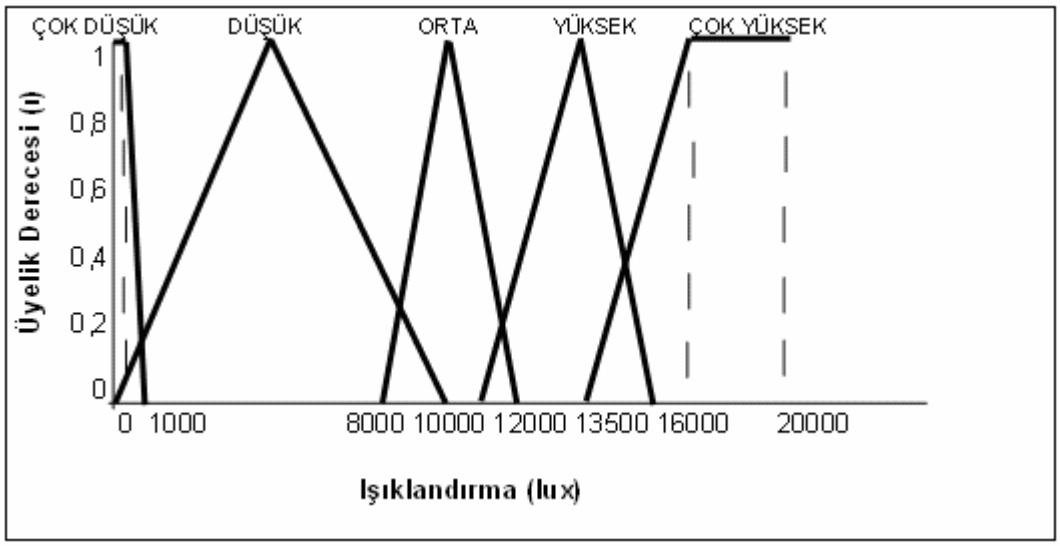
$$\mu_{\text{Yüksek}}(l) = \{0/20,\quad 0.5/25,\quad 1/30,\quad 0.5/35,\quad 0/40\}$$

$$\mu_{\text{Çok Yüksek}}(l) = \{0/30,\quad 0.5/35,\quad 1/40,\quad 1/45,\quad 1/50\}$$

Domates bitkisi için genelde istenilen ışıklandırma değeri 10000 lux'dür. Lux aydınlık şiddeti birimidir. Seradaki ışıklandırma değeri 0 lux ile 20000 lux arasında

olacaktır. Örneğin "Orta" dilsel ışıklandırma çıkış değerleri 8000 lux ile 12000 lux arasında değişecektir ve burada üyelik derecesinin en büyük değeri 10000 lux olacaktır, yani $\mu_{\text{Orta}}(10000 \text{ lux}) = 1$.

Işıklandırma çıkış değeri (I) dilsel değeri için matematiksel ifadeler aşağıdaki gibidir (Şekil 3.13).



Şekil 3.13 Serada Işıklandırma Çıkış Değeri İçin Sözel Değişkenlerinin Üyelik Fonksiyonları.

Işıklandırma çıkış değeri için bulanık ifadeler (Işıklandırma =I, Işıklandırma çıkış değeri=ı);

$$\mu_{Çok\ \text{Düsük}}(\imath) = \begin{cases} 0 \le \imath \le 500 & ;1 \\ 500 \le \imath \le 1000 & ;(1000 - \imath)/500 \\ \imath > 1000 & ;0 \end{cases}$$

$$\mu_{\text{Düsük}}(\imath) = \begin{cases} \imath < 0 \text{ veya } \imath > 10000 & ;0 \\ 0 \le \imath \le 5000 & ;(\imath - 0)/5000 \\ 5000 \le \imath \le 10000 & ;(10000 - \imath)/5000 \end{cases}$$

$$\mu_{Orta}(\imath) = \begin{cases} \imath < 8000 \text{ veya } \imath > 12000 & ;0 \\ 8000 \le \imath \le 10000 & ;(\imath - 8000)/2000 \\ 10000 \le \imath \le 12000 & ;(12000 - \imath)/2000 \end{cases}$$

$$\mu_{Yüksek}(\imath) = \begin{cases} \imath < 11000 \text{ veya } \imath > 16000 \;\; ; 0 \\ 11000 \le \imath \le 13500 \,; (\imath - 11000)/2500 \\ 13500 \le \imath \le 16000; (16000 - \imath)/2500 \end{cases}$$

$$\mu_{Çok\ Yüksek}(\imath) = \begin{cases} \imath < 14000 \text{ veya } \imath > 20000 \;\; ; 0 \\ 14000 \le \imath \le 17000 \,; (\imath - 14000)/3000 \\ 17000 \le \imath \le 20000; \; 1 \end{cases}$$

Bu değerlere göre bulunan ışıklandırma çıkış değeri kümeleri aşağıda verilmiştir.

$$\mu_{\text{Çok Düsük}}(\imath) = \{1/0, \quad 1/250, \quad 1/500, \quad 0.5/750, \quad 0/1000\}$$

$$\mu_{\text{Düsük}}(\imath) = \{0/0, \quad 0.5/2500, \quad 1/5000, \quad 0.5/7500, 1/10000\}$$

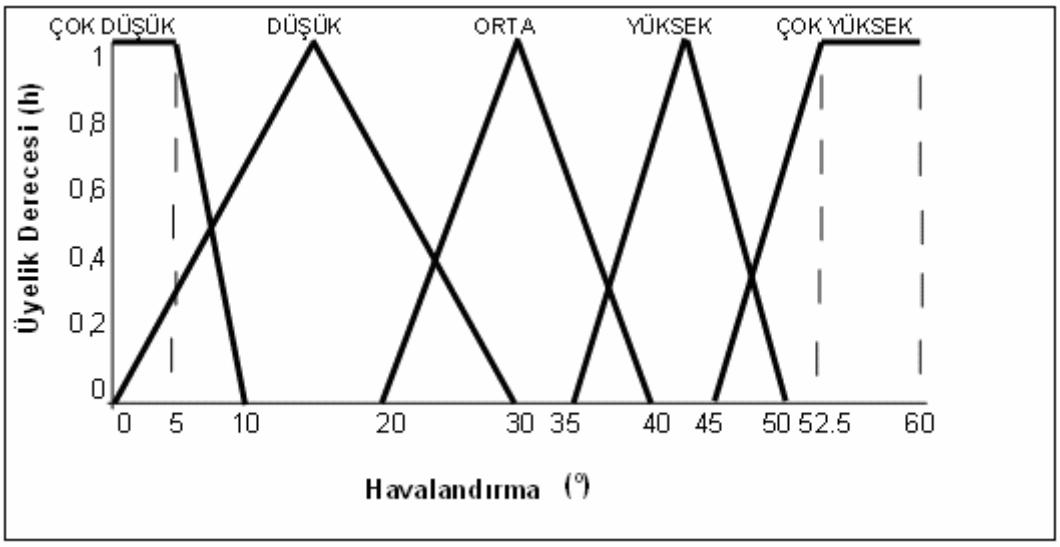
$$\mu_{\text{Orta}}(\imath) = \{0/8000, \quad 0.5/9000, \quad 1/10000, \quad 0.5/11000, \quad 0/12000\}$$

$$\mu_{\text{Yüksek}}(\imath) = \{0/11000, \quad 0.4/12000, \quad 1/13500, \quad 0.4/15000, \quad 0/16000\}$$

$$\mu_{\text{Çok Yüksek}}(\imath) = \{0/14000, \quad 0.333/15000, \quad 1/17000, \quad 1/18500, \quad 1/20000\}$$

Domates bitkisi için genelde istenilen havalandırma değeri 30 derece'dir. Havalandırma seranın tavanında bulunmaktadır ve buradaki derece açı birimidir. Seradaki havalandırma değeri 0 derece ile 60 derece arasında değişebilmektedir. Örneğin "Orta" dilsel havalandırma çıkış değerleri 20 derece ile 40 derece arasında değişecektir ve burada üyelik derecesinin en büyük değeri 30 derece olacaktır, yani μ_{Orta} (30 derece) = 1.

Havalandırma çıkış değeri (H) dilsel değeri için matematiksel ifadeler aşağıdaki gibidir (Şekil 3.14).



Şekil 3.14 Serada Havalandırma Çıkış Değeri İçin Sözel Değişkenlerinin Üyelik Fonksiyonları.

Havalandırma çıkış değeri için bulanık ifadeler (Havalandırma =H, Havalandırma çıkış değeri=h);

$$\mu_{Çok\ \text{Düsük}}(h)=\begin{cases}0\le h\le 5 & ;1\\ 5\le h\le 10 & ;(10-h)/5\\ h>10 & ;0\end{cases}$$

$$\mu_{\text{Düsük}}(h)=\begin{cases}h<0 \text{ veya } h>30 & ;0\\ 0\le \iota\le 15 & ;(h-0)/15\\ 15\le h\le 30 & ;(30-h)/15\end{cases}$$

$$\mu_{Orta}(h)=\begin{cases}h<20 \text{ veya } h>40 & ;0\\ 20\le h\le 30 & ;(h-20)/10\\ 30\le h\le 40 & ;(40-h)/10\end{cases}$$

$$\mu_{Yüksek}(h)=\begin{cases}h<35 \text{ veya } h>50 & ;0\\ 35\le h\le 42.5 & ;(h-35)/7.5\\ 42.5\le h\le 50 & ;(50-h)/7.5\end{cases}$$

$$\mu_{Çok\ Yüksek}(h)=\begin{cases}h<45 \text{ veya } h>60 & ;0\\ 45\le h\le 52.5 & ;(h-45)/7.5\\ 52.5\le h\le 60 & ;1\end{cases}$$

Bu değerlere göre bulunan havalandırma çıkış değeri kümeleri aşağıda verilmiştir.

$$\mu_{\text{Çok Düsük}}(h) = \{1/0,\quad 1/2.5,\quad 1/5,\quad 0.5/7.5,\quad 0/10\}$$

$$\mu_{\text{Düsük}}(h) = \{0/0,\quad 0.667/10,\quad 1/20,\quad 0.333/25, 1/30\}$$

$$\mu_{\text{Orta}}(h) = \{0/20,\quad 0.5/25,\quad 1/30,\quad 0.5/35,\quad 0/40\}$$

$$\mu_{\text{Yüksek}}(h) = \{0/35,\quad 0.667/40,\quad 1/42.5,\quad 0.667/45,\quad 0/50\}$$

$$\mu_{\text{Çok Yüksek}}(h) = \{0/45,\quad 0.667/50,\quad 1/52.5,\quad 1/55,\quad 1/60\}$$

Tasarlanan sistemde hesaplanan çıkış değerleri, bazı giriş parametrelerinin durumuna göre etkilenmektedir. Şekil 3.2'de gösterildiği gibi hangi giriş parametresinin hangi çıkış değerini etki ettiği görülmektedir. Bu yüzden bir çıkış değerini iki giriş değeri etkilemektir. Sadece ışıklandırma çıkış değerini bir giriş değeri etkilemektedir. Giriş ve çıkış parametrelerinde beş adet dilsel değişken kullanılmıştır. Bu yüzden ısıtma, soğutma, gölgeleme, sulama ve havalandırma çıkış değerleri için 25 adet kural kullanılmıştır. Işıklandırma çıkış değerini bir tane giriş etkilediği için 5 adet kural kullanılmıştır. Sera otomasyonunda kural sayısı toplam 130'dur. Çıkarım mekanizması ile karar verme işlemi, durulaştırma birimi ile istenilen kesin çıkış değeri hesaplanacaktır. Çıkarım Mekanizması olarak basitliğinden dolayı Mamdani MAX-MIN çıkarım mekanizması ve durulaştırma yöntemi centroid metodu kullanılmıştır. Isıtma, soğutma, gölgelenme, sulama, ışıklandırma ve havalandırma çıkış değerleri için uzman tarafından belirlenen kural tablosu Tablo 3.3, Tablo 3.4, Tablo 3.5, Tablo 3.6, Tablo 3.7 ve Tablo 3.8'de gösterilmektedir.

Tablo 3.3 Sıcaklık ve Hava Nemi Giriş Değerlerinin Isıtma Çıkış Değerine Etkisi.

Hava Nemi / Sıcaklık	**Çok Düşük**	**Düşük**	**Orta**	**Yüksek**	**Çok Yüksek**
Çok Düşük	Çok Yüksek	Çok Yüksek	Yüksek	Yüksek	Yüksek
Düşük	Yüksek	Yüksek	Yüksek	Orta	Orta
Orta	Orta	Orta	Orta	Orta	Düşük
Yüksek	Düşük	Düşük	Düşük	Düşük	Düşük
Çok Yüksek	Çok Düşük	Çok Düşük	Çok Düşük	Çok Düşük	Çok Düşük

Aşağıda sıcaklık ve hava nemi giriş değerlerinin ısıtma çıkış değerine etki ettiği durumlar ifade eden bulanık kurallar verilmektedir.

1-Eğer Sıcaklık Çok Düşük ve Hava nemi Çok Düşük ise o halde Isıtma çıkış değeri Çok Yüksek.

2-Eğer Sıcaklık Çok Düşük ve Hava nemi Düşük ise o halde Isıtma çıkış değeri Çok Yüksek.

3-Eğer Sıcaklık Çok Düşük ve Hava nemi Orta ise o halde Isıtma çıkış değeri Yüksek.

4-Eğer Sıcaklık Çok Düşük ve Hava nemi Yüksek ise o halde Isıtma çıkış değeri Yüksek.

5-Eğer Sıcaklık Çok Düşük ve Hava nemi Çok Yüksek ise o halde Isıtma çıkış değeri Yüksek.

6-Eğer Sıcaklık Düşük ve Hava nemi Çok Düşük ise o halde Isıtma çıkış değeri Yüksek.

7-Eğer Sıcaklık Düşük ve Hava nemi Düşük ise o halde Isıtma çıkış değeri Yüksek.

8-Eğer Sıcaklık Düşük ve Hava nemi Orta ise o halde Isıtma çıkış değeri Yüksek.

9-Eğer Sıcaklık Düşük ve Hava nemi Yüksek ise o halde Isıtma çıkış değeri Orta.

10-Eğer Sıcaklık Düşük ve Hava nemi Çok Yüksek ise o halde Isıtma çıkış değeri Orta.

11-Eğer Sıcaklık Orta ve Hava nemi Çok Düşük ise o halde Isıtma çıkış değeri Orta.

12-Eğer Sıcaklık Orta ve Hava nemi Düşük ise o halde Isıtma çıkış değeri Orta.

13-Eğer Sıcaklık Orta ve Hava nemi Orta ise o halde Isıtma çıkış değeri Orta.

14-Eğer Sıcaklık Orta ve Hava nemi Yüksek ise o halde Isıtma çıkış değeri Orta.

15-Eğer Sıcaklık Orta ve Hava nemi Çok Yüksek ise o halde Isıtma çıkış değeri Düşük.

16-Eğer Sıcaklık Yüksek ve Hava nemi Çok Düşük ise o halde Isıtma çıkış değeri Düşük.

17-Eğer Sıcaklık Yüksek ve Hava nemi Düşük ise o halde Isıtma çıkış değeri Düşük.

18-Eğer Sıcaklık Yüksek ve Hava nemi Orta ise o halde Isıtma çıkış değeri Düşük.

19-Eğer Sıcaklık Yüksek ve Hava nemi Yüksek ise o halde Isıtma çıkış değeri Düşük.

20-Eğer Sıcaklık Yüksek ve Hava nemi Çok Yüksek ise o halde Isıtma çıkış değeri Düşük.

21-Eğer Sıcaklık Çok Yüksek ve Hava nemi Çok Düşük ise o halde Isıtma çıkış değeri Çok Düşük.

22-Eğer Sıcaklık Çok Yüksek ve Hava nemi Düşük ise o halde Isıtma çıkış değeri Çok Düşük.

23-Eğer Sıcaklık Çok Yüksek ve Hava nemi Orta ise o halde Isıtma çıkış değeri Çok Düşük.

24-Eğer Sıcaklık Çok Yüksek ve Hava nemi Yüksek ise o halde Isıtma çıkış değeri Çok Düşük.

25-Eğer Sıcaklık Çok Yüksek ve Hava nemi Çok Yüksek ise o halde Isıtma çıkış değeri Çok Düşük.

Tablo 3.4 Sıcaklık ve Hava Nemi Giriş Değerlerinin Soğutma Çıkış Değerine Etkisi.

Hava Nemi / Sıcaklık	**Çok Düşük**	**Düşük**	**Orta**	**Yüksek**	**Çok Yüksek**
Çok Düşük	Çok Düşük	Çok Düşük	Çok Düşük	Çok Düşük	Çok Düşük
Düşük	Düşük	Düşük	Düşük	Düşük	Düşük
Orta	Düşük	Orta	Orta	Orta	Orta
Yüksek	Orta	Orta	Yüksek	Yüksek	Yüksek
Çok Yüksek	Yüksek	Yüksek	Yüksek	Çok Yüksek	Çok Yüksek

Aşağıda sıcaklık ve nem giriş değerlerinin soğutma çıkış değerine etki ettiği durumlar ifade eden bulanık kurallar verilmektedir.

1-Eğer Sıcaklık Çok Düşük ve Hava nemi Çok Düşük ise o halde Soğutma çıkış değeri Çok Düşük.
2-Eğer Sıcaklık Çok Düşük ve Hava nemi Düşük ise o halde Soğutma çıkış değeri Çok Düşük.
3-Eğer Sıcaklık Çok Düşük ve Hava nemi Orta ise o halde Soğutma çıkış değeri Çok Düşük.
4-Eğer Sıcaklık Çok Düşük ve Hava nemi Yüksek ise o halde Soğutma çıkış değeri Çok Düşük.
5-Eğer Sıcaklık Çok Düşük ve Hava nemi Çok Yüksek ise o halde Soğutma çıkış değeri Çok Düşük.
6-Eğer Sıcaklık Düşük ve Hava nemi Çok Düşük ise o halde Soğutma çıkış değeri Düşük.
7-Eğer Sıcaklık Düşük ve Hava nemi Düşük ise o halde Soğutma çıkış değeri Düşük.
8-Eğer Sıcaklık Düşük ve Hava nemi Orta ise o halde Soğutma çıkış değeri Düşük.
9-Eğer Sıcaklık Düşük ve Hava nemi Yüksek ise o halde Soğutma çıkış değeri Düşük.

10-Eğer Sıcaklık Düşük ve Hava nemi Çok Yüksek ise o halde Soğutma çıkış değeri Düşük.

11-Eğer Sıcaklık Orta ve Hava nemi Çok Düşük ise o halde Soğutma çıkış değeri Düşük.

12-Eğer Sıcaklık Orta ve Hava nemi Düşük ise o halde Soğutma çıkış değeri Orta.

13-Eğer Sıcaklık Orta ve Hava nemi Orta ise o halde Soğutma çıkış değeri Orta.

14-Eğer Sıcaklık Orta ve Hava nemi Yüksek ise o halde Soğutma çıkış değeri Orta.

15-Eğer Sıcaklık Orta ve Hava nemi Çok Yüksek ise o halde Soğutma çıkış değeri Orta.

16-Eğer Sıcaklık Yüksek ve Hava nemi Çok Düşük ise o halde Soğutma çıkış değeri Orta.

17-Eğer Sıcaklık Yüksek ve Hava nemi Düşük ise o halde Soğutma çıkış değeri Orta.

18-Eğer Sıcaklık Yüksek ve Hava nemi Orta ise o halde Soğutma çıkış değeri Yüksek.

19-Eğer Sıcaklık Yüksek ve Hava nemi Yüksek ise o halde Soğutma çıkış değeri Yüksek.

20-Eğer Sıcaklık Yüksek ve Hava nemi Çok Yüksek ise o halde Soğutma çıkış değeri Yüksek.

21-Eğer Sıcaklık Çok Yüksek ve Hava nemi Çok Düşük ise o halde Soğutma çıkış değeri Yüksek.

22-Eğer Sıcaklık Çok Yüksek ve Hava nemi Düşük ise o halde Soğutma çıkış değeri Yüksek.

23-Eğer Sıcaklık Çok Yüksek ve Hava nemi Orta Düşük ise o halde Soğutma çıkış değeri Yüksek.

24-Eğer Sıcaklık Çok Yüksek ve Hava nemi Yüksek ise o halde Soğutma çıkış değeri Çok Yüksek.

25-Eğer Sıcaklık Çok Yüksek ve Hava nemi Çok Yüksek ise o halde Soğutma çıkış değeri Çok Yüksek.

Tablo 3.5 Sıcaklık ve Işık Şiddeti Giriş Değerlerinin Gölgeleme Çıkış Değerine Etkisi.

Işık Şiddeti / Sıcaklık	**Çok Düşük**	**Düşük**	**Orta**	**Yüksek**	**Çok Yüksek**
Çok Düşük	Çok Düşük	Çok Düşük	Düşük	Orta	Orta
Düşük	Çok Düşük	Düşük	Düşük	Orta	Yüksek
Orta	Çok Düşük	Düşük	Orta	Orta	Yüksek
Yüksek	Düşük	Düşük	Orta	Yüksek	Yüksek
Çok Yüksek	Düşük	Orta	Orta	Yüksek	Çok Yüksek

Aşağıda sıcaklık ve ışık şiddeti giriş değerlerinin gölgeleme çıkış değerine etki ettiği durumlar ifade eden bulanık kurallar verilmektedir.

1-Eğer Sıcaklık Çok Düşük ve Işık şiddeti Çok Düşük ise o halde Gölgeleme çıkış değeri Çok Düşük.

2-Eğer Sıcaklık Çok Düşük ve Işık şiddeti Düşük ise o halde Gölgeleme çıkış değeri Çok Düşük.

3-Eğer Sıcaklık Çok Düşük ve Işık şiddeti Orta ise o halde Gölgeleme çıkış değeri Düşük.

4-Eğer Sıcaklık Çok Düşük ve Işık şiddeti Yüksek ise o halde Gölgeleme çıkış değeri Orta.

5-Eğer Sıcaklık Çok Düşük ve Işık şiddeti Çok Yüksek ise o halde Gölgeleme çıkış değeri Orta.

6-Eğer Sıcaklık Düşük ve Işık şiddeti Çok Düşük ise o halde Gölgeleme çıkış değeri Çok Düşük.

7-Eğer Sıcaklık Düşük ve Işık şiddeti Düşük ise o halde Gölgeleme çıkış değeri Düşük.

8-Eğer Sıcaklık Düşük ve Işık şiddeti Orta ise o halde Gölgeleme çıkış değeri Düşük.

9-Eğer Sıcaklık Düşük ve Işık şiddeti Yüksek ise o halde Gölgeleme çıkış değeri Orta.

10-Eğer Sıcaklık Düşük ve Işık şiddeti Çok Yüksek ise o halde Gölgeleme çıkış değeri Yüksek.

11-Eğer Sıcaklık Orta ve Işık şiddeti Çok Düşük ise o halde Gölgeleme çıkış değeri Çok Düşük.

12-Eğer Sıcaklık Orta ve Işık şiddeti Düşük ise o halde Gölgeleme çıkış değeri Düşük.

13-Eğer Sıcaklık Orta ve Işık şiddeti Orta ise o halde Gölgeleme çıkış değeri Orta.

14-Eğer Sıcaklık Orta ve Işık şiddeti Yüksek ise o halde Gölgeleme çıkış değeri Orta.

15-Eğer Sıcaklık Orta ve Işık şiddeti Çok Yüksek ise o halde Gölgeleme çıkış değeri Yüksek.

16-Eğer Sıcaklık Yüksek ve Işık şiddeti Çok Düşük ise o halde Gölgeleme çıkış değeri Düşük.

17-Eğer Sıcaklık Yüksek ve Işık şiddeti Düşük ise o halde Gölgeleme çıkış değeri Düşük.

18-Eğer Sıcaklık Yüksek ve Işık şiddeti Orta ise o halde Gölgeleme çıkış değeri Orta.

19-Eğer Sıcaklık Yüksek ve Işık şiddeti Yüksek ise o halde Gölgeleme çıkış değeri Yüksek.

20-Eğer Sıcaklık Yüksek ve Işık şiddeti Çok Yüksek ise o halde Gölgeleme çıkış değeri Yüksek.

21-Eğer Sıcaklık Çok Yüksek ve Işık şiddeti Çok Düşük ise o halde Gölgeleme çıkış değeri Düşük.

22-Eğer Sıcaklık Çok Yüksek ve Işık şiddeti Düşük ise o halde Gölgeleme çıkış değeri Orta.

23-Eğer Sıcaklık Çok Yüksek ve Işık şiddeti Orta Düşük ise o halde Gölgeleme çıkış değeri Orta.

24-Eğer Sıcaklık Çok Yüksek ve Işık şiddeti Yüksek Çıkış ise o halde Gölgeleme çıkış değeri Yüksek.

25-Eğer Sıcaklık Çok Yüksek ve Işık şiddeti Çok Yüksek ise o halde Gölgeleme çıkış değeri Çok Yüksek.

Tablo 3.6 Hava Nemi ve Toprak Nemi Giriş Değerlerinin Sulama Çıkış Değerine Etkisi.

Hava Nemi / Toprak Nemi	**Çok Düşük**	**Düşük**	**Orta**	**Yüksek**	**Çok Yüksek**
Çok Düşük	Çok Yüksek	Yüksek	Yüksek	Orta	Düşük
Düşük	Çok Yüksek	Yüksek	Orta	Orta	Düşük
Orta	Yüksek	Yüksek	Orta	Düşük	Düşük
Yüksek	Yüksek	Orta	Orta	Düşük	Çok Düşük
Çok Yüksek	Orta	Orta	Düşük	Düşük	Çok Düşük

Aşağıda hava nemi ve toprak nemi giriş değerlerinin sulama çıkış değerine etki ettiği durumlar ifade eden bulanık kurallar verilmektedir.

1-Eğer Hava nemi Çok Düşük ve Toprak nemi Çok Düşük ise o halde Sulama çıkış değeri Çok Yüksek.
2-Eğer Hava nemi Çok Düşük ve Toprak nemi Düşük ise o halde Sulama çıkış değeri Yüksek.
3-Eğer Hava nemi Çok Düşük ve Toprak nemi Orta ise o halde Sulama çıkış değeri Yüksek.
4-Eğer Hava nemi Çok Düşük ve Toprak nemi Yüksek ise o halde Sulama çıkış değeri Orta.
5-Eğer Hava nemi Çok Düşük ve Toprak nemi Çok Yüksek ise o halde Sulama çıkış değeri Düşük.

6-Eğer Hava nemi Düşük ve Toprak nemi Çok Düşük ise o halde Sulama çıkış değeri Çok Yüksek.

7-Eğer Hava nemi ve Toprak nemi Düşük ise o halde Sulama çıkış değeri Yüksek.

8-Eğer Hava nemi Düşük ve Toprak nemi Orta ise o halde Sulama çıkış değeri Orta.

9-Eğer Hava nemi Düşük ve Toprak nemi Yüksek ise o halde Sulama çıkış değeri Orta.

10-Eğer Hava nemi Düşük ve Toprak nemi Çok Yüksek ise o halde Sulama çıkış değeri Düşük.

11-Eğer Hava nemi Orta ve Toprak nemi Çok Düşük ise o halde Sulama çıkış değeri Yüksek.

12-Eğer Hava nemi Orta ve Toprak nemi Düşük ise o halde Sulama çıkış değeri Yüksek.

13-Eğer Hava nemi Orta ve Toprak nemi Orta ise o halde Sulama değeri Orta.

14-Eğer Hava nemi Orta ve Toprak nemi Yüksek ise o halde Sulama değeri Düşük.

15-Eğer Hava nemi Orta ve Toprak nemi Çok Yüksek ise o halde Sulama çıkış değeri Düşük.

16-Eğer Hava nemi Yüksek ve Toprak nemi Çok Düşük ise o halde Sulama çıkış değeri Yüksek.

17-Eğer Hava nemi Yüksek ve Toprak nemi Düşük ise o halde Sulama çıkış değeri Orta.

18-Eğer Hava nemi Yüksek ve Toprak nemi Orta ise o halde Sulama çıkış değeri Orta.

19-Eğer Hava nemi Yüksek ve Toprak nemi Yüksek ise o halde Sulama çıkış değeri Düşük.

20-Eğer Hava nemi Yüksek ve Toprak nemi Çok Yüksek ise o halde Sulama çıkış değeri Çok Düşük.

21-Eğer Hava nemi Çok Yüksek ve Toprak nemi Çok Düşük ise o halde Sulama çıkış değeri Orta.

22-Eğer Hava nemi Çok Yüksek ve Toprak nemi Düşük ise o halde Sulama çıkış değeri Orta.

23-Eğer Hava nemi Çok Yüksek ve Toprak nemi Orta Düşük ise o halde Sulama çıkış değeri Düşük.

24-Eğer Hava nemi Çok Yüksek ve Toprak nemi Yüksek ise o halde Sulama çıkış değeri Düşük.
25-Eğer Hava nemi Çok Yüksek ve Toprak nemi Çok Yüksek ise o halde Sulama çıkış değeri Çok Düşük.

Tablo 3.7 Işık Şiddeti Giriş Değişkenin Işıklandırma Çıkış Değerine Etkisi.

Işık Şiddeti	**Çok Düşük**	**Düşük**	**Orta**	**Yüksek**	**Çok Yüksek**
	Çok Yüksek	Yüksek	Orta	Düşük	Çok Düşük

Aşağıda ışık şiddeti giriş değerinin ışıklandırma çıkış değerine etki ettiği durumlar ifade eden bulanık kurallar verilmektedir.

1-Eğer Işık şiddeti Çok Düşük ise o halde Işıklandırma çıkış değeri Çok Yüksek.
2-Eğer Işık şiddeti Çok Düşük ise o halde Işıklandırma çıkış değeri Yüksek.
3-Eğer Işık şiddeti Çok Düşük ise o halde Işıklandırma çıkış değeri Orta.
4-Eğer Işık şiddeti Çok Düşük ise o halde Işıklandırma çıkış değeri Düşük.
5-Eğer Işık şiddeti Çok Düşük ise o halde Işıklandırma çıkış değeri Çok Düşük.

Tablo 3.8 Karbondioksit Miktarı ve Rüzgar Hızı Giriş Değerlerinin Havalandırma Çıkış Değerine Etkisi.

Rüzgar Hızı / **Karbondioksit Miktarı**	**Çok Düşük**	**Düşük**	**Orta**	**Yüksek**	**Çok Yüksek**
Çok Düşük	Düşük	Düşük	Düşük	Çok Düşük	Çok Düşük
Düşük	Orta	Orta	Düşük	Düşük	Düşük
Orta	Yüksek	Orta	Orta	Orta	Düşük
Yüksek	Yüksek	Yüksek	Yüksek	Orta	Düşük
Çok Yüksek	Çok Yüksek	Çok Yüksek	Yüksek	Orta	Orta

Aşağıda karbondioksit miktarı ve rüzgar hızı giriş değerlerinin havalandırma çıkış değerine etki ettiği durumlar ifade eden bulanık kurallar verilmektedir.

1-Eğer Karbondioksit miktarı Çok Düşük ve Rüzgar hızı Çok Düşük ise o halde Havalandırma çıkış değeri Düşük.
2-Eğer Karbondioksit miktarı Çok Düşük ve Rüzgar hızı Düşük ise o halde Havalandırma çıkış değeri Düşük.
3-Eğer Karbondioksit miktarı Çok Düşük ve Rüzgar hızı Orta ise o halde Havalandırma çıkış değeri Düşük.
4-Eğer Karbondioksit miktarı Çok Düşük ve Rüzgar hızı Yüksek ise o halde Havalandırma çıkış değeri Çok Düşük.
5-Eğer Karbondioksit miktarı Çok Düşük ve Rüzgar hızı Çok Yüksek ise o halde Havalandırma çıkış değeri Çok Düşük.
6-Eğer Karbondioksit miktarı Düşük ve Rüzgar hızı Nemi Çok Düşük ise o halde Havalandırma çıkış değeri Orta.
7-Eğer Karbondioksit miktarı Düşük ve Rüzgar hızı Düşük ise o halde Havalandırma çıkış değeri Orta.

8-Eğer Karbondioksit miktarı Düşük ve Rüzgar hızı Orta ise o halde Havalandırma çıkış değeri Düşük.

9-Eğer Karbondioksit miktarı Düşük ve Rüzgar hızı Yüksek ise o halde Havalandırma çıkış değeri Düşük.

10-Eğer Karbondioksit miktarı Düşük ve Rüzgar hızı Çok Yüksek ise o halde Havalandırma çıkış değeri Düşük.

11-Eğer Karbondioksit miktarı Orta ve Rüzgar hızı Çok Düşük ise o halde Havalandırma çıkış değeri Yüksek.

12-Eğer Karbondioksit miktarı Orta ve Rüzgar hızı Düşük ise o halde Havalandırma çıkış değeri Orta.

13-Eğer Karbondioksit miktarı Orta ve Rüzgar hızı Orta ise o halde Havalandırma çıkış değeri Orta.

14-Eğer Karbondioksit miktarı Orta ve Rüzgar hızı Yüksek ise o halde Havalandırma çıkış değeri Orta.

15-Eğer Karbondioksit miktarı Orta ve Rüzgar hızı Çok Yüksek ise o halde Havalandırma çıkış değeri Düşük.

16-Eğer Karbondioksit miktarı Yüksek ve Rüzgar hızı Çok Düşük ise o halde Havalandırma çıkış değeri Yüksek.

17-Eğer Karbondioksit miktarı Yüksek ve Rüzgar hızı Düşük ise o halde Havalandırma çıkış değeri Yüksek.

18-Eğer Karbondioksit miktarı Yüksek ve Rüzgar hızı Orta ise o halde Havalandırma çıkış değeri Yüksek.

19-Eğer Karbondioksit miktarı Yüksek ve Rüzgar hızı Yüksek ise o halde Havalandırma çıkış değeri Orta.

20-Eğer Karbondioksit miktarı Yüksek ve Rüzgar hızı Çok Yüksek ise o halde Havalandırma çıkış değeri Düşük.

21-Eğer Karbondioksit miktarı Çok Yüksek ve Rüzgar hızı Çok Düşük ise o halde Havalandırma çıkış değeri Çok Yüksek.

22-Eğer Karbondioksit miktarı Çok Yüksek ve Rüzgar hızı Düşük ise o halde Havalandırma çıkış değeri Çok Yüksek.

23-Eğer Karbondioksit miktarı Çok Yüksek ve Rüzgar hızı Orta Düşük ise o halde Havalandırma çıkış değeri Yüksek.

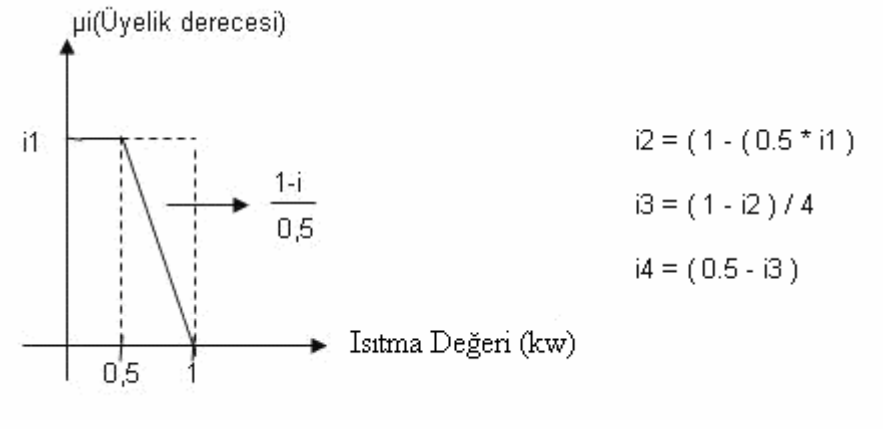
24-Eğer Karbondioksit miktarı Çok Yüksek ve Rüzgar hızı Yüksek ise o halde Havalandırma çıkış değeri Orta.
25-Eğer Karbondioksit miktarı Çok Yüksek ve Rüzgar hızı Çok Yüksek ise o halde Havalandırma çıkış değeri Orta.

3.2. Centroid Yönteminde Ağırlık Merkezinin Hesaplanması

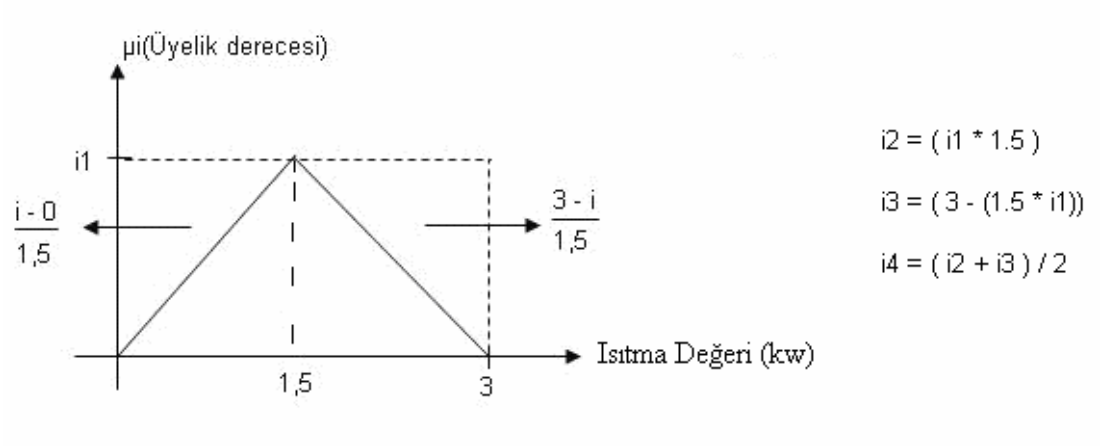
Her bir kuralın çıkışına ait üyelik fonksiyonunun üyelik derecesi, "VE" bağlacı kullanıldığı için girişlerin minimum olanı alınarak hesaplanmıştır. Yeni elde edilen üyelik fonksiyonları arasında MAX işlemi uygulanılmış ve elde edilen yeni üyelik fonksiyonu üzerinden durulaştırma işlemi yapılmıştır.

Çıkarım işleminden sonra durulaştırma işleminde centroid metodu uygulanmış ve çıkış hesaplanmıştır.

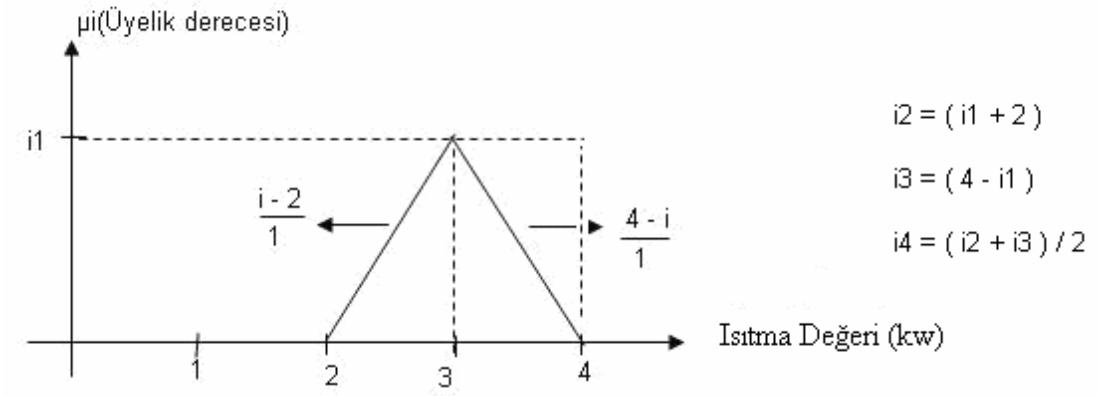
Aşağıdaki şekillerde (Şekil 3.15-Şekil 3.31) ısıtma çıkış değeri için ağırlık merkezleri hesaplanması ile ilgili örnekler verilmiştir.



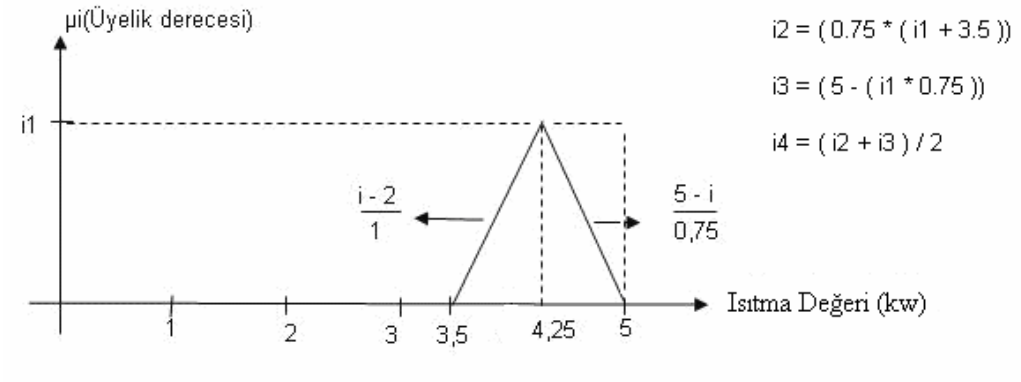
Şekil 3.15 Isıtma Değeri Çok Düşük Ağırlık Merkezinin Bulunması.



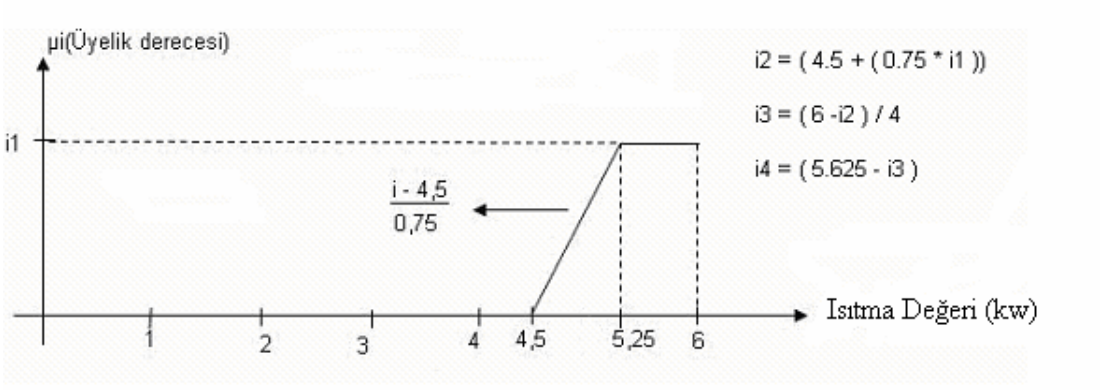
Şekil 3.16 Isıtma Değeri Düşük Ağırlık Merkezinin Bulunması.



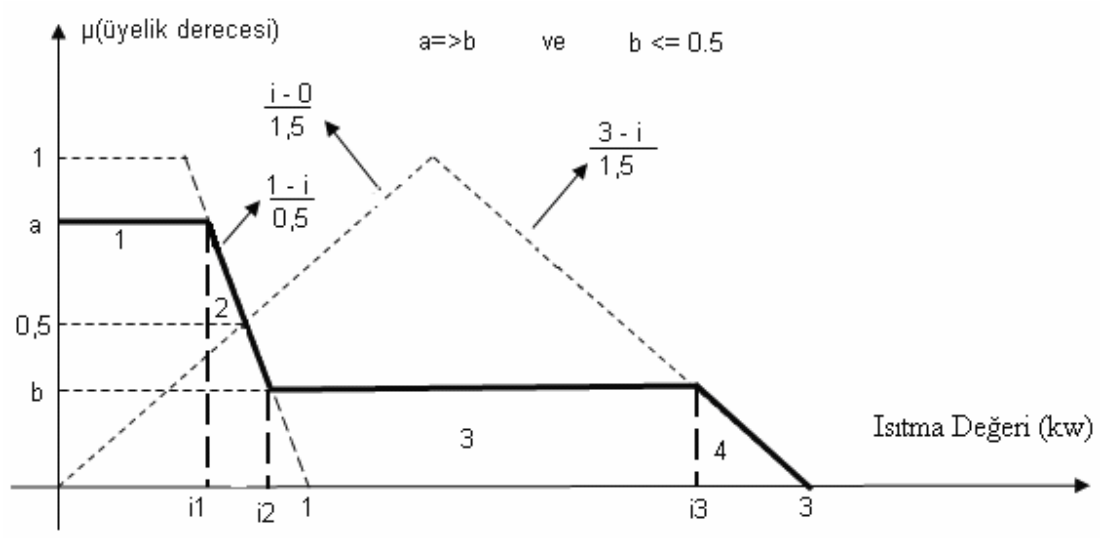
Şekil 3.17 Isıtma Değeri Orta Ağırlık Merkezinin Bulunması.



Şekil 3.18 Isıtma Değeri Yüksek Ağırlık Merkezinin Bulunması.



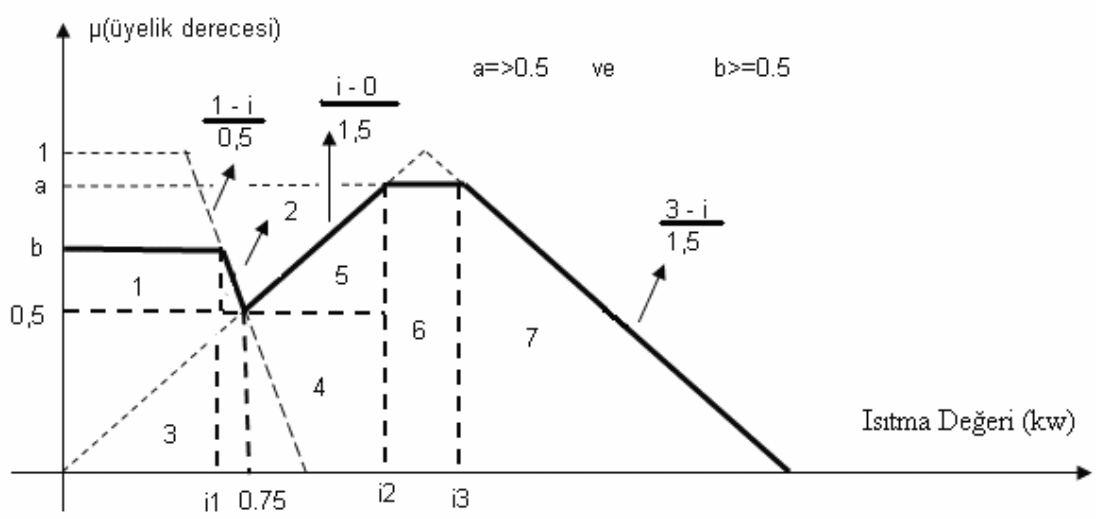
Şekil 3.19 Isıtma Değeri Çok Yüksek Ağırlık Merkezinin Bulunması.



Şekil 3.20 Isıtma Değeri Çok Düşük - Düşük a => b b =< 0.5 Durumunda Ağırlık Merkezinin Bulunması.

i1 = (1 – 0.5 * a) i2 = (1 – 0.5 * b) i3 = (3 – 1.5 * b)

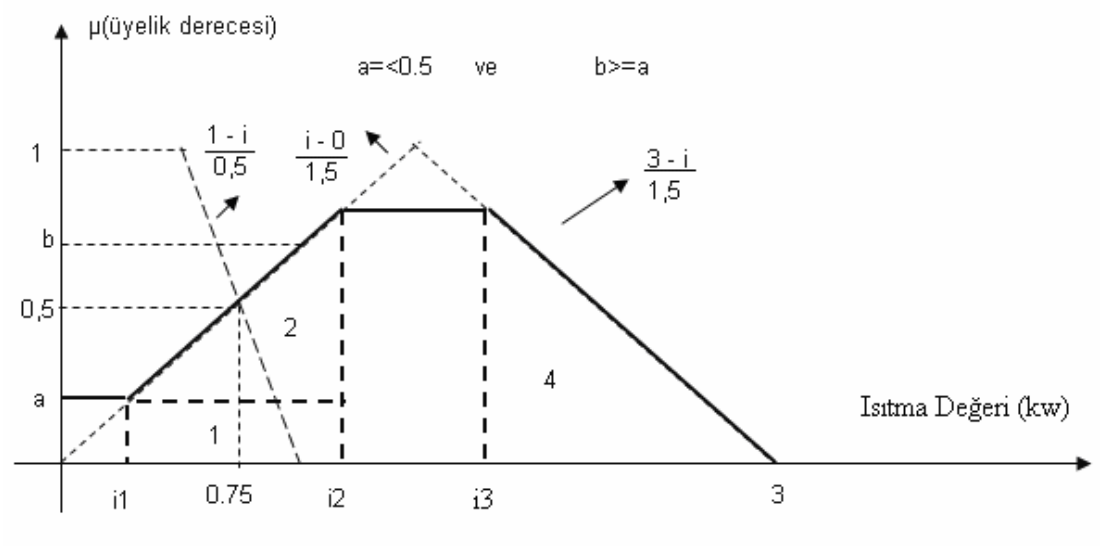
k	Ak	Aok
1	(i1 * a)	(i1 / 2)
2	((i2 – i1) * (a – b)) / 2	(i1 + ((i2 – i1) / 3)
3	((i3 – i1) * b)	(i1 + ((i3 – i1) / 2))
4	((3 i3) * b) /2	(i3 + ((3 – i3) / 3))



Şekil 3.21 Isıtma Değeri Çok Düşük - Düşük a =>0.5 b =>0.5 Durumunda Ağırlık Merkezinin Bulunması.

$$i1 = (1 - 0.5 * a) \quad i2 = (1.5 * b) \quad i3 = (3 - 1.5 * b)$$

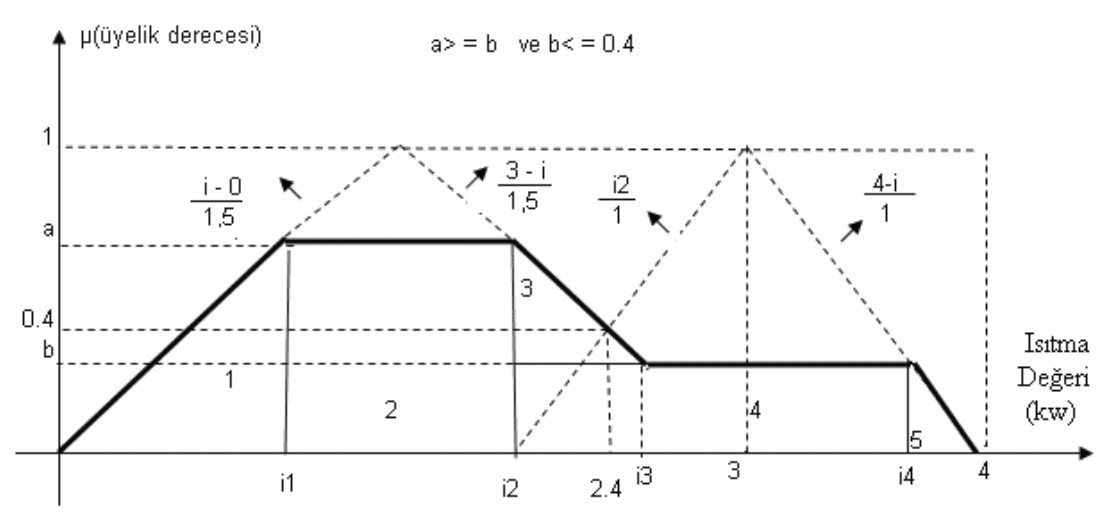
k	Ak	Aok
1	(a – 0.5) * i1	i1 / 2
2	((a – 0.5) * (0.75 – i1)) / 2	i1 + ((0.75 – i1) / 3)
3	0.75 * 0.5	0.75 / 2
4	(i2 – 0.75) * 0.5	0.75 + ((i2 – 0.75) / 2)
5	((i2 – 0.75) * (b – 0.5)) / 2	i2 – ((i2 – 0.75) / 3)
6	(i3 – i2) * b	i2 + ((i3 – i2) / 2)
7	((3 – i3) * b) / 2	i3 + ((3 – i3) / 3)



Şekil 3.22 Isıtma Değeri Çok Düşük - Düşük a =<0.5 b >=a Durumunda Ağırlık Merkezinin Bulunması.

$$i1 = (1.5 * a) \qquad i2 = (1.5 * b) \qquad i3 = (3 - 1.5 * b)$$

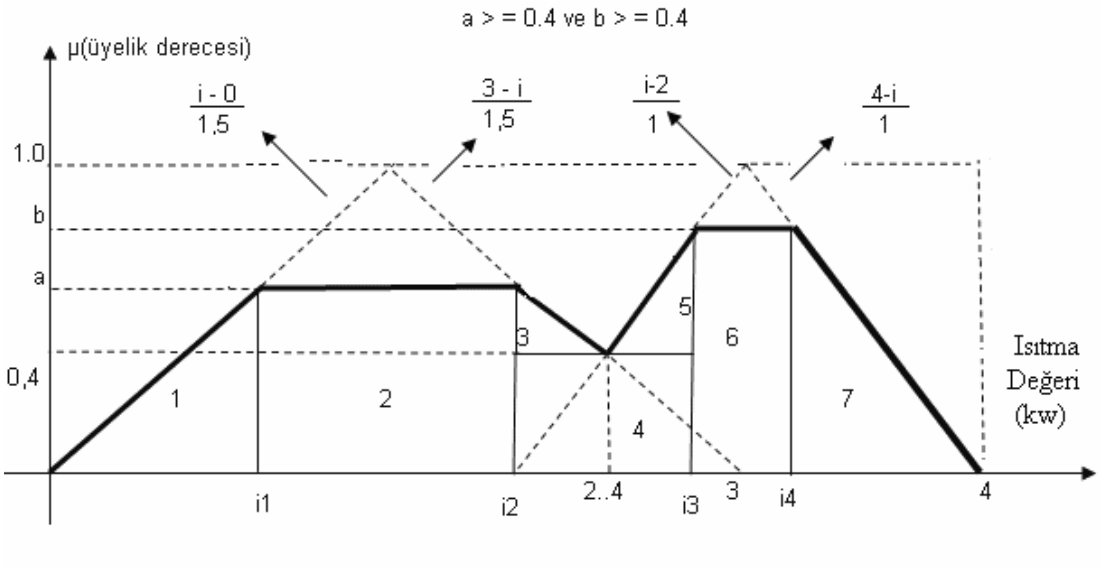
k	Ak	Aok
1	a * i2	i2 / 2
2	((i2 – i1) * (b – a)) / 2	i1 - ((i2 – i1) / 3)
3	(i3 – i2) * b	i2 + ((i3 – i2) / 2)
4	((3 – i3) * b) / 2	i3 + ((3 – i3) / 3)



Şekil 3.23 Isıtma Değeri Düşük - Orta a >= b b < = 0.4 Durumunda Ağırlık Merkezinin Bulunması.

$i1 = (1.5 * a) \quad i2 = (3 - 1.5 * a) \quad i3 = (3 - 1.5 * b) \quad i4 = (4 - b)$

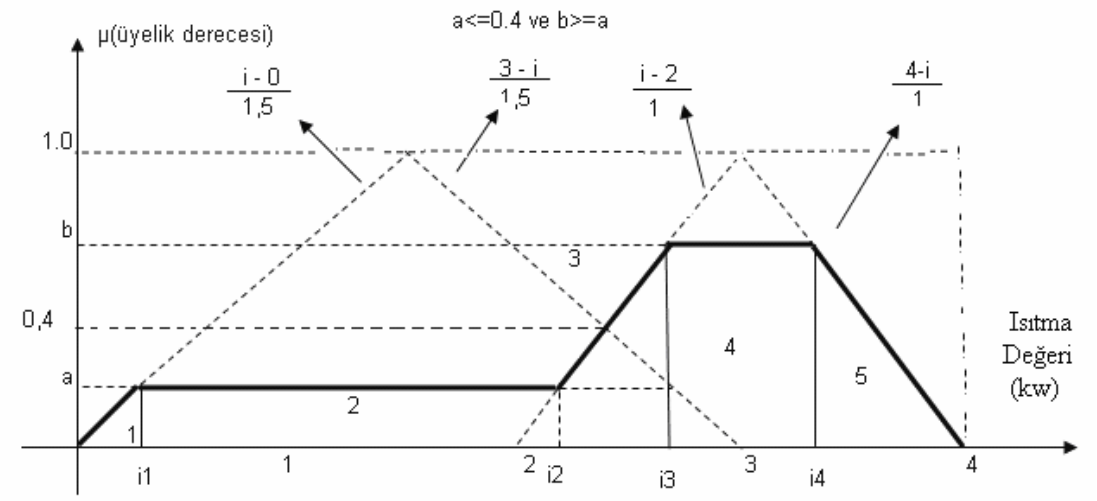
k	Ak	Aok
1	$(i1 * a) / 2$	$i1 - (i1 / 3)$
2	$(i3 - i1) * a$	$i1 + ((i3 - i1) / 2)$
3	$((i3 - i2) * (b - a)) / 2$	$i3 - ((i3\ i2) / 2)$
4	$(i4 - i2) * b$	$i3 + ((i4 - i3) / 2)$
5	$((4 - i4) * b) / 2$	$i4 + ((4 - i4) / 3)$



Şekil 3.24 Isıtma Değeri Düşük - Orta a >= 0.4 b > = 0.4 Durumunda Ağırlık Merkezinin Bulunması.

$i1 = (1.5 * a) \quad i2 = (3 - 1.5 * a) \quad i3 = (2 + b) \quad i4 = (4 - b)$

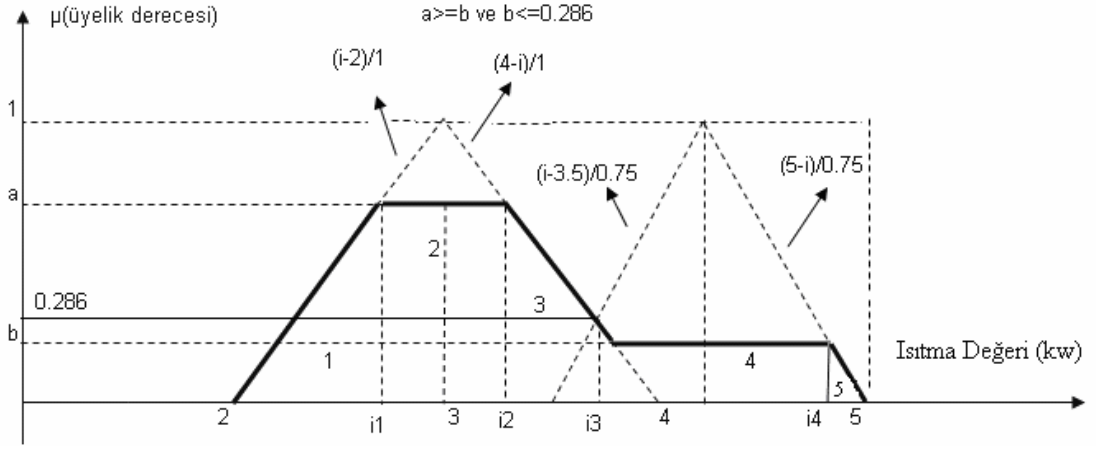
k	Ak	Aok
1	$(i1 * a) / 2$	$i1 - (i1 / 3)$
2	$(i2 - i1) * a$	$i1 + ((i2 - i1) / 2)$
3	$((2.4 - i2) * (a - 0.4)) / 2$	$i2 + ((2.4 - i2) / 3)$
4	$(i3 - i2) * 0.4$	$i2 + ((i3 - i2) / 2)$
5	$((i3 - 2.4) * (b - 0.4)) / 2$	$i3 - ((i3 - 2.4) / 3)$
6	$(i4 - i3) * b$	$i3 + ((i4 - i3) / 2)$
7	$((4 - i4) * b) / 2$	$i4 + ((4 - i4) / 3)$



Şekil 3.25 Isıtma Değeri Düşük - Orta a <= 0.4 b > = a Durumunda Ağırlık Merkezinin Bulunması.

$$i1 = 1.5 * a \quad i2 = 2 + a \quad i3 = 2 + b \quad i4 = 4 - b$$

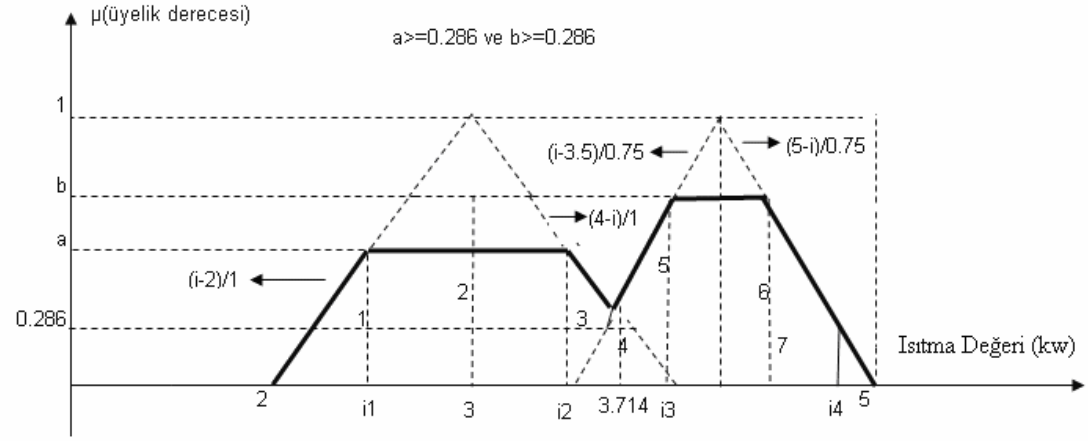
k	Ak	Aok
1	(i1 * a) / 2	i1 – (i1/ 3)
2	(i3 –i1) * a	i1 + ((i3 – i1) / 2)
3	((i3 – i2) * (b – a)) / 2	i3 – ((i3 i2) / 2)
4	(i4 – i2) * b	i3 + ((i4 – i3) / 2)
5	((4 – i4) * b) / 2	i4 + ((4 – i4) / 3)



Şekil 3.26 Isıtma Değeri Orta - Yüksek a >= b b< = 0.286 Durumunda Ağırlık Merkezinin Bulunması.

$$i1 = (a + 2) \quad i2 = (a + 4) \quad i3 = (b + 4) \quad i4 = (5 - 0.75 * b)$$

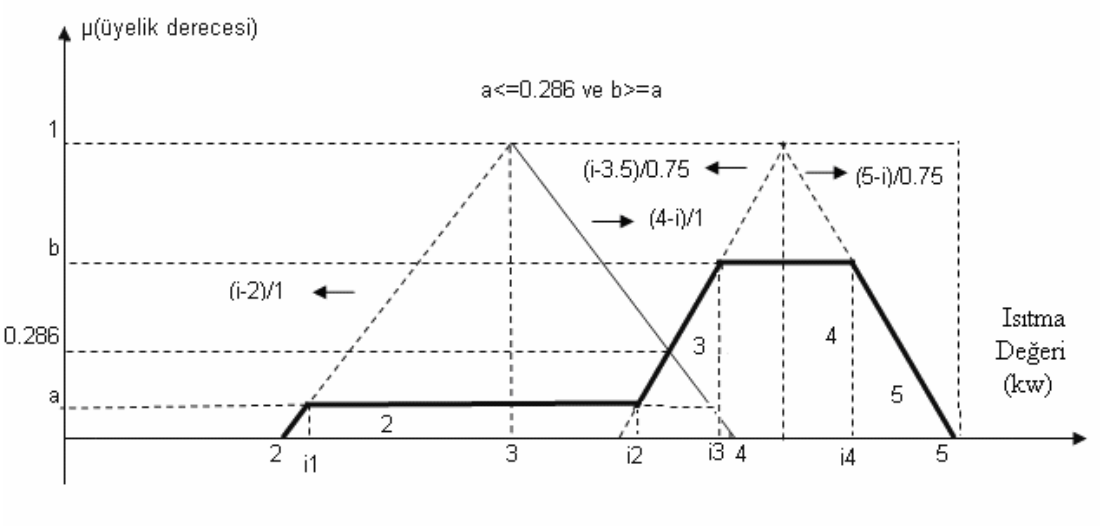
k	Ak	Aok
1	(i1 – 2) / 2	i1 – ((i1 – 2) / 3)
2	(i2 –i1) * a	i1 + ((i2 – i1) / 2)
3	((i3 – i2) * (b – a)) / 2	i2 + ((i3 - i2) / 3)
4	(i4 – i2) * b	i2 + ((i4 – i2) / 2)
5	((5 – i4) * b) / 2	i4 + ((5 – i4) / 3)



Şekil 3.27 Isıtma Değeri Orta - Yüksek a >= 0.286 b > = 0.286 Durumunda Ağırlık Merkezinin Bulunması.

$$i1 = (a + 2) \quad i2 = (4 - a) \quad i3 = (3.5 + 0.75 * b) \quad i4 = (5 - 0.75 * b)$$

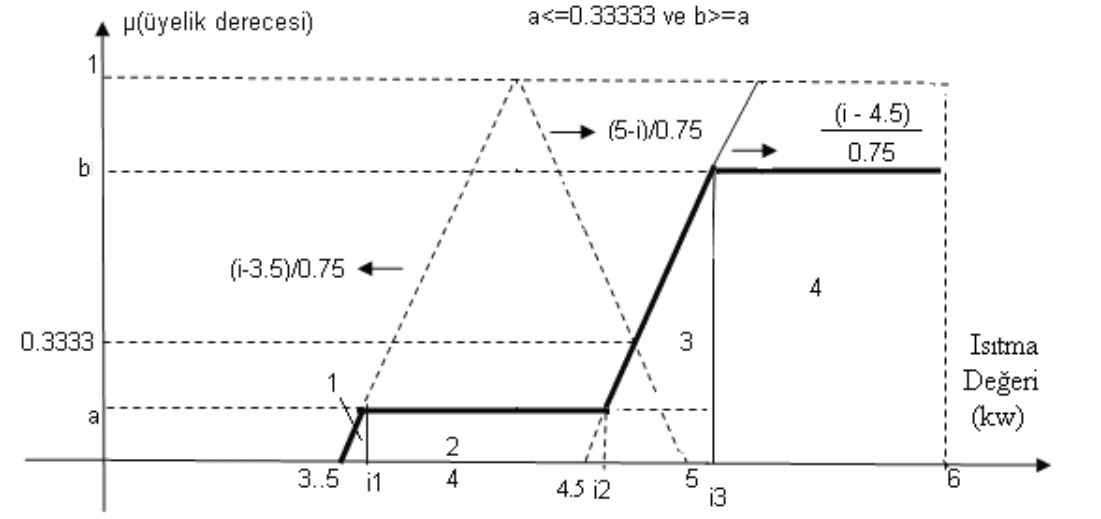
k	Ak	Aok
1	((i1 – 2) * a) / 2	(i1 – ((i1 – 2) / 3)
2	(i2 –i1) * a	i1 + ((i2 – i1) / 2)
3	((3.714 – i2) * (a - 0.286)) / 2	i2 + ((3.714 – i2) / 3)
4	(i3 – i2) * 0.286	i2 + ((i3 – i2) / 2)
5	((i3 – 3.714) * (b – 0.286)) / 2	i3 – ((i3 – 3.714) / 3)
6	(i4 – i3) * b	i3 + ((i4 – i3) / 2)
7	((5 – i4) * b) / 2	İ4 + ((5 – i4) / 3)



Şekil 3.28 Isıtma Değeri Orta - Yüksek a <= 0.286 b > = a Durumunda Ağırlık Merkezinin Bulunması.

$i1 = (a + 2)$ $i2 = (3.5 + a * 0.75)$ $i3 = (3.5 + b * 0.75)$ $i4 = (5 - 0.75 * b)$

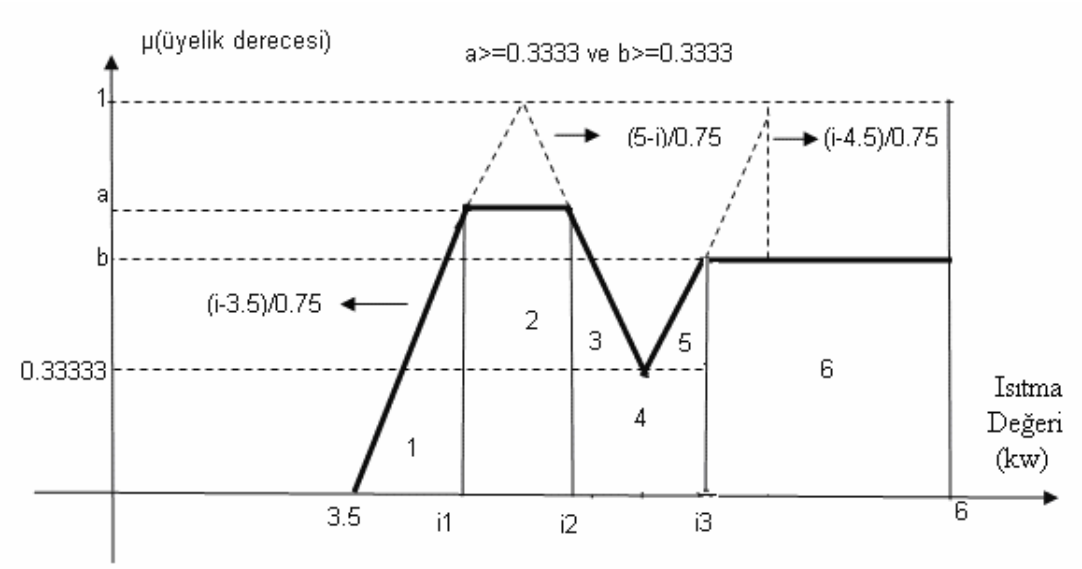
k	Ak	Aok
1	((i1 - 2) * a) / 2	i1 – ((i1 - 2) / 3)
2	(i3 –i1) * a	i1 + ((i3 – i1) / 2)
3	((i3 – i2) * (b – 0.286)) / 2	i2 + ((i3 - i2) / 3)
4	(i4 – i3) * b	i3 + ((i4 – i3) / 2)
5	((5 – i4) * b) / 2	i4 + ((5 – i4) / 3)



Şekil 3.29 Isıtma Değeri Yüksek – Çok Yüksek a <= 0.33333 b > = a Durumunda Ağırlık Merkezinin Bulunması.

$i1 = (3.5 + 0.75 * a)$ $i2 = (4.5 + 0.75 * a)$ $i3 = (4.5 + 0.75 * b)$

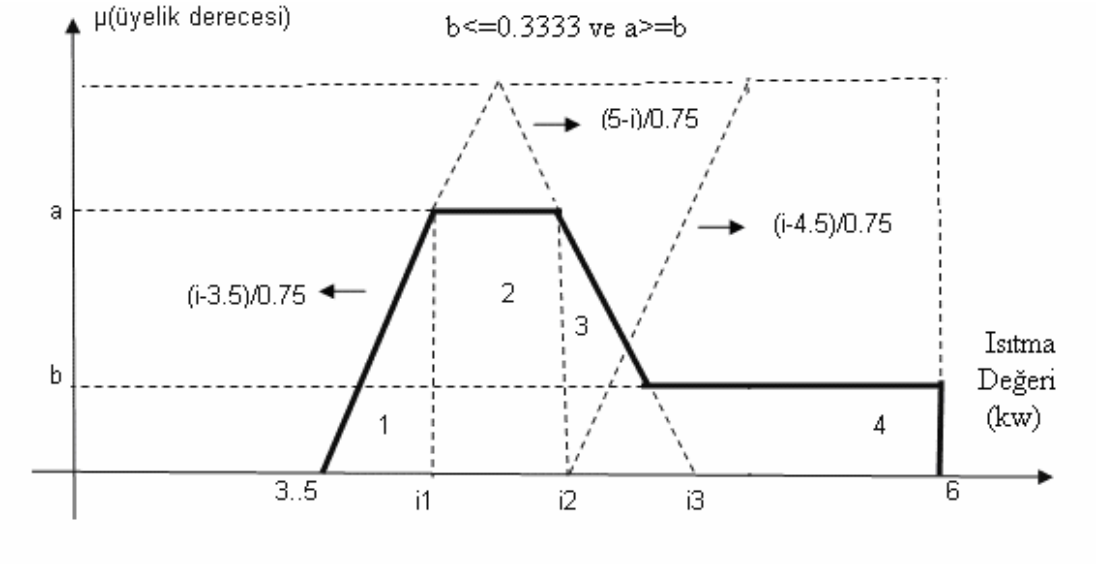
k	Ak	Aok
1	$((i1 - 3.5) * a) / 2$	$i1 - ((i2 - 3.5) / 3)$
2	$(i3 - i1) * a$	$i1 + ((i3 - i2) / 2)$
3	$((i3 - i2) * (b - a)) / 2$	$i3 - ((i3 - i2) / 3)$
4	$(6 - i3) * b$	$i3 + ((6 - i3) / 2)$



Şekil 3.30 Isıtma Değeri Yüksek – Çok Yüksek a >= 0.33333 b > = 0.33333 Durumunda Ağırlık Merkezinin Bulunması.

$i1 = (3.5 + 0.75 * a)$ $i2 = (5 - 0.75 * a)$ $i3 = (4.5 + 0.75 * b)$

k	Ak	Aok
1	$((i1 * 3.5) * a) / 2$	$i1 - ((i1 - 3.5) / 3)$
2	$(i2 - i1) * a$	$i1 + ((i2 - i1) / 2)$
3	$((4.75 - i2) * (a - 1 / 3)) / 2$	$i2 + ((4.75 - i2) / 3)$
4	$(i3 - i2) * 1 / 3$	$i2 + ((i3 - i2) / 2)$
5	$((i3 - 4.75) * (b - 1 / 3)) / 2$	$i3 - ((i3 - 4.75) / 3)$
6	$(6 - i3) * b$	$i3 + ((6 - i3) / 2)$



Şekil 3.31 Isıtma Değeri Yüksek – Çok Yüksek b< = 0.33333 a >= b Durumunda Ağırlık Merkezinin Bulunması.

$i1 = (3.5 + 0.75 * a)$ $i2 = (5 - 0.75 * a)$ $i3 = (5 - 0.75 * b)$

k	Ak	Aok
1	$((i1 - 3.5) * a) / 2$	$i1 - ((i1 - 3.5) / 3)$
2	$(i2 - i1) * a$	$i1 + ((i2 - i1) / 2)$
3	$((i3 - i2) * (a - b)) / 2$	$i2 + ((i3 - i2) / 3)$
4	$(6 - i2) * b$	$i2 + ((6 - i2) / 2)$

3.3. Tasarlanan Ara Yüzün Tanıtılması

Sistemin yazılımı Delphi 7.0'da geliştirilmiştir. Şekil 3.32'de görüldüğü gibi program başlangıcında kullanıcıya iki seçenek geliyor. Bunlardan birincisi "Kullanıcı tarafından değerler girilsin", ikinci ise "Rastgele değerler girilsin" seçeneğidir. "Rastgele değerler girilsin" seçeneği seçilirse program giriş değerlerine sayıları verilmiş sınırları dikkate alınarak kendi üretecek ve çıkış değerlerini hesaplayacaktır. "Kullanıcı tarafından değerler girilsin" seçeneği seçildiğinde Şekil 3.33'de görüldüğü gibi ekrana programın bir sonraki aşaması olan ara yüzü gelmektedir. Burada

sıcaklık, hava nemi, ışık şiddeti, toprak nemi, karbondioksit miktarı ve rüzgar hızı giriş değerleri girilerek ve "Tüm değerlere uygula" butonuna basılarak diğer işlemlere geçilir. Bu işlemler Giriş parametrelerin bulanıklaştırma derecelerinin hesaplanması, üyelik derecelerinin belirlenmesi, kural tabanları göz önüne alınarak yazılan program çıkış değerlerini hesaplamasından oluşmaktadır. Tüm hesaplamalar sekiz rakam hassasiyetiyle hesaplanmıştır. Giriş değerlerinin alt ve üstünü aşan değerlerin girilmesi durumunda program uyarı vermektedir. Şekil 3.32'de tasarlanan programın giriş seçeneğinin görüntüsü verilmiştir.

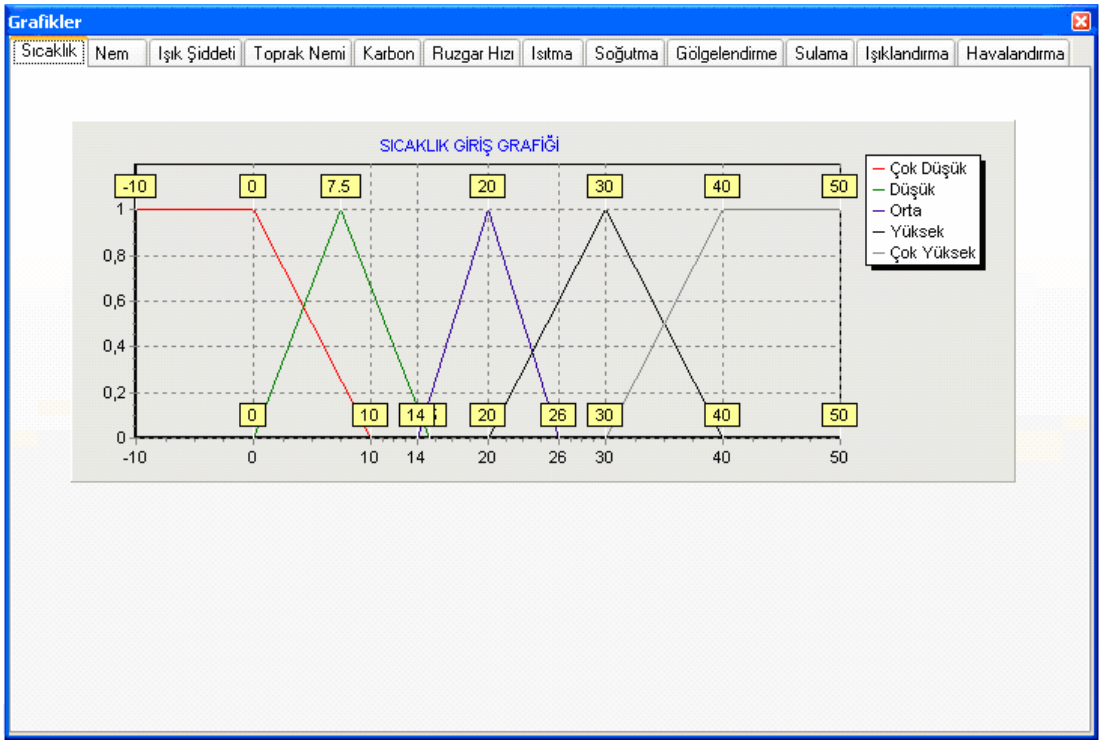


Şekil 3.32 Programın Giriş Seçeneğinin Görüntüsü.

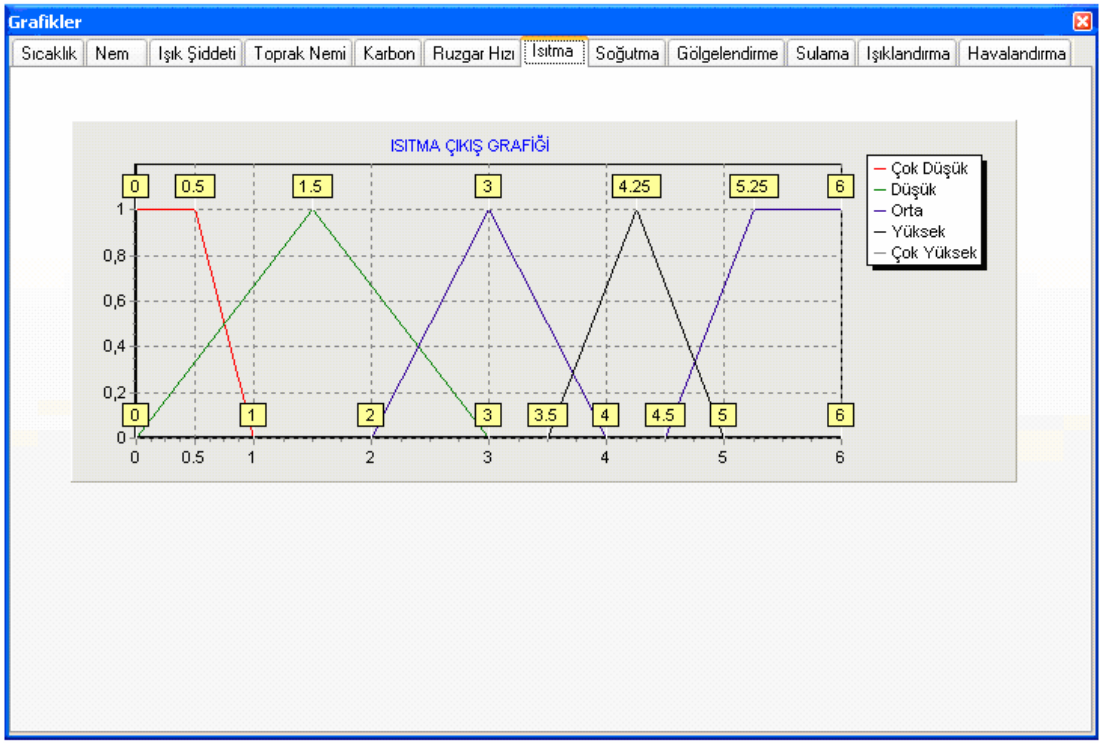
Tasarlanan programın arayüzü, programın ürettiği sıcaklık değerlerinin genel grafiği, ısıtma çıkış üyelik değerleri ve uygulanan kural tabanları bir örnek üzerinden verilmektedir (Şekil 3.33, 3.34, 3.35 ve 3.36).



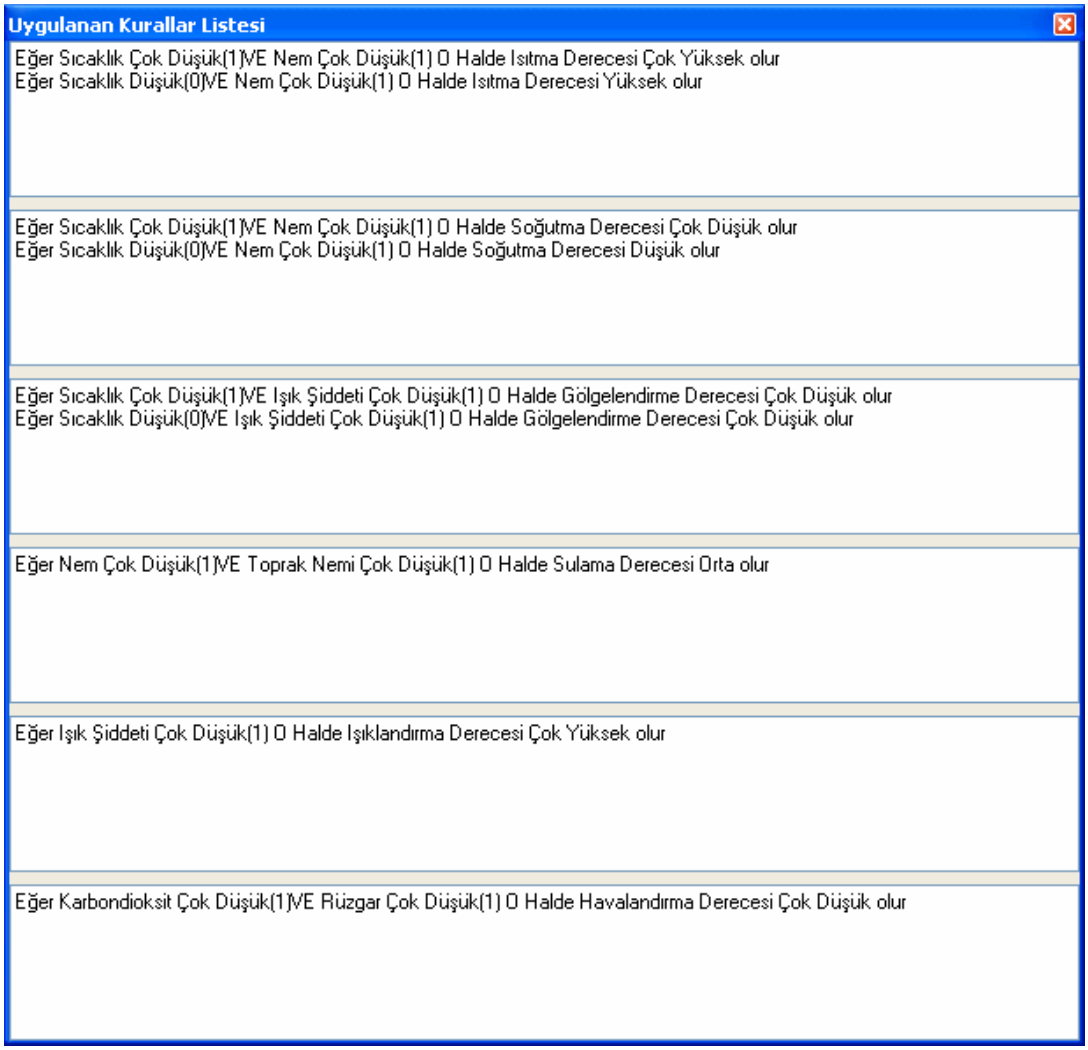
Şekil 3.33 Programın Ana Sayfa Görüntüsü.



Şekil 3.34 Sıcaklık Giriş Üyelik Değerleri.



Şekil 3.35 Isıtma Çıkış Üyelik Değerleri.



Şekil 3.36 Uygulanan Kural Tabanı.

3.4. Bulanık Kontrol Sera Otomasyonu İçin Uygulama Sonuçları

Programa, çeşitli veri değerleri girilerek simülasyon yapılmıştır. Bütün durumlarda programın çalışma sonuçları sera kontrolör değerlerine uygun bulunmuştur. Ayrıca, yapılmış olan program sonuçları ile, aynı veriler üzerinden çalıştırılmış Matlab Fuzzy Toolbox sonuçları karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırmada hata oranı % 0 ile % 0.6 arasında çıktığı gözlemlenmiştir. Bu hata oranının çok düşük olduğunu görülmektedir. Dolayısıyla yapılmış olan program sera otomasyonunda kullanılabilir olarak kabul edilebilir.

Isıtma, soğutma, gölgeleme, sulama, ışıklandırma ve havalandırma çıkış değerlerinin sonuçlarının Matlab programı sonuçları ile karşılaştırılması (Tablo 3.9 – Tablo 3.14) arasında verilmiştir.

Tablo 3.9'da Tasarlanan ısıtma BUS ile Matlab programının karşılaştırılması verilmiştir.

Tablo 3.9 Tasarlanan Isıtma BUS ile Matlab Programının Karşılaştırılması.

Sıcaklık	Hava Nemi	Matlab	Tasarlanan BUS	Hata Miktarı	Hata Oranı Yüzdesi (%)
-10	0	5,43243243	5,43750000	0,00506757	0,09319669
-10	50	5,34831858	5,33653846	0,01178012	0,22074459
-10	100	4,25002132	4,25000000	0,00002132	0,00050164
0	0	5,43243243	5,43750000	0,00506757	0,09319669
0	50	5,34831858	5,33653846	0,01178012	0,22074459
0	100	4,25002132	4,25000000	0,00002132	0,00050164
10	0	4,25021582	4,25000000	0,00002132	0,00507811
10	50	4,24972972	4,25000000	0,00027028	0,00635952
10	100	3,00000000	3,00000000	0,00000000	0,00000000
20	0	3,00000000	3,00000000	0,00000000	0,00000000
20	50	3,00000000	3,00000000	0,00000000	0,00000000
20	100	1,50000000	1,50000000	0,00000000	0,00000000
30	0	1,50000000	1,50000000	0,00000000	0,00000000
30	50	1,50000000	1,50000000	0,00000000	0,00000000
30	100	1,50000000	1,50000000	0,00000000	0,00000000
40	0	0,37366153	0,37500000	0,00133847	0,35692533
40	100	0,373661538	0,37500000	0,00133846	0,35692320
50	0	0,373661538	0,37500000	0,00133846	0,35692320
50	100	0,373661538	0,37500000	0,00133846	0,35692320

Tablo 3.10'da Tasarlanan Soğutma BUS ile Matlab programının karşılaştırılması verilmiştir.

Tablo 3.10 Tasarlanan Soğutma BUS ile Matlab Programının Karşılaştırılması.

Sıcaklık	Hava Nemi	Matlab	Tasarlanan BUS	Hata Miktarı	Hata Oranı Yüzdesi (%)
-10	0	1,86830769	1,87500000	0,00669231	0,35692320
-10	40	1,88038554	1,89102564	0,01064010	0,56266291
-10	100	1,86830769	1,87500000	0,00669231	0,35692320
0	0	1,86830769	1,87500000	0,00669231	0,35692320
0	40	1,88038554	1,87500000	0,00538554	0,28722880
0	100	1,86830769	1,87500000	0,00669231	0,35692320
10	0	7,50000000	7,50000000	0,00000000	0,00000000
10	50	7,50000000	7,50000000	0,00000000	0,00000000
10	100	7,50000000	7,50000000	0,00000000	0,00000000
20	0	7,50000000	7,50000000	0,00000000	0,00000000
20	50	15,00000000	15,00000000	0,00000000	0,00000000
20	100	15,00000000	15,00000000	0,00000000	0,00000000
30	0	15,00000000	15,00000000	0,00000000	0,00000000
30	50	15,00000000	15,00000000	0,00000000	0,00000000
30	100	20,50000000	20,50000000	0,00000000	0,00000000
40	0	20,50000000	20,50000000	0,00000000	0,00000000
40	100	26,9656097	27,00000000	0,03439030	0,12737148
50	0	20,50000000	20,50000000	0,00000000	0,00000000
50	100	26,9656097	27,00000000	0,03439030	0,12737148

Tablo 3.11'de Tasarlanan Gölgeleme BUS ile Matlab programının karşılaştırılması verilmiştir.

Tablo 3.11 Tasarlanan Gölgeleme BUS ile Matlab Programının Karşılaştırılması.

Sıcaklık	Işık Şiddeti	Matlab	Tasarlanan BUS	Hata Miktarı	Hata Oranı Yüzdesi (%)
-10	0	18,68307690	18,75000000	0,06692308	0,35692309
-10	10000	75,00000000	75,00000000	0,00000000	0,00000000
-10	20000	150,00000000	150,00000000	0,00000000	0,00000000
0	0	18,68307690	18,75000000	0,06692308	0,35692309
0	10000	75,00000000	75,00000000	0,00000000	0,00000000
0	20000	150,00000000	150,00000000	0,00000000	0,00000000
10	7500	75,00000000	75,00000000	0,00000000	0,00000000
10	10000	75,00000000	75,00000000	0,00000000	0,00000000
10	20000	205,00000000	205,00000000	0,00000000	0,00000000
20	7500	75,00000000	75,00000000	0,00000000	0,00000000
20	10000	150,00000000	150,00000000	0,00000000	0,00000000
20	20000	205,00000000	205,00000000	0,00000000	0,00000000
30	0	75,00000000	75,00000000	0,00000000	0,00000000
30	7500	75,00000000	75,00000000	0,00000000	0,00000000
30	10000	150,00000000	150,00000000	0,00000000	0,00000000
40	0	75,00000000	75,00000000	0,00000000	0,00000000
40	20000	265,78260900	266,25000000	0,46739131	0,17554603
50	0	75,00000000	75,00000000	0,00000000	0,00000000
50	20000	265,78260900	266,25000000	0,46739131	0,17554603

Tablo 3.12'de Tasarlanan Sulama BUS ile Matlab programının karşılaştırılması verilmiştir.

Tablo 3.12 Tasarlanan Sulama BUS ile Matlab Programının Karşılaştırılması.

Hava Nemi	Toprak Nemi	Matlab	Tasarlanan BUS	Hata Miktarı	Hata Oranı Yüzdesi (%)
0	0	42,35245901	42,50000000	0,14754099	0,34715527
100	0	19,50000000	19,50000000	0,00000000	0,00000000
0	10	42,35245901	42,50000000	0,14754099	0,34715527
100	10	19,50000000	19,50000000	0,00000000	0,00000000
0	20	42,35245901	42,50000000	0,14754099	0,34715527
100	20	19,50000000	19,50000000	0,00000000	0,00000000
0	30	41,3169014	41,25000000	0,06690140	0,16218521
100	30	19,50000000	19,50000000	0,00000000	0,00000000
0	40	30,00000000	30,00000000	0,00000000	0,00000000
100	40	19,50000000	19,50000000	0,00000000	0,00000000
0	50	30,00000000	30,00000000	0,00000000	0,00000000
100	50	19,50000000	19,50000000	0,00000000	0,00000000
0	60	30,00000000	30,00000000	0,00000000	0,00000000
100	60	19,50000000	19,50000000	0,00000000	0,00000000
0	70	30,00000000	30,00000000	0,00000000	0,00000000
100	70	9,50000000	9,50000000	0,00000000	0,00000000
0	80	19,50000000	19,50000000	0,00000000	0,00000000
100	80	9,50000000	9,50000000	0,00000000	0,00000000
0	90	9,50000000	9,50000000	0,00000000	0,00000000
0	100	9,50000000	9,50000000	0,00000000	0,00000000

Tablo 3.13'de Tasarlanan Işıklandırma BUS ile Matlab programının karşılaştırılması verilmiştir.

Tablo 3.13 Tasarlanan Işıklandırma BUS ile Matlab Programının Karşılaştırılması.

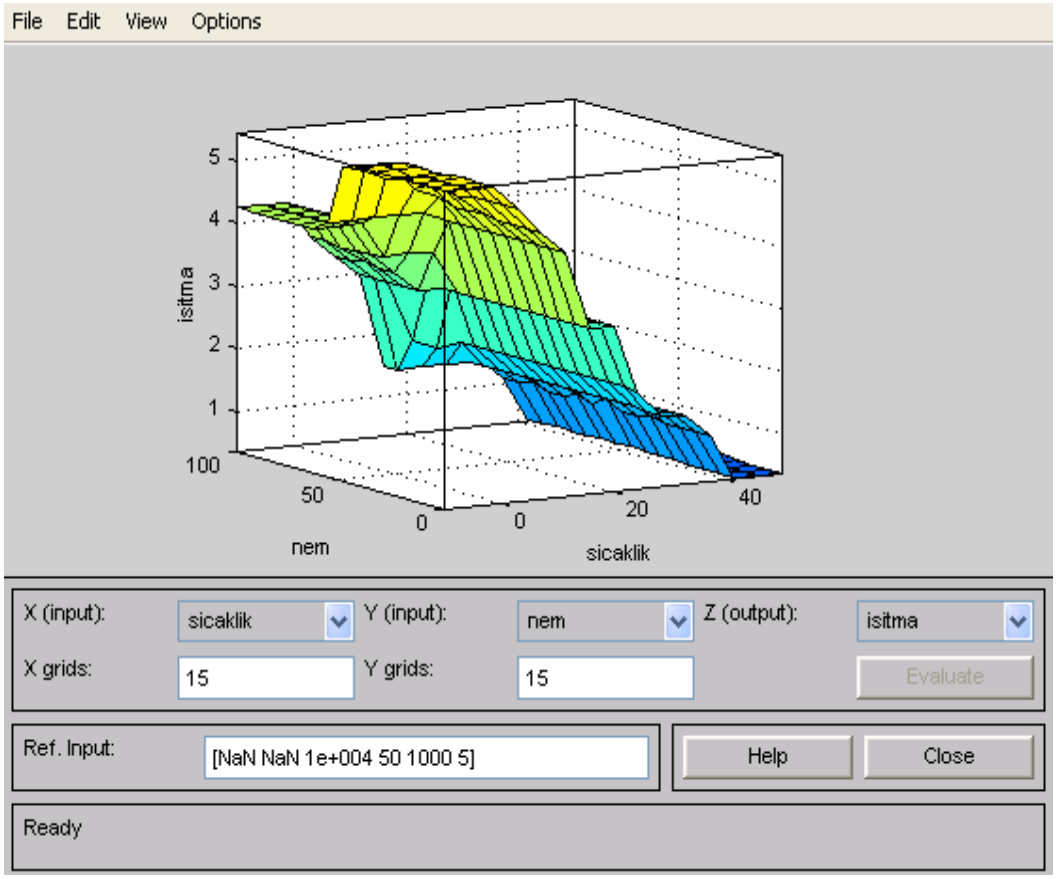
Işık Şiddeti	Matlab	Tasarlanan BUS	Hata Miktarı	Hata Oranı Yüzdesi (%)
0	17718,84058000	17750,00000000	31,15942030	0,17554603
2000	17718,84058000	17750,00000000	31,15942030	0,17554603
5000	13500,00000000	13500,00000000	0,00000000	0,00000000
8000	13500,00000000	13500,00000000	0,00000000	0,00000000
9000	10000,00000000	10000,00000000	0,00000000	0,00000000
12000	5000,00000000	5000,00000000	0,00000000	0,00000000
15000	5000,00000000	5000,00000000	0,00000000	0,00000000
17000	355,55555560	355,00000000	0,55555555	0,15649452
20000	333,33333330	333,00000000	0,33333333	0,10010010

Tablo 3.14'de Tasarlanan Havalandırma BUS ile Matlab programının karşılaştırılması verilmiştir.

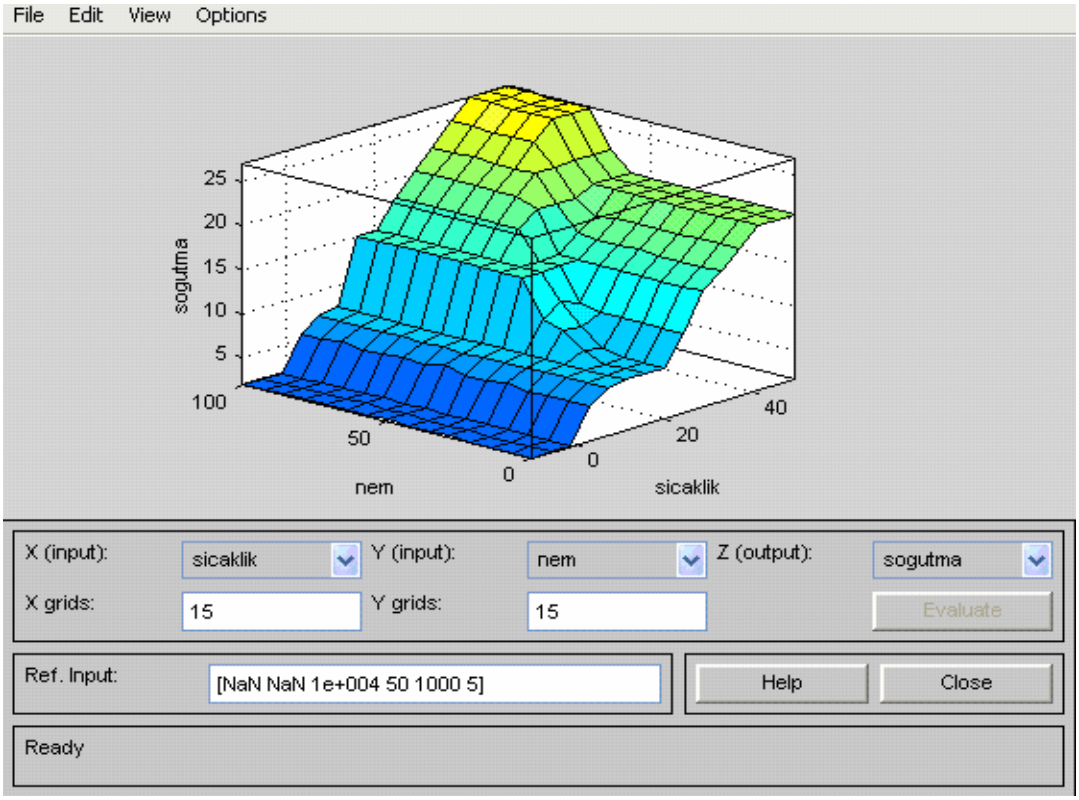
Tablo 3.14 Tasarlanan Havalandırma BUS ile Matlab Programının Karşılaştırılması.

CO_2	Rüzgar Hızı	Matlab	Tasarlanan BUS	Hata Miktarı	Hata Oranı Yüzdesi (%)
0	0	15,00000000	15,00000000	0,00000000	0,00000000
2000	1	53,54812164	53,43750000	0,11062164	0,20701125
0	2	15,00000000	15,00000000	0,00000000	0,00000000
2000	3	42,50021321	42,50000000	0,00021321	0,00050167
0	4	4,255425577	4,25607582	0,00065024	0,01527799
0	5	30,00000000	30,00000000	0,00000000	0,00000000
2000	5	3,73661538	3,75000000	0,01338462	0,35692320
2000	7	30,00000000	30,00000000	0,00000000	0,00000000
0	8	30,00000000	30,00000000	0,00000000	0,00000000
2000	9	3,73661538	3,75000000	0,01338462	0,35692320
0	10	19,50000000	19,50000000	0,00000000	0,00000000

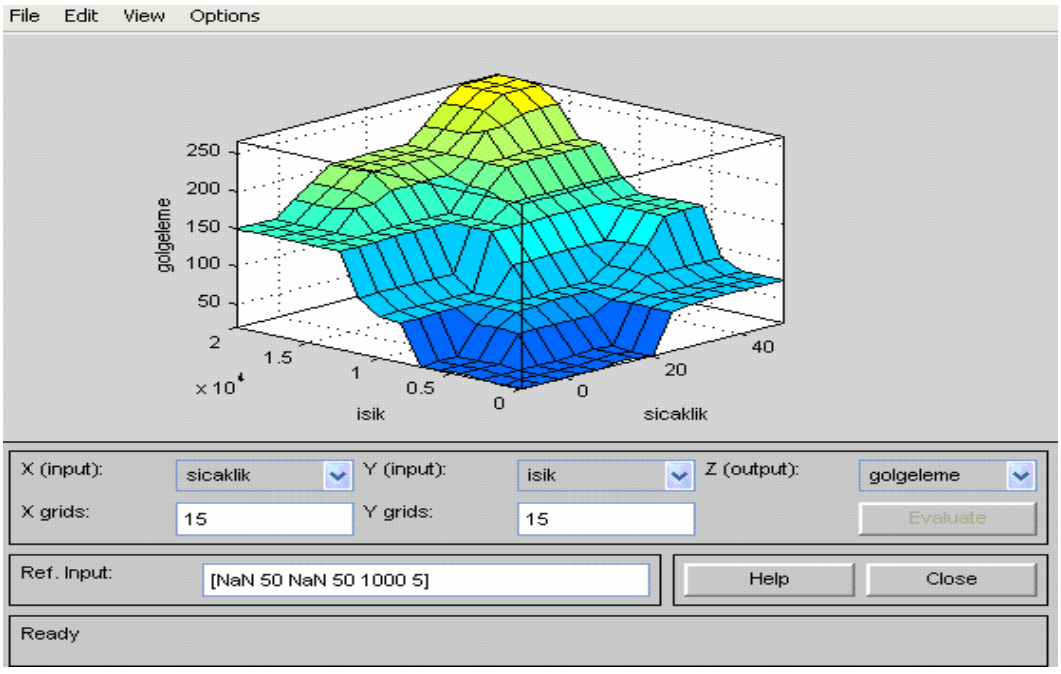
Tablolardan da görüldüğü gibi yapılan hesaplamalar Matlab programına göre doğru kabul etmek mümkündür. Bundan dolayı Matlab'ın zengin grafik olanaklarını kullanabiliriz. Şekil 3.37 ile 3.42 arası ısıtma, soğutma, gölgeleme, sulama, ışıklandırma ve havalandırma çıkış değerinin Matlab programında grafiksel gösterimi verilmiştir.



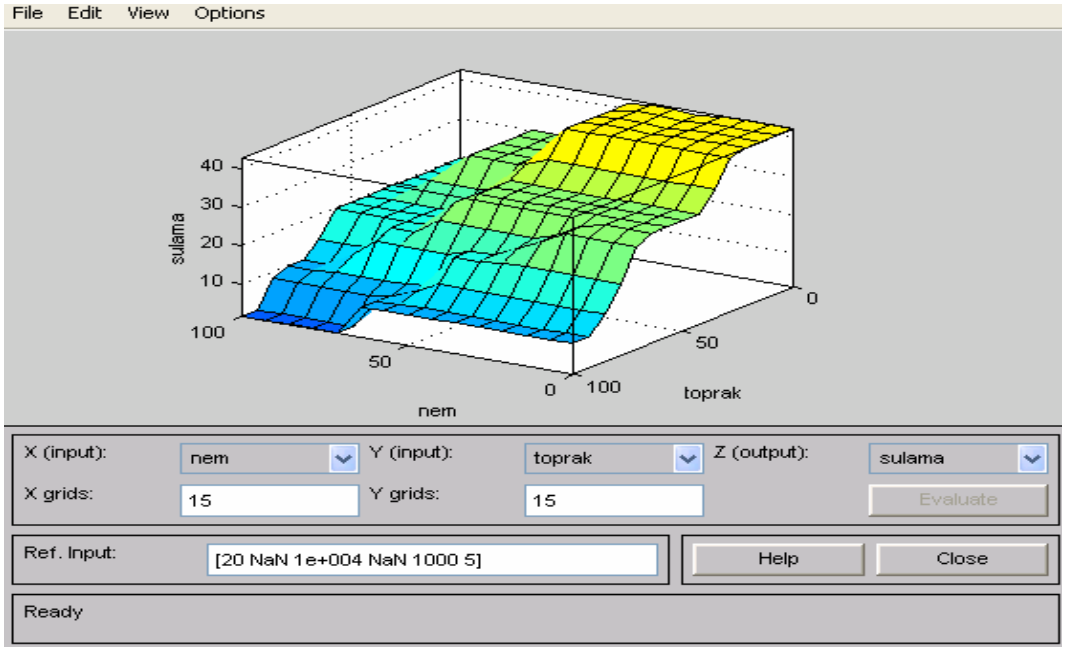
Şekil 3.37 Sıcaklık ve Hava Neminin Isıtma Çıkış Değerine Etkisinin Matlab Programında Gösterimi.



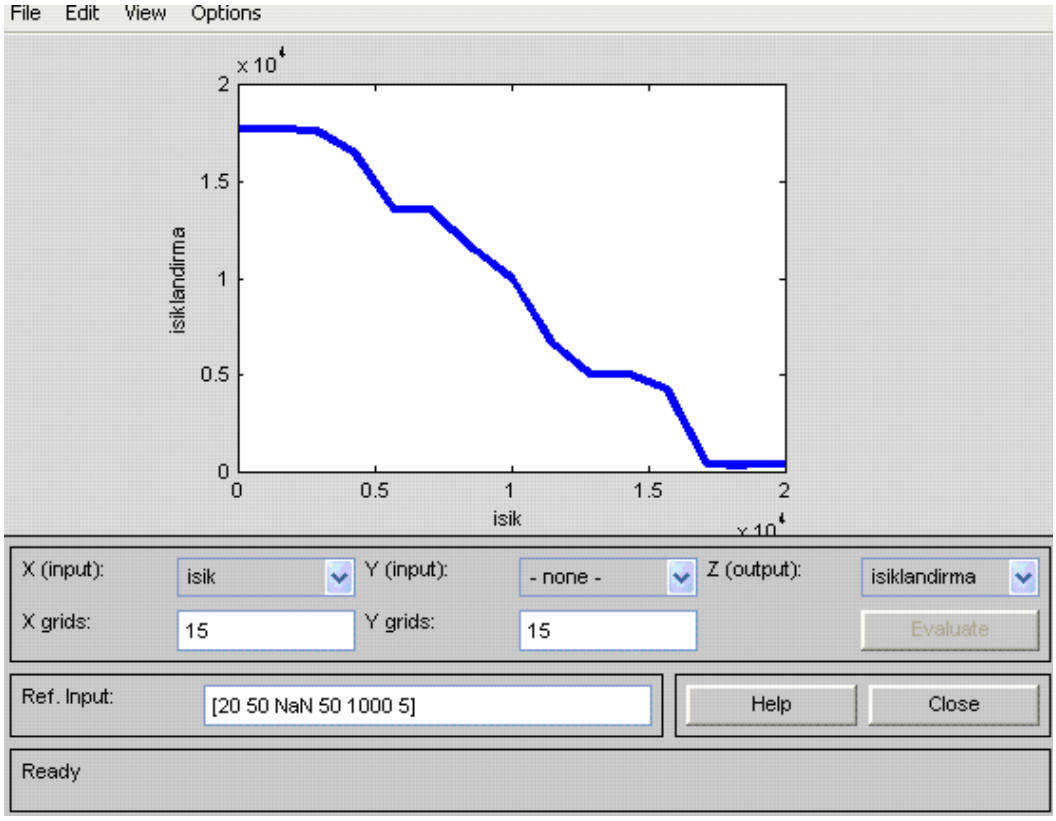
Şekil 3.38 Sıcaklık ve Hava Neminin Soğutma Çıkış Değerine Etkisinin Matlab Programında Gösterimi.



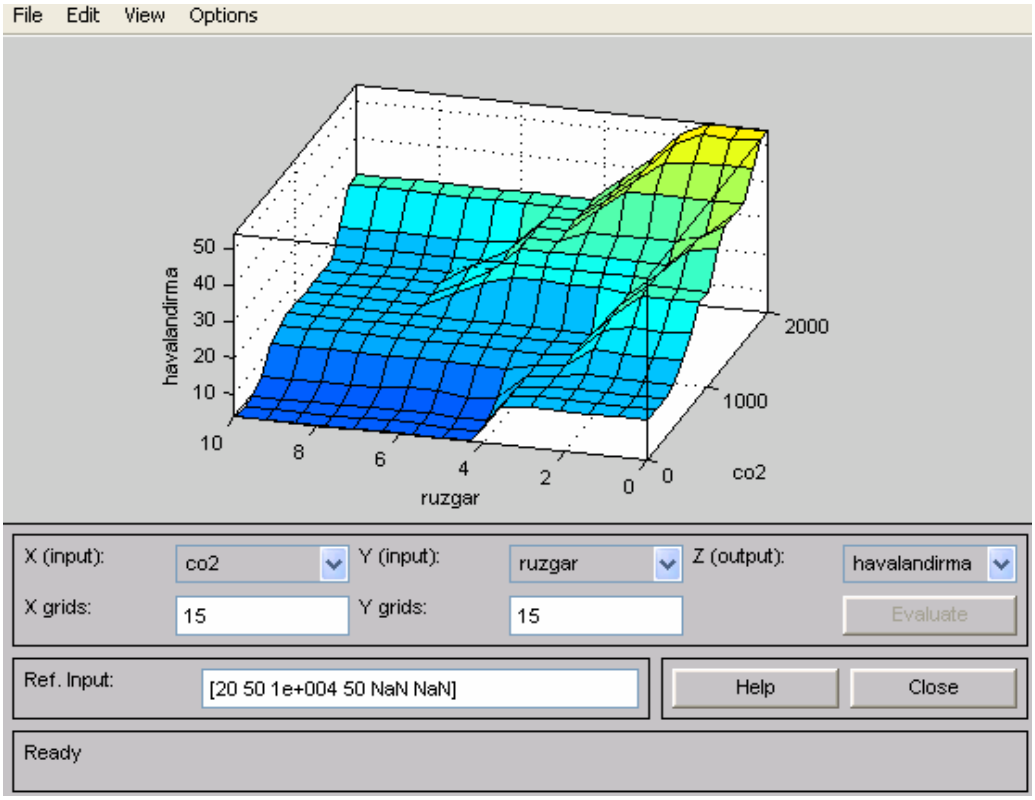
Şekil 3.39 Sıcaklık ve Işık Şiddetinin Gölgeleme Çıkış Değerine Etkisinin Matlab Programında Gösterimi.



Şekil 3.40 Hava Neminin ve Toprak Neminin Sulama Çıkış Değerine Etkisinin Matlab Programında Gösterimi.



Şekil 3.41 Işık Şiddetinin Işıklandırma Çıkış Değerine Etkisinin Matlab Programında Gösterimi.



Şekil 3.42 Karbondioksit Miktarı ve Rüzgar Hızının Havalandırma Çıkış Değerine Etkisini Matlab Programında Gösterimi.

4. ÖRNEK UYGULAMALAR

4.1. Örnek Uygulama 1

Sera içinde sıcaklık 5 ºC ve hava nemi oranı % 21 olsun. Bu durumda ısıtma çıkış değeri için seraya verilen ısı kaç kilowaat (kw) olacaktır?

Çözüm:

Sıcaklık 5 °C için;

$$\mu_{\text{Çok Düsük}}(x) = \begin{cases} -10 \le x \le 0 \;\; ;1 \\ 0 \le x \le 10 \;\; ;(10 - x)/10 \\ x > 10 \;\;\;\; ;0 \end{cases}$$

$$\mu_{\text{Düsük}}(x) = \begin{cases} x < 0 \text{ veya } x > 15 \;\; ;0 \\ 0 \le x \le 7.5 \,; (x - 0)/7.5 \\ 7.5 \le x \le 15; (15 - x)/7.5 \end{cases}$$

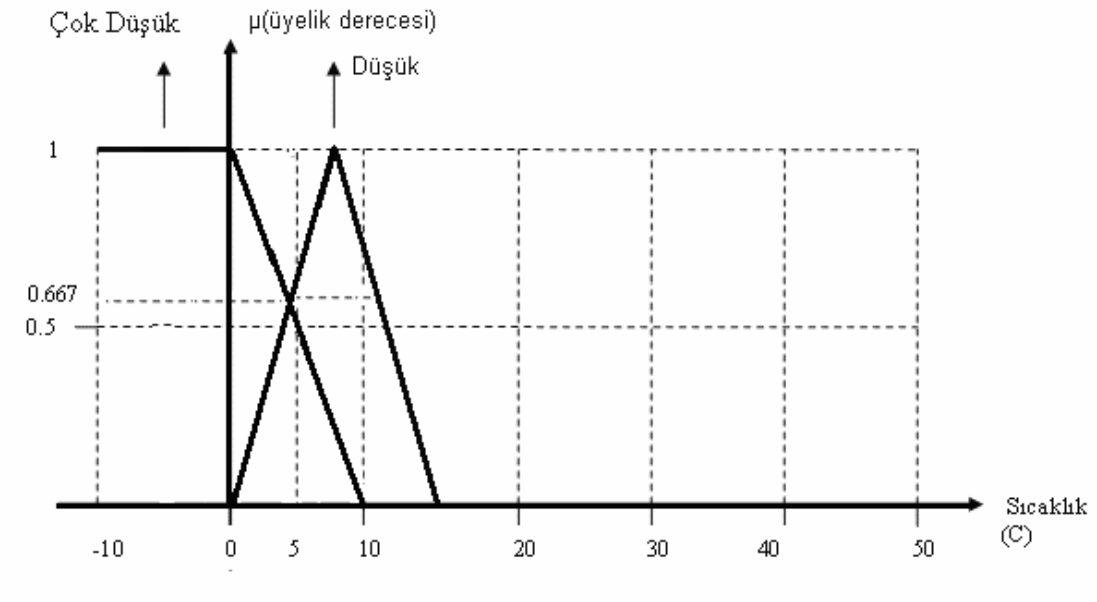
$$\mu_{\text{Çok Düsük}}(x) = 0 \le x \le 10 \,;\; (10 - x)/10$$

şartından dolayı Çok Düşük μ(x) = 0.5 olarak bulunur.

$$\mu_{\text{Düsük}}(x) = 0 \le x \le 7.5 \,;\; (x - 0)/7.5$$

şartından dolayı Düşük μ(x) = 0.66666667 olarak bulunur.

Sıcaklık 5 ° C'nin diğer kümelere üyeliği sıfırdır.



Şekil 4.1 Sıcaklık 5 ºC Değerinin Grafiksel Gösterimi.

Hava nemi % 21 için;

$$\mu_{Cok\ \text{Düsük}}(y) = \begin{cases} 0 \le y \le 20 & ;1 \\ 20 \le y \le 40 & ;(40 - y)/20 \\ y > 40 & ;0 \end{cases}$$

$$\mu_{\text{Düsük}}(y) = \begin{cases} y < 0 \text{ veya } y > 59 & ;0 \\ 20 \le y \le 39.5 & ;(y - 20)/19.5 \\ 39.5 \le y \le 59 & ;(59 - y)/19.5 \end{cases}$$

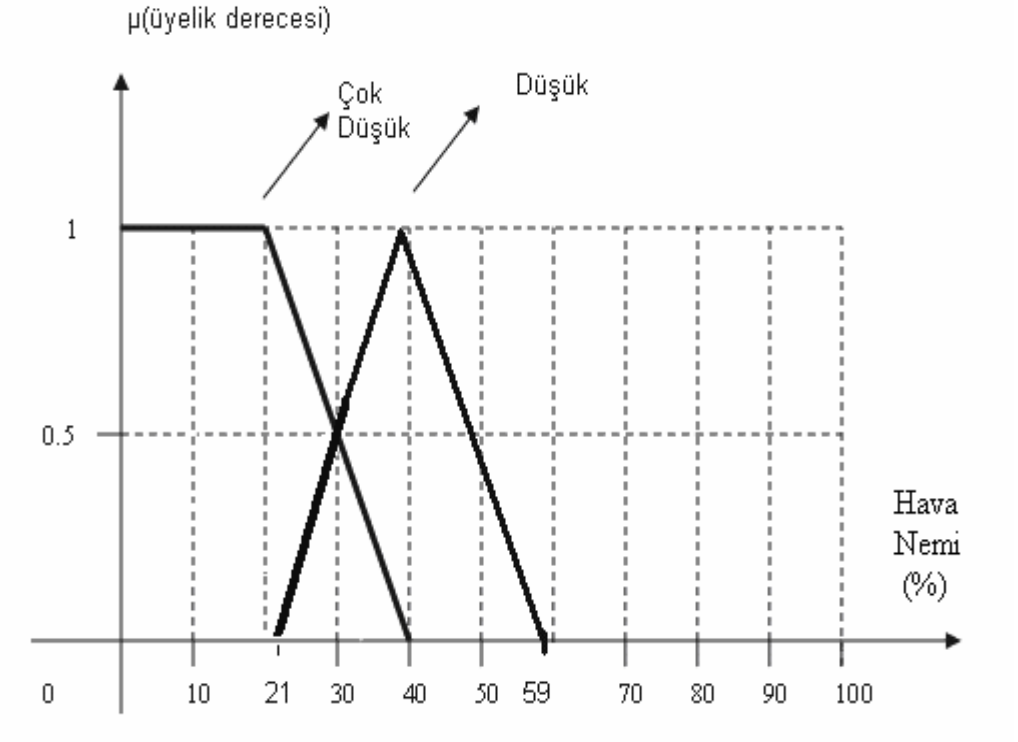
$$\mu_{\text{Çok Düsük}}(y) = 20 \le y \le 40\,;(40 - y)/20$$

şartından dolayı Çok Düşük μ(y) = 0.95 olarak bulunur.

$$\mu_{\text{Düsük}}(y) = 20 \le y \le 39.5;(y - 20)/19.5$$

şartından dolayı Düşük μ(y) = 0.05128205 olarak bulunur.

Hava nemi % 21'nin diğer kümelere üyeliği sıfırdır.



Şekil 4.2 Hava Nemi % 21 Değerinin Grafiksel Gösterimi.

Bunun sonucunda aşağıdaki kurallar uygulanır.

"Eğer Sıcaklık Çok Düşük (0.5) **VE** Hava nemi Çok Düşük (0.95) o halde ısıtma çıkış değeri **Çok Yüksek (0.5)"**.

"Eğer Sıcaklık Çok Düşük (0.5) **VE** Hava nemi Düşük (0.05128205) o halde ısıtma çıkış değeri **Çok Yüksek (0.05128205)"**.

"Eğer Sıcaklık Düşük (0.66666667) **VE** Hava nemi Çok Düşük (0.95) o halde ısıtma çıkış değeri **Yüksek (0.66666667)"**.

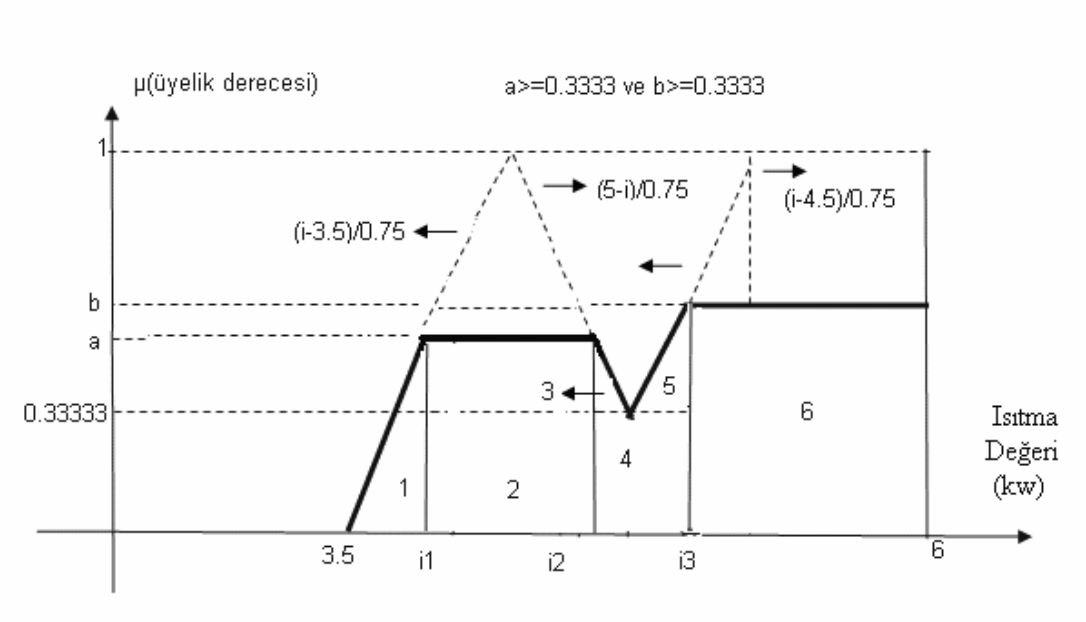
"Eğer Sıcaklık Düşük (0.66666667) **VE** Hava nemi Düşük (0.05128205) o halde ısıtma çıkış değeri **Yüksek (0.05128205)"**.

Bu durumda 1. kural için, 0.5 $\wedge$ 0.95 = 0.5 bulunur. 2. kural için, 0.5 $\wedge$ 0.05128205 = 0.05128205 bulunur. 3. kural için, 0.66666667 $\wedge$ 0.95 = 0.66666667 bulunur. 4. kural için, 0.66666667 $\wedge$ 0.05128205 = 0.05128205 bulunur. Birden fazla kural ateşlenmiştir ve max-min yöntemine göre, 0.5 V 0.05128205 V 0.66666667 V 0.05128205 = 0.66666667 bulanık çıkış değeri elde edilir.

Bu değerin durulaştırılması için ağırlık ortalaması yöntemi kullanılmıştır. Bu durumda ısıtma çıkış değeri için çok yüksek ve yüksek kümeleri dikkate alınır.

$$\mu_{Çok\ Yüksek}(i) = \begin{cases} i < 4.5 \text{ veya } i > 6 \ ; 0 \\ 4.5 \le i \le 5.25 \ ; (i - 4.5) / 0.75 \\ 5.25 \le i \le 6; \ 1 \end{cases}$$

$$\mu_{Yüksek}(i) = \begin{cases} i < 3.5 \text{ veya } i > 5 \ ; 0 \\ 3.5 \le i \le 4.25 \ ; (i - 3.5) / 0.75 \\ 4.25 \le i \le 5; (5 - i) / 0.75 \end{cases}$$



Şekil 4.3 Isıtma Derecesinin Yüksek ve Çok Yüksek Grafik Gösterimi.

i1 = (3.5 + 0.75 * a) i2 = (5 – 0.75 * a) i3 = (4.5 + 0.75 * b)

k	Ak	Aok
1	((i1 * 3.5) * a) / 2	i1 – ((i1 – 3.5) / 3)
2	(i2 – i1) * a	i1 + ((i2 – i1) / 2)
3	((4.75 – i2) * (a – 1 / 3)) / 2	i2 + ((4.75 – i2) / 3)
4	(i3 – i2) * 1 / 3	i2 + ((i3 – i2) / 2)
5	((i3 – 4.75) * (b – 1 / 3)) / 2	i3 – ((i3 – 4.75) / 3)
6	(6 – i3) * b	i3 + ((6 – i3) / 2)

Burada a = 0.5 ve b =0.66666667'dir. Bunun sebebi çok yüksek 0.5 ile 0.05128205 arasında maksimumu alarak a' ya atanır. Yüksek 0.5 ile 0.055128205 arasında maksimumu alarak b'ye atanır.

Şekil 4.3'de verilen şeklin alanları ve ağırlık ortalama hesaplanır.

i1 = 3.5 + 0.75 * 0.5 = 3.875'dir.

i2 = 5 – 0.75 * 0.5 = 4.625'dir.

i3 = 4.5 + 0.75 *0.66666667 = 5'dir.

Ak1 = ((i1 – 3.5) * a / 2) = ((3.875 – 3.5) * 0.5 / 2) = 0.09375'dir.

Aok1 = i1 – ((i1 – 3.5) / 3) = 3.875 – ((3.875 – 3.5) / 3) = 3.75'dir.

Ak2 = (i2 – i1) * a = (4.625 – 3.875) *0.5 = 0.375'dir.

Aok2 = i1 + ((i2 –i1) / 2) = 3.875 + ((4.625 -3.875) / 2) = 4.25'dir.

Ak3 = ((4.75 – i2) (a – 1/3)) / 2 = ((4.75 – 4.625) * (0.5 – 1/3)) / 2 = 0.104167'dir.

Aok3 = i2 + ((4.75 – i2) / 3) = 4.625 + ((4.75 – 4.625) / 3) = 4.66666667'dir.

Ak4 = (i3 – i2) * 1/ 3 = (5 – 4.625) * 1/ 3 = 0.125'dir.

Aok4 = i2 + ((i3 - i2) / 2) = 4.625 + ((5 – 4.625) / 2) = 4.8125'dir.

Ak5 = ((i3 – 4.75) * (b – 1/3)) / 2 = (5 -4.75) * (0.66666667 – 1/3)) / 2
= 0.0416666'dır.

Aok5 = i3 – ((i3 – 4.75)) / 3 = 5 – ((5 – 4.75)) / 3 = 4.91666666'dır.

Ak6 = (6 –i3) * b = (6 -5) * 0.66666667 = 0.66666667'dir.

Aok6 = i3 + ((6 –i3)/ 2) = 5 + ((6 – 5)/2) = 5.5'dir.

Aort = (Ak1 * Aok1 + Ak2 * Aok2 + Ak3 * Aok3 + Ak4 * Aok4 + Ak5 * Aok5 + Ak6 * Aok6) / (Ak1 + Ak2 + Ak3 + Ak4 + Ak5 +Ak6)

Aort = (0.09375 * 3.75 + 0.375 * 4.25 + 0.104167 * 4. 66666667 + 0.125 * 4.8125 + 0.04166666 * 4.91666666 + 0.66666667 * 5.5) / (0.09375 + 0.375 + 0.104167 + 0.125 + 0.04166666 + 0.66666667)

Aort = 4.79306723 kw olarak durulaştırılmış çıkış değeri elde edilir, yani seradaki ısıtma çıkış değeri 4.79306723 kw olmalıdır.

Aynı örnek için bu değer Matlab programında **4.8075 kw** olarak hesaplandı ve buradanda hata oranın % 0.4 den küçük olduğu görülmektedir.

Ayrıca konunun uzmanı bu değerler verildiğinde seraya 5.1 kw ısı değerini öngörmüştür. Bu yüzden tasarlanan BUS geleneksel kontrole göre avantajlıdır ve enerji tasarrufu sağlamıştır.

4.2. Örnek Uygulama 2

Sera içinde sıcaklık 44 ºC ve hava nemi oranı % 63 olsun. Bu durumda soğutma çıkış değeri için seraya verilen su miktarı kalınlığı kaç micron olacaktır?

Çözüm:

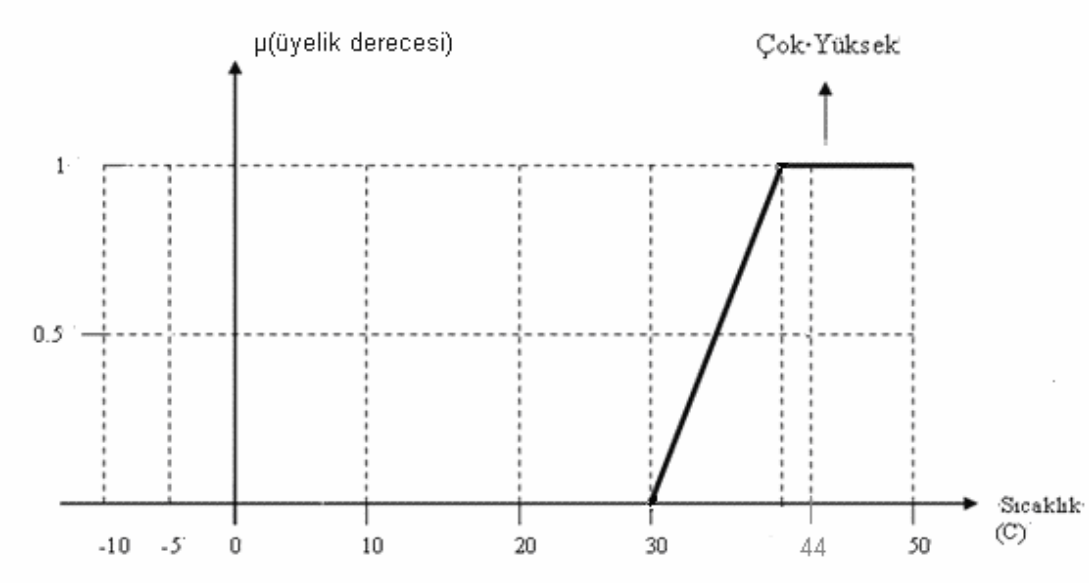
Sıcaklık 44 °C için;

$$\mu_{Çok\ \text{Yüksek}}(x) = \begin{cases} x < 30 \text{ veya } x > 50 \ ; 0 \\ 30 \le x \le 40 \, ; (x - 30)/10 \\ 40 \le x \le 50; \ 1 \end{cases}$$

$$\mu_{\text{Çok Yüksek}}(x) = 40 \le x \le 50 \, ; 1$$

şartından dolayı Çok Yüksek μ(x) = 1 olarak bulunur.

Sıcaklık 44 °C'nin diğer kümelere üyeliği sıfırdır.



Şekil 4.4 Sıcaklık 44 ºC Değerinin Grafiksel Gösterimi.

Hava nemi % 63 için;

$$\mu_{Orta}(y) = \begin{cases} y < 50 \text{ veya } y > 70 \;\; ; 0 \\ 50 \le y \le 60 \,; (y-50)/10 \\ 60 \le y \le 70; (70-y)/10 \end{cases}$$

$$\mu_{Yüksek}(y) = \begin{cases} y < 60 \text{ veya } y > 90 \;\; ; 0 \\ 60 \le y \le 75 \,; (y-60)/15 \\ 75 \le y \le 90; (90-y)/15 \end{cases}$$

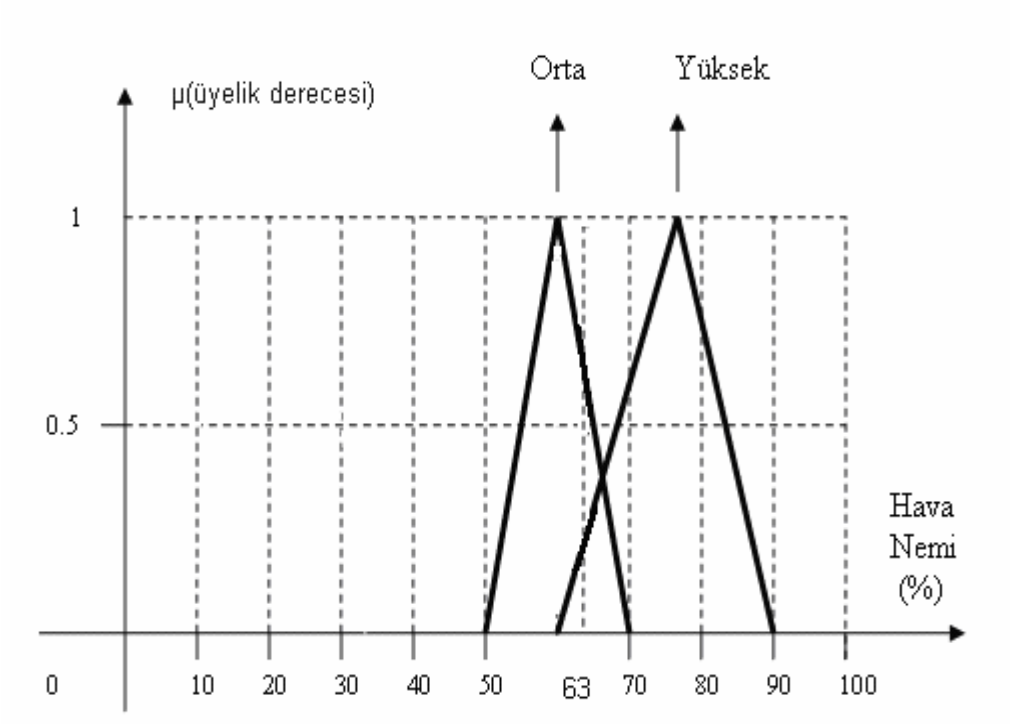
$$\mu_{\text{orta}}(y) = 60 \le y \le 70 \,; (70 - y)/10$$

şartından dolayı Orta μ(y) = (63-50) / 10 = 0.7 olarak bulunur.

$$\mu_{\text{yüksek}}(y) = 60 \le y \le 75 \,; (y-60)/15$$

şartından dolayı Yüksek μ(y)=(63-60) / 15 = 0.2 olarak bulunur.

Hava nemi % 63'nün diğer kümelere üyeliği sıfırdır.



Şekil 4.5 Hava Nemi % 63 Değerinin Grafiksel Gösterimi.

Bunun sonucunda aşağıdaki kurallar uygulanır.

"Eğer Sıcaklık Çok Yüksek (1) **VE** Hava nemi Orta (0.7) o halde soğutma çıkış değeri **Yüksek (0.7)"**.

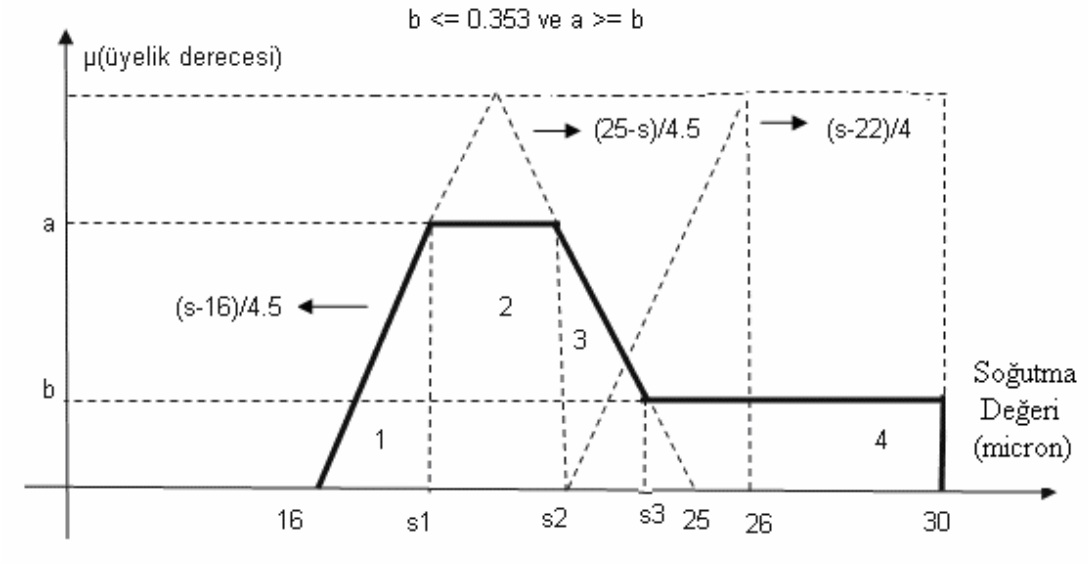
"Eğer Sıcaklık Çok Yüksek (1) **VE** Hava nemi Orta (0.2) o halde soğutma çıkış değeri **Çok Yüksek (0.2)**.**"**

Bu durumda ilk kural için, $1 \wedge 0.7 = 0.7$ bulunur. İkinci kural için, $1 \wedge 0.2 = 0.2$ bulunur. Birden fazla kural ateşlenmiştir ve max-min yöntemine göre: $0.7 \vee 0.2 = 0.7$ bulanık çıkış değeri elde edilir.

Bu değerin durulaştırılması için ağırlık ortalaması yöntemi kullanılmıştır. Bu durumda soğutma çıkış değeri için Yüksek ve Çok yüksek kümeleri dikkate alınır.

$$\mu_{Yüksek}(s) = \begin{cases} s < 16 \text{ veya } s > 25 \;\; ; 0 \\ 16 \le s \le 20.5 \,; (s-16)/4.5 \\ 20.5 \le s \le 25; (25-s)/4.5 \end{cases}$$

$$\mu_{Çok\ Yüksek}(s) = \begin{cases} s < 22 \text{ veya } s > 30 \;\; ; 0 \\ 22 \le s \le 26 \,; (s-22)/4 \\ 26 \le s \le 30; \; 1 \end{cases}$$



Şekil 4.6 Soğutma Derecesinin Yüksek ve Çok Yüksek Grafiksel Gösterimi.

Şekil 4.6'da verilen şeklin alanları ve ağırlık ortalama hesaplanır.

(s1 - 16) / 4.5 = a eşitliğinden s1 = 16 + 4.5 * a'dır.

(25 – s2) / 4.5 = a eşitliğinden s2 = 25 - 4.5 * a'dır.

(25 – s3) / 4.5 = b eşitliğinden s3 = 25 -4.5 * b'dir.

k	Ak	Aok
1	$((s1-16)*a)/2$	$s1-(s1-16)/3$
2	$(s2-s1)*a$	$s1+((s2-s1)/2$
3	$((s3-s2)*(a-b))/2$	$s2+((s3-s2)/3)$
4	$(30-s2)*b$	$s2+((30-s2)/2$

Burada a = 0.7 ve b =0.2'dir. Bunun sebebi çok yüksek 1 ile orta 0.7 arasında minimumu 0.7'e alınarak a'ya atanır. Çok yüksek 1 ile orta 0.2 arasında minimumu 0.2 b'ye atanır.

s1 = 16 + 4.5 * 0.7 = 16 + 3.15 = 19.15'dir.

s2 = 25 – 4.5 * a = 25 – 3.15 = 21.85'dir.

s3 = 25 – 4.5 * b = 25 – 0.9 = 24.1'dir.

Ak1 = ((s_1 -16) * a)/2 = ((19.15 - 16) * 0.7) /2 = 1.1025'dir.

Ak2 = (s2-s1) * a = (21.85 – 19.15) * 0.7 = 1.89'dur.

Ak3 = ((s3 – s2) * (a-b)) / 2 = ((24.1 - 21.85) * (0.7 – 0.2)) / 2 = 0.5625'dir.

Ak4 = (30 – S2) * b = (30 -21.85) * 0.2 = 1.63'dür.

Aok1 = s1 - (s1 -16) / 3 = 19.15 - (19.15 – 16) / 3 = 18.1'dir.

Aok2 = s1 + ((s2 – s1) / 2) = 19.15 + ((21.85 – 19.15)/2 = 20.5'dir.

Aok3 = s2 + ((s3 - s2) / 3) = 21.85 + ((24.1 – 21.85) / 3) = 22.6'dır.

Aok4 = s2 + ((30 - s2) / 2) = 21.85 + ((30 – 21.85) / 2) = 25.925'dir.

Aort = (Ak1 * Aok1 + Ak2 * Aok2 + Ak3 * Aok3 + Ak4 * Aok4) / (Ak1 + Ak2 + Ak3 + Ak4)

Aort = (1.1025 * 18.1 + 1.89 * 20.5 + 0.5625 * 22.6 + 1.63 * 25.925) / (1.1025 + 1.89 + 0.5625 + 1.63)

Aort = (19.95525 + 38.745 + 12.7125 + 42.25775) / (5.185)

Aort = 21.92295082 micron olarak durulaştırılmış çıkış değeri elde edilir, yani seradaki soğutma çıkış değeri 21.92295082 micron olmalıdır.

Aynı örnek için bu değer Matlab programında **21.969 micron** olarak hesaplandı ve buradan da hata oranın % 0.2'den küçük olduğu görülmektedir.

Ayrıca konunun uzmanı bu değerler verildiğinde seraya 26 micron kalınlığında su değerini öngörmüştür. Bu yüzden tasarlanan BUS geleneksel kontrole göre avantajlıdır ve enerji tasarrufu sağlamıştır.

4.3. Örnek Uygulama 3

Sera içinde ışık şiddeti 9000 lux olsun. Bu durumda ışıklandırma çıkış değeri için seraya verilmesi gereken aydınlık şiddeti (lux) kaç olmalıdır?

Çözüm:

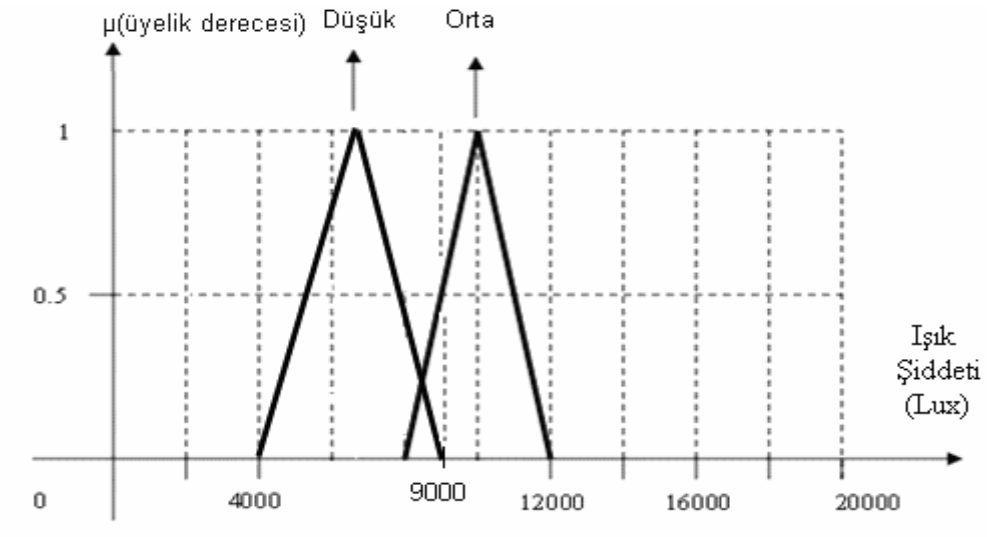
Işık şiddeti 9000 için;

$$\mu_{\text{Düsük}}(z) = \begin{cases} z < 4000 \text{ veya } z > 9000 \;\; ; 0 \\ 4000 \le z \le 6500 \; ; (z - 4000)/2500 \\ 6500 \le z \le 9000 \; ; (9000 - z)/2500 \end{cases}$$

$$\mu_{Orta}(z) = \begin{cases} z < 8000 \text{ veya } z > 12000 \;\; ; 0 \\ 8000 \le z \le 10000 \; ; (z - 8000)/2000 \\ 10000 \le z \le 12000 \; ; (12000 - z)/2000 \end{cases}$$

$\mu_{\text{Düsük}}(z) = 6500 \le z \le 9000 \; ; (9000 - z)/2500$
şartından dolayı Düşük μ(z) = 0 olarak bulunur.
$\mu_{\text{Orta}}(z) = 8000 \le z \le 10000 \; ; (z - 8000)/2000$
şartından dolayı Düşük μ(z) = 0.5 olarak bulunur.

Işık şiddeti 9000 lux'ün değerinin diğer kümelere üyeliği sıfırdır.



Şekil 4.7 Işık Şiddeti 9000 Lux Değerinin Grafiksel Gösterimi.

Bunun sonucunda aşağıdaki kural uygulanır.

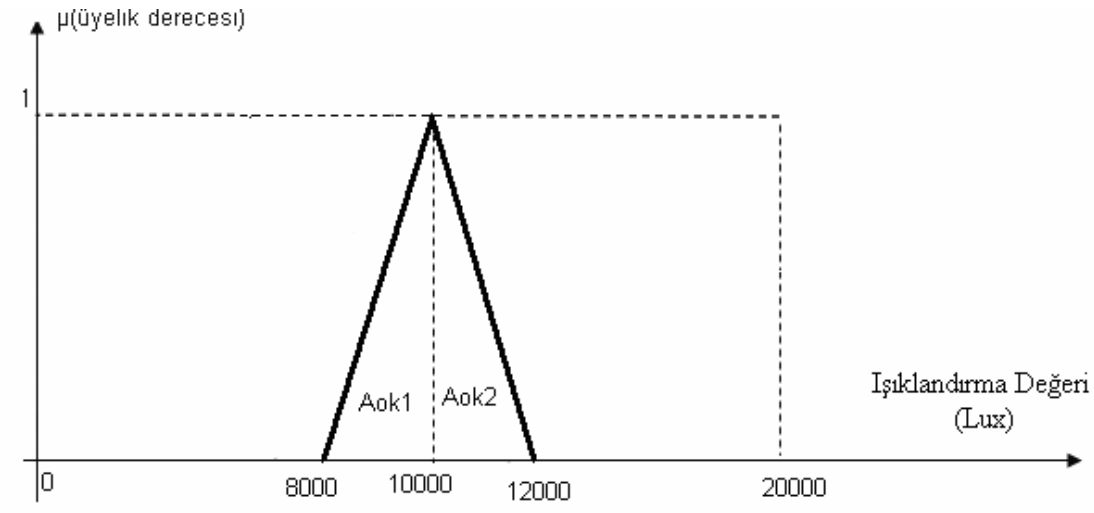
"Eğer Işık şiddeti Düşük (0) ise o halde ışıklandırma çıkış değeri **Yüksek(0)**."

"Eğer Işık şiddeti Orta (0.5) ise o halde ışıklandırma çıkış değeri **Orta (0.5)**."

Bu durumda ilk kural için, 0 bulunur. İkinci kural için, 0.5 bulunur. Birden fazla kural ateşlenmiştir ve max-min yöntemine göre: $0 \vee 0.5 = 0.5$ bulanık çıkış değeri elde edilir.

Bu değerin durulaştırılması için ağırlık ortalaması yöntemi kullanılmıştır. Bu durumda ışıklandırma çıkış değeri için Orta ve Yüksek kümeleri dikkate alınır. Fakat Yüksek kümesinin üyelik derecesi sıfır olduğu için sadece orta kümesi ele alınır.

$$\mu_{Orta}(\imath) = \begin{cases} \imath < 8000 \text{ veya } \imath > 12000 \ ; 0 \\ 8000 \le \imath \le 10000 \ ; (\imath - 8000)/2000 \\ 10000 \le \imath \le 12000; (12000 - \imath)/2000 \end{cases}$$



Şekil 4.8 Işıklandırma Derecesinin Düşük Grafiksel Gösterimi.

Şekil 4.8'de verilen şeklin alanları ve ağırlık ortalama hesaplanır.

Ak1 = (10000 -8000) /2 = 1000'dir.

Aok1 = 10000 –((10000 - 8000)/3) = 9333.33333334'dür.

Ak2 = (12000 -10000) / 2 = 1000'dir.

Aok2 = 10000 + ((12000 – 10000) / 3) = 10666.66666667'dir.

Aort = (Ak1 * Aok1 + Ak2 * Aok2) / Ak1 + Ak2

Aort = (1000 * 9333.33333334 + 1000 * 10666.66666667) / 2000

Aort = 10000 Lux olarak durulaştırılmış çıkış değeri elde edilir, yani seradaki ışık şiddeti çıkış değeri 10000 Lux olmalıdır.

Aynı örnek için bu değer Matlab programında **10000 Lux** olarak hesaplandı ve buradanda hata oranı % sıfır olduğu görülmektedir.

Ayrıca konunun uzmanı bu değerler verildiğinde seraya 11000 lux aydınlık şiddeti değerini öngörmüştür. Bu yüzden tasarlanan BUS geleneksel kontrole göre avantajlıdır ve enerji tasarrufu sağlamıştır.

4.4. Örnek Uygulama 4

Sera içinde sıcaklık 9 ºC ve ışık şiddeti 9000 lux olsun. Bu durumda serada gölgeleme çıkış değeri için güneş ışığını kesecek düzenek kaç cm olmalıdır?

Çözüm:

Sıcaklık 9 ºC için;

$$\mu_{\text{Çok Düsük}}(x) = \begin{cases} -10 \le x \le 0 \;\; ;1 \\ 0 \le x \le 10 \;\; ;(10 - x)/10 \\ x > 10 \;\;\;\; ;0 \end{cases}$$

$$\mu_{\text{Düsük}}(x) = \begin{cases} x < 0 \text{ veya } x > 15 \;\; ;0 \\ 0 \le x \le 7.5 ; (x - 0)/7.5 \\ 7.5 \le x \le 15; (15 - x)/7.5 \end{cases}$$

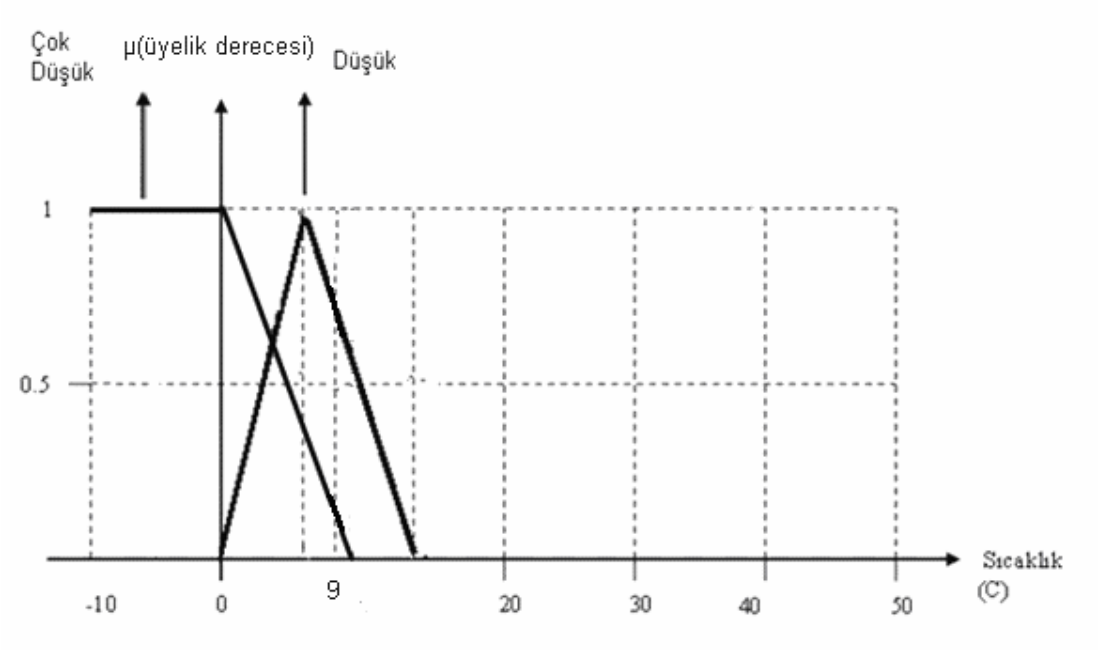
$\mu_{\text{Çok Düsük}}(x) = 0 \le x \le 10 ; (10 - x)/10$

şartından dolayı Çok Düşük μ(x) = (10 – x) / 10 = (10 -9) / 10 = 0.1 olarak bulunur.

$\mu_{\text{Düsük}}(x) = 7.5 \le x \le 15 ; (15 - x)/7.5$

şartından dolayı Düşük μ(x) = (15 – x) / 7.5 = (15 - 9) / 7.5 = 0.8 olarak bulunur.

Sıcaklık 9 °C'nin diğer kümelere üyeliği sıfırdır.



Şekil 4.9 Sıcaklık 9 ºC Değerinin Grafiksel Gösterimi.

$$\mu_{\text{Düsük}}(z) = \begin{cases} z < 4000 \text{ veya } z > 9000 \;\; ; 0 \\ 4000 \le z \le 6500 \,; (z - 4000) / 2500 \\ 6500 \le z \le 9000 \,; (9000 - z) / 2500 \end{cases}$$

$$\mu_{Orta}(z) = \begin{cases} z < 8000 \text{ veya } z > 12000 \;\; ; 0 \\ 8000 \le z \le 10000 \,; (z - 8000) / 2000 \\ 10000 \le z \le 12000 \,; (12000 - z) / 2000 \end{cases}$$

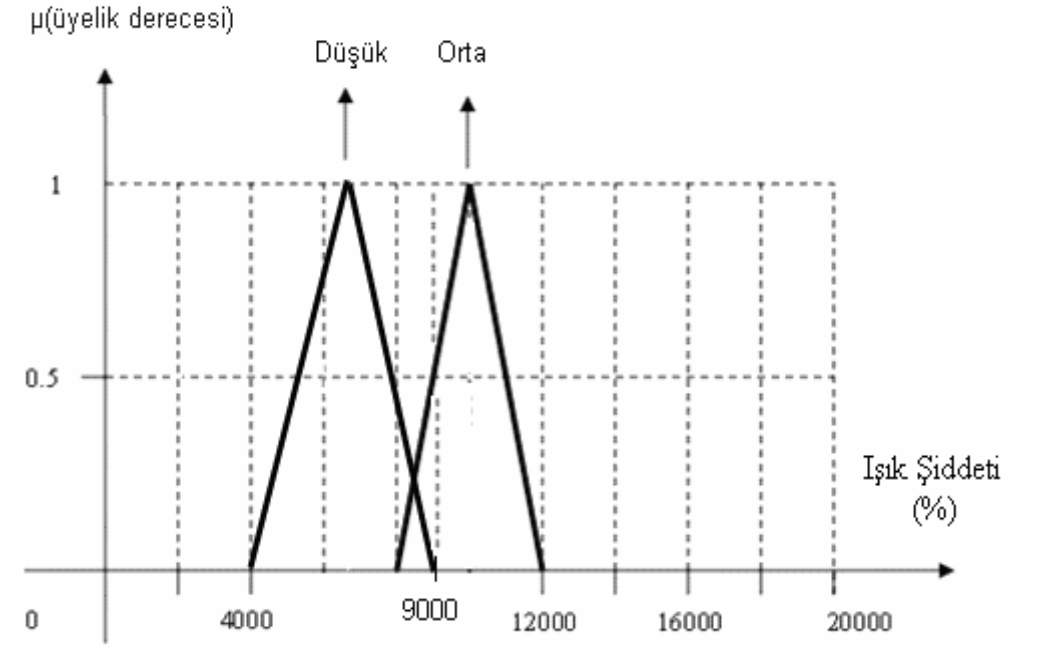
$$\mu_{\text{Düsük}}(z) = 6500 \le z \le 9000 \,; (9000 - z) / 2000$$

şartından dolayı Düşük μ(z) = (9000 – 9000) / 2000 = 0 / 2000 = 0 olarak bulunur.

$$\mu_{\text{Orta}}(z) = 8000 \le z \le 10000 \,; (z - 8000) / 2000$$

şartından dolayı Orta μ(z) = (9000 – 8000) / 2000 = 1000 / 2000 = 0.5 olarak bulunur.

Işık şiddeti 9000 lux' nün diğer kümelere üyeliği sıfırdır.



Şekil 4.10 Işık şiddetinin 9000 Lux Değerinin Gösterimi.

Bunun sonucunda aşağıdaki kurallar uygulanır.

"Eğer Sıcaklık Çok Düşük (0.1) **VE** ışık şiddeti Düşük (0) o halde gölgeleme çıkış değeri **Çok Düşük (0)"**.

"Eğer Sıcaklık Çok Düşük (0.1) **VE** ışık şiddeti Orta (0.5) o halde gölgeleme çıkış değeri **Düşük (0.1)"**.

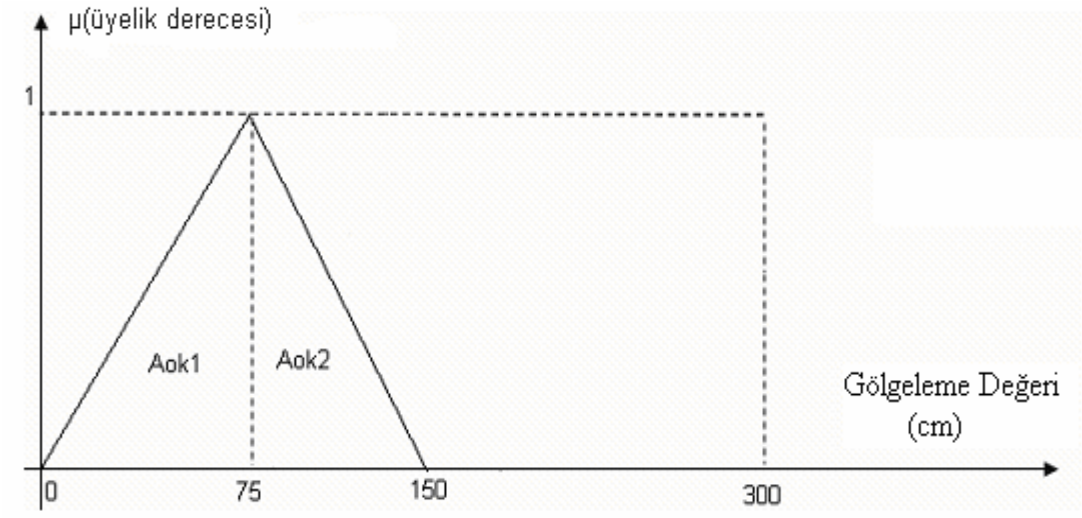
Eğer Sıcaklık Düşük (0.8) **VE** ışık şiddeti Düşük (0) o halde gölgeleme çıkış değeri **Düşük (0)"**.

Eğer Sıcaklık Düşük (0.8) **VE** ışık şiddeti Orta (0.5) o halde gölgeleme çıkış değeri **Düşük (0.5)"**.

Bu durumda ilk kural için, $0.1 \wedge 0 = 0$ bulunur. İkinci kural için, $0.1 \wedge 0.5 = 0.1$ bulunur. Üçüncü kural için, $0.8 \wedge 0 = 0$ bulunur. Dördüncü kural için, $0.8 \wedge 0.5 = 0.5$ bulunur. Birden fazla kural ateşlenmiştir ve max-min yöntemine göre: $0 \vee 0.1 \vee 0 \vee 0.5 = 0.5$ bulanık çıkış değeri elde edilir.

Bu değerin durulaştırılması için ağırlık ortalaması yöntemi kullanılmıştır. Bu durumda ışıklandırma çıkış değeri Çok Düşük ve Düşük kümeleri dikkate alınır. Ancak Çok Düşüğün üyelik değeri 0 olduğu için sadece Düşük durumu ele alınır.

$$\mu_{\text{Düsük}}(g) = \begin{cases} g < 0 \text{ veya } g > 150 \;\; ; 0 \\ 0 \le g \le 75 \,; (g - 0)/75 \\ 75 \le g \le 150; (150 - g)/75 \end{cases}$$



Şekil 4.11 Gölgeleme Derecesinin Düşük Grafiksel Gösterimi.

Şekil 4.11'de verilen şeklin alanları ve ağırlık ortalama hesaplanır.

Aok1 = 75 / 2 = 37.5'dir.

Aort 1= 75 –((75) / 3) = 50'dir.

Aok2 = (150 -75) / 2 = 37.5'dir.

Aort2 = 75 + (75 / 3) = 100'dür.

Aort = (Aok1 * Aort1 + Aok2 * Aort2) / Aok1 + Aok2

Aort = (37.5 * 50 + 37.5 * 100) / 37.5 + 37.5

Aort = (1875 + 3750) / 75

Aort = 75 cm olarak durulaştırılmış çıkış değeri elde edilir, yani seradaki gölgeleme çıkış değeri 75 cm olmalıdır.

Aynı örnek için bu değer Matlab programında **75 cm** olarak hesaplandı ve buradanda hata oranı % sıfır olduğu görülmektedir.

Ayrıca konunun uzmanı bu değerler verildiğinde seraya 75 cm ışığı kesecek değeri öngörmüştür. Tasarlanan BUS ile geleneksel kontrol değerleri aynıdır.

4.5. Örnek Uygulama 5

Sera içinde hava nemi % 30 ve toprak nemi % 70 olduğuna göre sulama çıkış değeri için kullanılacak olan su miktarı kaç litre olmalıdır?

Çözüm:

Hava nemi 30 için;

$$\mu_{Çok\ \text{Düsük}}(y) = \begin{cases} 0 \le y \le 20 \ ;1 \\ 20 \le y \le 40 \ ;(40 - y)/20 \\ y > 40 \ ;0 \end{cases}$$

$$\mu_{\text{Düsük}}(y) = \begin{cases} y < 0 \text{ veya } y > 59 \ ;0 \\ 20 \le y \le 39.5 \, ; (y - 20)/19.5 \\ 39.5 \le y \le 59; (59 - y)/19.5 \end{cases}$$

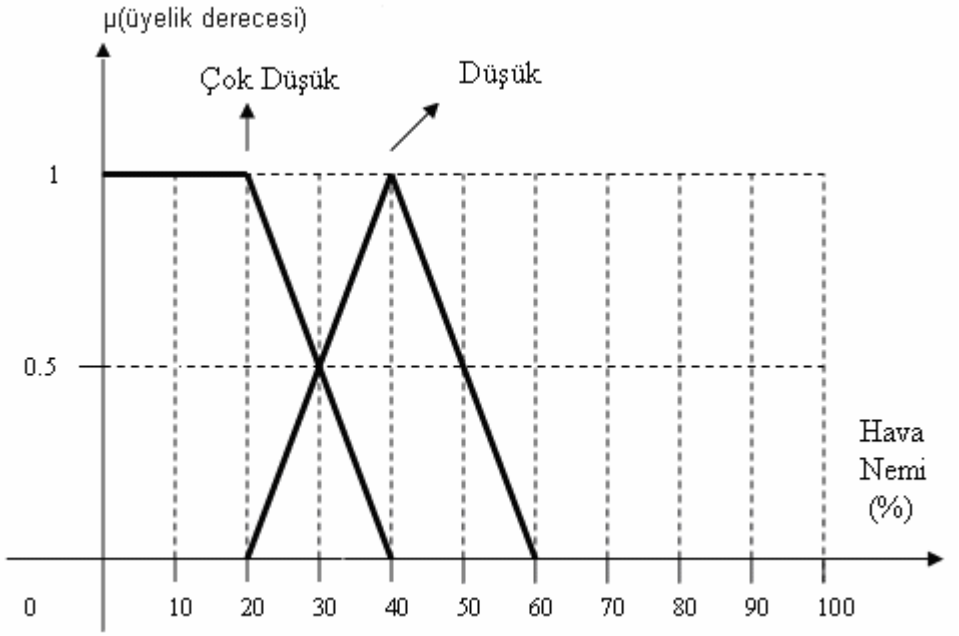
$$\mu_{\text{Çok Düsük}}(y) = 20 \le y \le 40 \, ; (40 - y)/20$$

şartlarından dolayı Çok Düşük μ(y) = (40 - 30) / 20 = 0.5 olarak bulunur.

$$\mu_{\text{Düsük}}(y) = 20 \le y \le 39.5 \, ; (y - 20)/19.5$$

şartlarından dolayı Düşük μ(y) = (30 - 20) / 19.5 = 0.51282051 olarak bulunur.

Hava nemi % 30'nun diğer kümelere üyeliği sıfırdır.



Şekil 4.12 Hava Nemi % 30 Değerinin Grafiksel Gösterimi.

Toprak nemi %70 için;

$$\mu_{Orta}(t) = \begin{cases} t < 60 \text{ veya } t > 79 \;\; ; 0 \\ 60 \le t \le 69.5 \; ; (t-60)/9.5 \\ 69.5 \le t \le 79 \; ; (79-t)/9.5 \end{cases}$$

$$\mu_{Yüksek}(t) = \begin{cases} t < 70 \text{ veya } t > 90 \;\; ; 0 \\ 70 \le t \le 80 \; ; (t-70)/10 \\ 80 \le t \le 90 \; ; (90-t)/10 \end{cases}$$

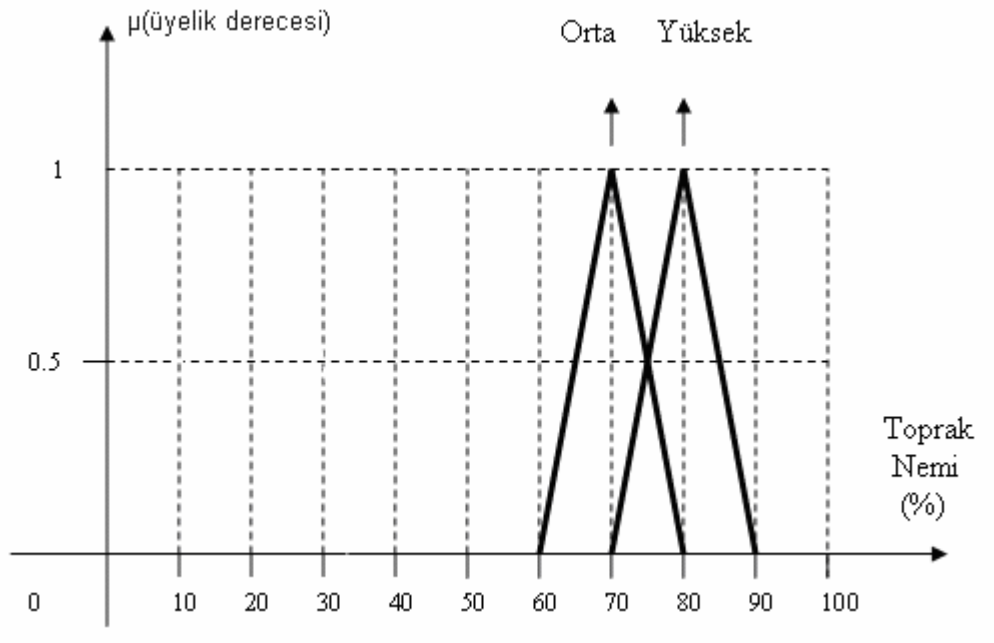
$$\mu_{\text{Orta}}(t) = 69.5 \le t \le 79 \;\; ; \;\; (79 - t)/9.5$$

şartlarından dolayı Orta(t) = (79 - 70) / 9.5 = 0.94736842 olarak bulunur.

$$\mu_{\text{Yüksek}}(t) = 70 \le t \le 80 \; ; (t - 70)/10$$

şartlarından dolayı Yüksek μ(t) = (70-70) / 10 = 0 olarak bulunur.

Toprak nemi % 70'nin diğer kümelere üyeliği sıfırdır.



Şekil 4.13 Toprak Nemi % 70 Değerinin Grafiksel Gösterimi.

Bunun sonucunda aşağıdaki kurallar uygulanır.

"Eğer Hava nemi Çok Düşük (0.5) **VE** Toprak nemi Orta (0.94736842) o halde sulama çıkış değeri **Yüksek (0.5)"**.

"Eğer Hava nemi Çok Düşük (0.5) **VE** Toprak nemi Yüksek (0) o halde sulama çıkış değeri **Orta (0)"**.

Eğer Hava nemi Düşük (0.51282051) **VE** Toprak nemi Orta (0.94736842) o halde sulama çıkış değeri **Orta (0.51282051)"**.

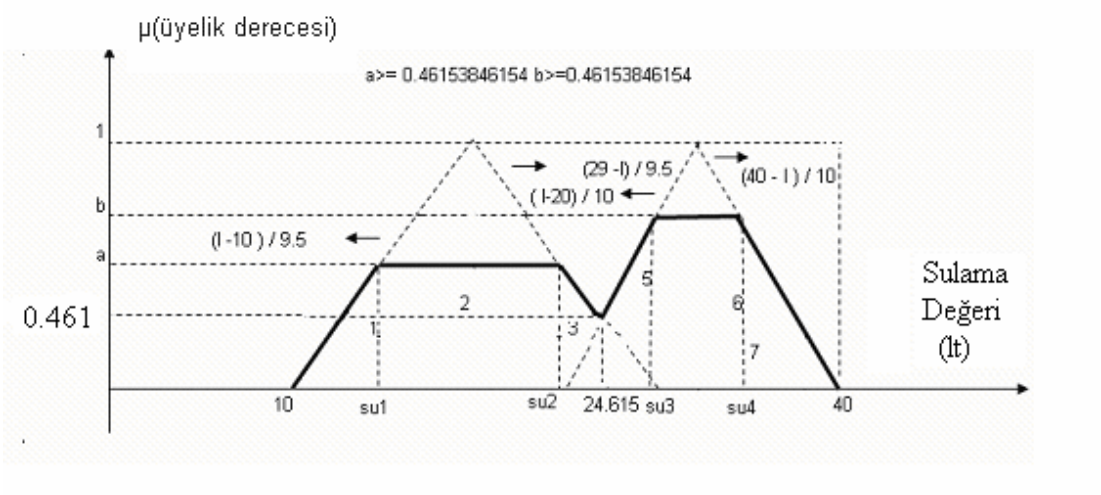
Eğer Hava nemi Düşük (0.51282051) **VE** Toprak nemi Yüksek (0) o halde sulama çıkış değeri **Orta (0)"**.

Bu durumda ilk kural için, $0.5 \wedge 0.94736842 = 0.5$ bulunur. İkinci kural için, $0.5 \wedge 0 = 0$ bulunur. Üçüncü kural için, $0.51282051 \wedge 0.94736842 = 0.51282051$ bulunur. Dördüncü kural için, $0.51282051 \wedge 0 = 0$ bulunur. Birden fazla kural ateşlenmiştir ve max-min yöntemine göre: $0.5 \vee 0 \vee 0.51282051 \vee 0.94736842 \vee 0 = 0.51282051$ bulanık çıkış değeri elde edilir.

Bu değerin durulaştırılması için ağırlık ortalaması yöntemi kullanılmıştır. Bu durumda sulama çıkış değeri için Orta ve Yüksek kümeleri dikkate alınır.

$$\mu_{Orta}(l) = \begin{cases} l < 10 \text{ veya } 1 > 29 \;\; ; 0 \\ 10 \le l \le 19.5 \; ; (l-10)/9.5 \\ 19.5 \le l \le 29; (29-l)/9.5 \end{cases}$$

$$\mu_{Yüksek}(l) = \begin{cases} l < 20 \text{ veya } l > 40 \;\; ; 0 \\ 20 \le l \le 30 \; ; (l-20)/10 \\ 30 \le l \le 40; (40-l)/10 \end{cases}$$



Şekil 4.14 Sulama Sisteminin Orta ve Yüksek Grafiksel Gösterimi.

su1 = (a * 9.5 + 10) su2 = (29 – a * 9.5) su3 = (20 + b) su4 = (40 – b * 10)

k	Ak	Aok
1	((su1 – 10) * a) / 2	su1 – (su1 – 10) / 3
2	(su2 – su1) * a	su1 + (su2 – su1) / 2
3	((24. 6153846153 – su2) * (a – 0.46153846154)) / 2	Su2 + (24.6153846153 - 10) /3
4	(su3 – su2) * 0.46153846154	su2 + (su3 – su2) / 2
5	(su3 – 24.6153846153) * (b – 0.46153846154)) / 2	su3 – (su3 – 24.6153846153) / 3
6	(su4 – su3) * b	su3 + (su4 – su3) / 2
7	((40 – su4) * b) / 2	su5 + (40 – su4) / 3

Şekil 4.14'de verilen şeklin alanları ve ağırlık ortalama hesaplanır.

Burada a = 0.5 ve b =0.51282051'dir. Bunun sebebi Çok düşük 0.5 ve 0.94736842 minimumu 0.5 alınarak a'ya atanır. Orta 0, 0 ile 0.51282051 arasında maksimum 0.51282051 b'ye atanır.

su1 = a * 9.5 + 10 = 0.5 * 9.5 + 10 = 14.75'dir.

su2 = 29 – a * 9.5 = 29 – 0.5 * 9.5 = 24.25'dir.

su3 = 20 + b * 10 = 20 + 5.1282051 = 25.1282051'dir.

su4 = 40 - b * 10 = 40 - 5.1282051 = 34.8717949'dur.

Ak1 = ((su1 - 10) * a) / 2 =((14.75 - 10) * 0.5) / 2 = 1.1875'dir.

Ak2 = (su2 – su1) * a =(24.25 – 14.75) * 0.5 = 4.75'dir.

Ak3 = (24.6153846153 – su2) * (a-0.46153846154)) / 2

= (24.6153846153 – 24.25) * (0.5 – 0.46153846154)) / 2

= 0.3653846153 * 0.03846153846 = 0.01405325443'dür.

Ak4 = (su3 – su2) * 0.461153846154 = (25.1282051 - 24.25) * 0.461153846154

= 0.40498765957'dir.

Ak5 = (su3 – 24.6153846153) * (b – 0.46153846154)) / 2

= (25.1282051 – 24.6153846153) * (0.51282051 – 0.46153846154)) / 2

= 0.5128204847 * 0.05128204846 = 0.02629848494'dir.

Ak6 = (su4 –su3) * b = (45.1282051 – 25.1282051) * 0.51282051 = 10.2564102'dir.

Ak7 = ((40 – su4) * b) / 2 = ((40 – 34.8717949) * 0.51282051) / 2

= 2.62984875476'dir.

Aok1 = su1 – (su1 – 10) / 3 =14.75 - (14.75 – 10) / 3 = 13.16666667'dir.

Aok2 = su1 + (su2 – su1) / 2 = 14.75 + (24.25 – 14.75) / 2 = 19.5'dir.

Aok3 = su2 + (24.6153846153 – 10) / 3 = 24.25 + (24.6153846153 – 10) / 3

= 29.12179487'dir.

Aok4 = su2 + (su3 – su2) / 2 = 24.25 + (25.1282051 – 24.25)= 25.1282051'dir.

Aok5 = su3 – (su3 - 24.6153846153) / 2 = 25.1282051 – (25.1282051 -

24.6153846153) / 2

= 24.87179485765'dir.

Aok6 = su3 + (su4 –su3) / 2 = 25.1282051 + (34.8717949 - 25.1282051) /2= 30'dur.

Aok7 = su4 + (40 – su4) / 3 = 34.8717949 + (40 - 34.8717949) / 3 = 36.5811966'dır.

Aort = (Ak1 * Aok1 + Ak2 * Aok2 + Ak3 * Aok3 + Ak4 * Aok4 + Ak5 * Aok5 +

Ak6 * Aok6 + Ak7 * Aok7) / (Ak1 + Ak2 + Ak3 + Ak4 + Ak5 + Ak6)

Aort = (1.1875 * 13.16666667 + 4.75 * 19.5 + 0.01405325443 * 29.12179487 + 0.40498765957 * 25.1282051 + 0.02629848494 * 24.87179485765 + 10.2564102 * 30 + 2.62984875476 * 36.5811966) / (1.1875 + 4.75 + 0.01405325443 + 0.40498765957 + 0.02629848494 + 10.2564102 + 2.62984875476)

Aort = (15.635416670625 + 92.625 + 0.409255992 + 10.176586239 + 0.654090522 + 307.692306 + 96.203014) / (1.1875 + 4.75 + 0.01405325443 + 0.40498765957 + 0.02629848494 + 10.2564102 + 2.62984875476)

Aort = 479.73456564 / 19.2690983537

Aort= 24.89657569 lt. olarak durulaştırılmış çıkış değeri elde edilir, yani seradaki su miktarı 24.89657569 lt olmalıdır.

Aynı örnek için bu değer Matlab programında **24,89232972 lt** olarak hesaplandı ve buradanda hata oranı % 0.1'den küçük olduğu görülmektedir.

Ayrıca konunun uzmanı bu değerler verildiğinde seraya 26 lt sulama değerini öngörmüştür. Bu yüzden tasarlanan BUS geleneksel kontrole göre avantajlıdır ve enerji tasarrufu sağlamıştır.

4.6. Örnek Uygulama 6

Sera içinde karbondioksit miktarı 1550 ppm ve rüzgar hızı 0 m/s olsun. Bu durumda havalandırma penceresinin açılması kaç derece olmalıdır ?

Çözüm:

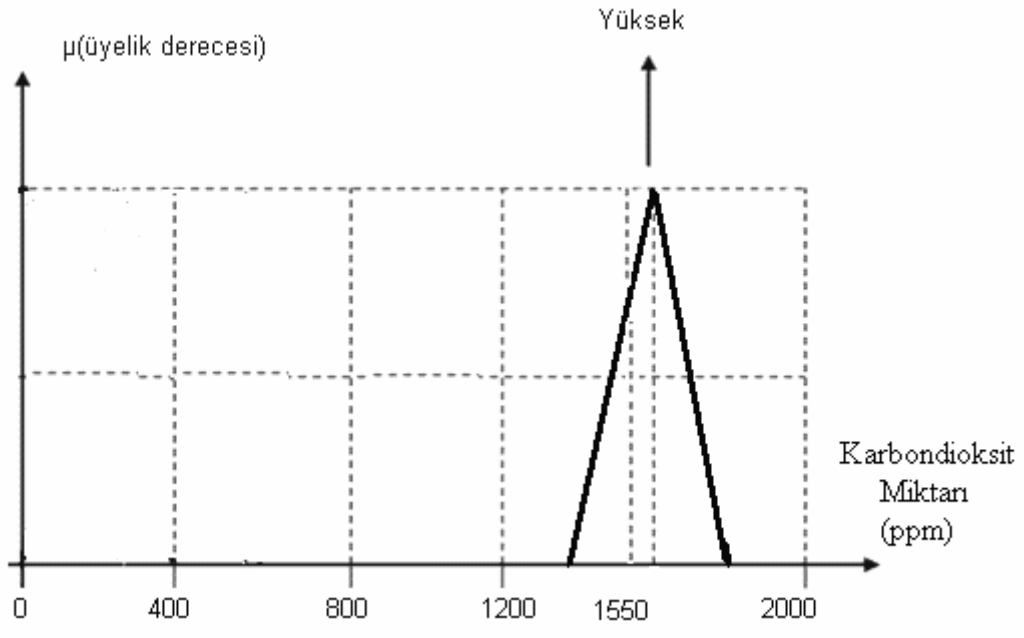
Karbondioksit miktarı 1550 ppm için;

$$\mu_{Yüksek}(v) = \begin{cases} v < 1400 \text{ veya v} > 1800 \;\; ; 0 \\ 1400 \le v \le 1600 \; ; (v - 1400)/200 \\ 1600 \le v \le 1800 \; ; (1800 - v)/200 \end{cases}$$

$$\mu_{\text{Yüksek}}(v) = 1400 \le v \le 1600 \; ; (v - 1400)/200$$

şartından dolayı Yüksek μ(v) = (v – 1400)/200 = (1550 -1400)/200 = 0.75 olarak bulunur.

Karbondioksit miktarı 1550 ppm'nin diğer kümelere üyeliği sıfırdır.



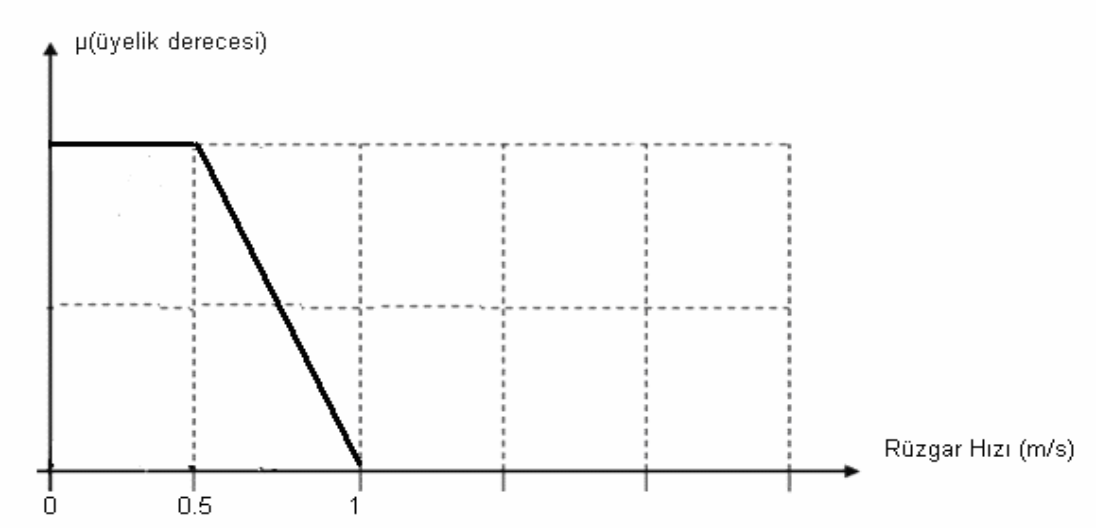
Şekil 4.15 Karbondioksit Miktarı 1550 ppm Değerinin Grafiksel Gösterimi.

$$\mu_{\text{Çok Düsük}}(r) = \begin{cases} 0 \le r \le 0.5 & ;1 \\ 0.5 \le r \le 1 & ;(1-r)/0.5 \\ r > 1 & ;0 \end{cases}$$

$$\mu_{\text{Çok Düsük}}(r) = 0 \le r \le 0.5 ; 1$$

şartından dolayı Çok Düşük μ(r) = 1 olarak bulunur.

Rüzgar hızı 0 m/s'nin diğer kümelere üyeliği sıfırdır.



Şekil 4.16 Rüzgar Hızı 0 m/s Değerinin Grafiksel Gösterimi.

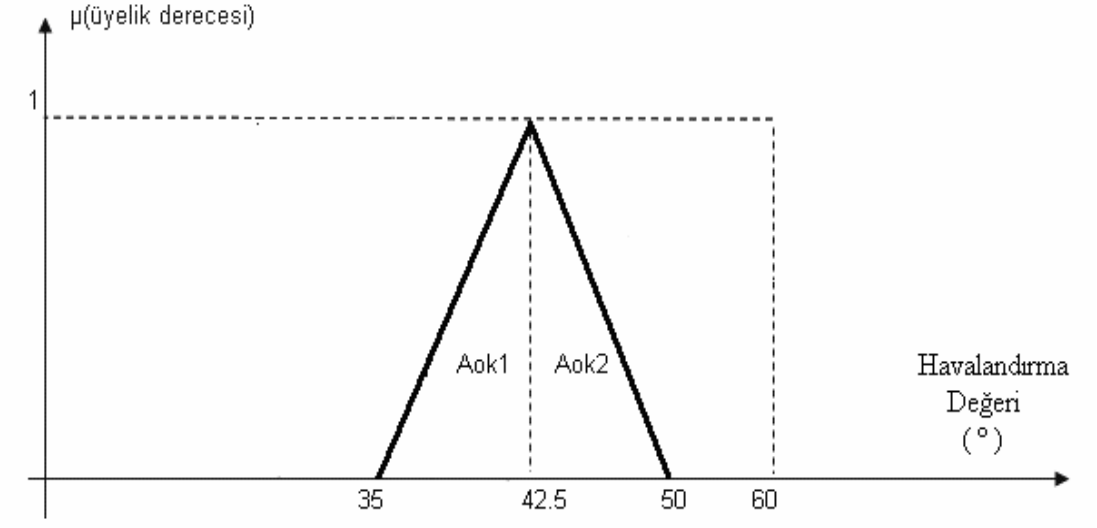
Bunun sonucunda aşağıdaki kurallar uygulanır.

"Eğer Karbondioksit Çok Düşük (0.75) **VE** rüzgar hızı çok düşük (1) o halde havalandırma çıkış değeri Yüksek **(0.75)"**.

Bu durumda kural için $0.75 \wedge 1 = 0.75$ bulanık çıkış değeri elde edilir.

Bu değerin durulaştırılması için ağırlık ortalaması yöntemi kullanılmıştır. Bu durumda havalandırma çıkış değeri Yüksek kümesi dikkate alınır.

$$\mu_{Yüksek}(h) = \begin{cases} h < 35 \text{ veya } h > 50 \;\; ; 0 \\ 35 \le h \le 42.5 \; ; (h - 35)/7.5 \\ 42.5 \le h \le 50; (50 - h)/7.5 \end{cases}$$



Şekil 4.17 Havalandırma Derecesinin Düşük Grafiksel Gösterimi.

Şekil 4.17'de verilen şeklin alanları ve ağırlık ortalama hesaplanır.

Aok1 = (42.5 – 35) / 2 = 3.75'dir.

Aort 1 = 42.5 –((42.5 - 35)/3) = 40'dır.

Aok2 = (50 -42.5) / 2 = 3.75'dir.

Aort2 = 42.5 + ((50 – 42.5) / 3) = 45'dir.

Aort = (Aok1 * Aort1 + Aok2 * Aort2) / Aok1 + Aok2

Aort = (3.75 * 40 + 3.75 * 45) / 3.75 + 3.75

Aort = (150 + 168.75) / 7.5

Aort = 42.5 derece (º) olarak durulaştırılmış çıkış değeri elde edilir, yani seradaki havalandırma çıkış penceresinin açılma derecesi 42.5 olmalıdır.

Aynı örnek için bu değer Matlab programında **42.5 derece (º)** olarak hesaplandı ve buradanda hata oranı % sıfır olduğu görülmektedir.

Ayrıca konunun uzmanı bu değerler verildiğinde seraya 42.5 derece havalandırma değerini öngörmüştür. Tasarlanan BUS ile geleneksel kontrol değerleri aynıdır.

4.7. Sera Kontrolünde Bulanık Uzman Sistemi Yönteminin Ekonomikliği

Tasarlanan BUS sonuçları ile Geleneksel Kontrol Sisteminin karşılaştırılması yapılmıştır. Geleneksel Kontrol Sistem sonuçları her alanın uzman kişisinden yararlanılmıştır. Bu karşılaştırmada Tasarlanan BUS Geleneksel Kontrole göre avantajlıdır. Tasarlanan BUS yöntemiyle elde edilen veriler Geleneksel Kontrol yöntemiyle kullanılan verilerden ısıtma çıkış değeri % 5,036, soğutma çıkış değeri % 8,560, gölgeleme çıkış değeri % 8,611, ışıklandırma çıkış değeri % 7,416, sulama çıkış değeri % 6,414 ve havalandırma çıkış değeri % 3,125 avantajlıdır. Ortalama % 6,527 kadar daha ekonomiktir. Aşağıda Tablo 4.1 ile Tablo 4.6 BUS ile Geleneksel Kontrol Sistemi karşılaştırılmaları verilmiştir.

Tablo 4.1 Isıtma BUS ile Geleneksel Kontrol Sisteminin Karşılaştırılması.

Sıcaklık	Hava Nemi	Isıtma BUS (kw)	Geleneksel Kontrol (kw)	Hata Miktarı	Hata Oranı Yüzdesi (%)
-10	0	5,437	6,000	0,562	9,375
5	61	4,807	5,100	0,292	5,735
20	60	3,000	3,000	0,000	0,000

Ortalama Fark % 5,036

Tablo 4.2 Soğutma BUS ile Geleneksel Kontrol Sisteminin Karşılaştırılması.

Sıcaklık	Hava Nemi	Soğutma BUS (micron)	Geleneksel Kontrol (micron)	Hata Miktarı	Hata Oranı Yüzdesi (%)
20	60	15,000	15,000	0,000	0,000
44	63	21,922	26,000	4,077	15,680
50	100	27,000	30,000	3,000	10,000

Ortalama Fark % 8,560

Tablo 4.3 Gölgeleme BUS ile Geleneksel Kontrol Sisteminin Karşılaştırılması.

Sıcaklık	Işık Şiddeti	Gölgeleme BUS (cm)	Geleneksel Kontrol (cm)	Hata Miktarı	Hata Oranı Yüzdesi (%)
9	9000	75,000	75,000	0,000	0,000
40	15000	266,250	300,000	33,750	11,250
50	20000	205,000	240,000	35,000	14,583

Ortalama Fark % 8,611

Tablo 4.4 Işıklandırma BUS ile Geleneksel Kontrol Sisteminin Karşılaştırılması.

Işık Şiddeti	Işıklandırma BUS (lux)	Geleneksel Kontrol (lux)	Hata Miktarı	Hata Oranı Yüzdesi (%)
0	17750,000	20000,000	2250,000	11,250
9000	10000,000	11000,000	1000,000	11,000
10000	10000,000	10000,000	0,000	0,000

Ortalama Fark % 7,416

Tablo 4.5 Sulama BUS ile Geleneksel Kontrol Sisteminin Karşılaştırılması.

Hava Nemi	Toprak Nemi	Sulama BUS (lt)	Geleneksel Kontrol (lt)	Hata Miktarı	Hata Oranı Yüzdesi (%)
0	0	42,500	50,000	7,500	15,000
30	70	24,896	26,000	1,103	4,243
50	50	30,000	30,000	0,000	0,000

Ortalama Fark % 6,414

Tablo 4.6 Havalandırma BUS ile Geleneksel Kontrol Sisteminin Karşılaştırılması.

Karbondioksit	Rüzgar Hızı	Havalandırma BUS (derece)	Geleneksel Kontrol (derece)	Hata Miktarı	Hata Oranı Yüzdesi (%)
1550	0	42,500	42,500	0,000	0,000
2000	0	54,375	60,000	5,625	9,375
2000	10	30,000	30,000	0,000	0,000

Ortalama Fark % 3,125

Genel olarak tasarlanan BUS ile Geleneksel Kontrol sistemi arasında ortalama % 6,527 avantaj sağlamaktadır.

Aşağıda Tablo 4.7'de tüm çıkış değerlerin ve genel olarak avantaj yüzdeleri verilmiştir.

Tablo 4.7 Tasarlanan BUS ile Geleneksel Kontrol Sisteminin Genel Avantaj Karşılaştırılması.

Isıtma	Soğutma	Gölgeleme	Işıklandırma	Sulama	Havalandırma
%	%	%	%	%	%
5,036	8,560	8.611	7,416	6,414	3,125

Ortalama Fark % 6,527

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Dünyada nüfusun hızla artışı gıda ürünlerine olan talebi de hızlı bir şekilde artırmaktadır. Dolayısı ile ayrı bir toprak alanında daha fazla ürün elde edilmesi dünya gıda üretimi problemlerinin başında gelmektedir. Bundan dolayı tarım ürünlerinin üretiminde verimliliğin artırılması günümüzde güncel problemlerden biri olarak görülmektedir.

Son yıllarda tarım alanında Bulanık Mantık ve Uzman Sistem kullanılarak hasat verimliliği üzerine bir dizi çalışmalar yapılmıştır. Sadece bitki verimliliği ile ilgili değil tarım makinelerinin kontrolünde de bu yöntem kullanılmaya başlanılmıştır. Bu yüzden bu çalışma bu problemin çözülmesinde yardımcı olacak bir şekilde düşünülmüştür. Bu çalışmada, somut olarak var olan sera üretiminde verimliliği artırmak amacıyla Bulanık Mantık Teorisi kullanılmış problemin çözümüne katkı sağlanmıştır.

Çalışma süresince öncelikle bir uzman kişi ile Antalya'nın Serik ve Mersin'in Anamur ilçesindeki seralar incelemiştir. Bu uzmanın yardımı ile giriş ve çıkışlar ve bunların değerlerinin sınırları belirlenmiştir. Serada giriş parametreleri çok önemlidir, çünkü bu parametreler bitkinin yaşaması için gerekli olan ortamı sağlar.

Yapılan bu çalışmada öncelikli Bulanık Kontrol ile ilgili temel bilgiler verilmiş, seranın gereken Bulanık Uzman Sistemin girişleri ve çıkışları belirlenmiş ve uygun Bulanık Uzman Sistem tasarlanmıştır. Daha sonra bir dizi örnek uygulamalar gösterilmiştir. Bulanık Kontrol'de çıkış değerlerinin hesaplanması için yaygın olarak kullanılan ağırlık merkezi metodu kullanılmıştır.

Bulanık Uzman Sistem tarafından bulanıklaştırılabilecek giriş sayısı altı olarak kabul edilmiştir. Bunlar; sıcaklık, nem, ışık şiddeti, karbondioksit miktarı, toprak nemi ve rüzgar hızıdır. Çıkış sayısı da altı olarak belirlenmiştir. Bunlar; ısıtma, soğutma, gölgeleme, sulama, ışıklandırma ve havalandırma değerleridir. Çalışmada domates bitkisi için gerekli veriler toplanmıştır. Giriş parametreleri için beş tane dilsel değerler kullanılmıştır. Bunlar; çok düşük, düşük, orta, yüksek ve çok yüksek'tir. Sıcaklık ve hava nemi giriş parametreleri ısıtma ve soğutma çıkış değerini etkilemekte, sıcaklık ve ışık şiddeti gölgelendirme çıkış değerini etkilemekte, hava

nemi ve toprak nemi giriş parametreleri sulama çıkış değerini etkilemekte, ışık şiddeti giriş parametresi ışıklandırma çıkış değerlerini etkilemekte, karbondioksit miktarı ve rüzgar hızı giriş parametresi ise havalandırma çıkış değerini etkilemekte olduğu belirlenmiştir. Bu yüzden karmaşık yapıya sahip bu sistemin bulanık kural tabanında oluşturulan kural sayısı 130'dur. Bu kuralları belirlerken uzman kişiden yardım alınmıştır. Sera kontrolü için Delphi 7.0 programı ile yapılan bir ara yüz kullanılmıştır. Programda rastgele değerler girilebildiği gibi, istenilen değerler de girilebilmektedir. Giriş parametrelerinin minimum ve maksimum değerlerini aşan rakamlar girildiğinde program uyarı vermektedir. Programda giriş ve çıkış parametrelerinin grafikleri görülebilmektedir. Verilen girdi değerleri ile ateşlenen kurallar ana menüde gözükmektedir. Giriş parametrelerine girilen o anki değerleri giriş değerlerinin bulanıklaştırma bölümündedir. Çalışmada kullanılan çıkarım ve durulaştırma yöntemleri sırasıyla max-min çıkarım ve ağırlık merkezi yöntemleridir.

Yapılan programın doğru çalıştığını kontrol etmek için Matlab programında yer alan FIS editörü kullanılarak aynı giriş değerleri için çıkış sonuçları hesaplanmış ve tasarlanan BUS sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Neticede tasarlanmış olan Bulanık Uzman Sistemde elde edilen sonuçların doğru olduğu görülmüştür.

Örnek uygulamalardan da görüldüğü üzere (4. Bölüm) Bulanık Uzman Sistem yöntemiyle elde edilen veriler Geleneksel Kontrol yöntemiyle kullanılan verilerden ortalama % 6,527 kadar daha ekonomik olmaktadır.

Yapılan çalışmada asıl amaç serada bitkinin verimini arttırıp daha çok ürün almaktır. Bununla beraber bilindiği üzere Bulanık Mantık Teorisi zaman ve enerji tasarrufu yapmaya olanak tanımakta ve böylece Türkiye ekonomisine katkı sağlayabilmektedir.

Bu sistem, geleneksel yöntemlerle yapılan sera kontrolüne karşı alternatif olarak geliştirilmiştir. Bitki üzerinde yapılan değişim, verim artırımı ile doğru orantılıdır. Bulanık Mantık ve Uzman Sistemlerin yer aldığı tarım alanındaki uygulamalar geleneksel yöntemlere göre verimi daha çok artırabileceği düşünülmektedir. Bitkinin ihtiyacı olan ısıtma, soğutma, gölgeleme, ışıklandırma, sulama ve havalandırma gibi gereksinimler hemen karşılanmakta ve dolayısıyla, üretimi etkileyebilmektedir.

Bu çalışma uygulanma aşamasına geçtiğinde Bulanık Uzman Sistem kullanarak Türkiye'ye verimi daha yüksek olan seralar kazandırabilir.

KAYNAKLAR

Allahverdi, N., 2002. Uzman Sistemler Bir Yapay Zeka Uygulaması, Atlas yayınevi, İstanbul.

Allahverdi, N., 2005. Bulanık Mantık ve Sistemler, http://farabi.selcuk.edu.tr/ egitim/bulanik/index.html.

Akgül, H., 2006. Bulanık Mantık Yardımıyla Doğal Havalandırma Yapılan Bir Serada Sıcaklık ve Bağlı Nem Kontrolünün Modellenmesi. 18 Mart Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Çanakkale.

Akpınar, E., 2008. Adım Adım Delphi 7.0 Uygulamaları, Nirvana yayınları, İstanbul.

Balkan, E., 2006. Borland Delphi 7.0, Seçkin Yayıncılık, İstanbul.

Banks, W., Patel, A., and Sherıf, A., 1995. A Home Control System Based on Fuzzy Logic. Home Automation & Building Control, 6:51-58.

Bay, Ö.F., Atacak, İ., 2006. Desing of a Single Phase Neuro-Fuzzy Controlled Uninterruptible Power supply, Fifteenth Turkish Symposium on Artifical Intelligence Neural Network TAINN, Muğla.

Baytorun, N.A., 1988. Doğal Olarak Havalandırılan Seralarda Havalandırma Açıklıklarının Belirlenmesi. 3. Ulusal Kültürteknik Kongresi Bildirileri, cilt, s.538-550, İzmir.

Boztok, K., Vural, H., ve Hertmann, H., 1986. Solar Radyasyona Göre Yapılan Farklı Seviyelerde Sulamanın Domates Yetiştiriciliğinde Verim ve Kaliteye Etkileri. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 23(1):35–39.

Caponetto, R., Fortuna, L., Nunnari, G., and Occhipinti, L., 1998. A Fuzzy Approach to Greenhouse Climate Control, vol:3, page(s): 1866-1870, American Control Conference, USA.

Dayıoğlu, M.A., Silleli, H., 2001. Seralar İçin Bilgisayar Tabanlı Veri Algılama ve Otomasyon Sistemi, 20. Tarımsal Mekanizasyon Ulusal Kongresi, Urfa 375-379.

Dayıoğlu, M.A., Silleli, H., 2002. Bilgisayar Kontrollü Sera Otomasyonu, Türk Tarım Dergisi, Sayı 144, 28-31, Ankara.

Elmas, Ç., 2003. Bulanık Mantık Denetleyiciler Seçkin Yayıncılık, Ankara.

Erkan, K., 1999. Bulanık Mantık ile Doğru Akım Motorunun İncelenmesi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.

Etik, N., 2007. Ameliyathane Klima Kontrol Sistemleri İçin Bulanık Uzman Sistem Tasarımı, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Konya.

Haque, A.F., 1994. A Fuzzy Logic Controller For a Splitter In a House Cooling System, Page(s):321-323, IEEE, USA.

İstanbullu, A., Çavuşoğlu, A., ve Demirer, M., 1996. Sera Otomasyonuna "Esnek" Bir Yaklaşım, Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı, Mart 1996, İstanbul.

Ödük, M.N., Allahverdi, N., 2009. A Study on Developing Greenhouse Automation by Fuzzy Control Method, Word Academy of Science Engineering and Technology (WASET), Vol. S 7, September 2009, pp 599 – 603, Amsterdam, Hollanda.

Pan, Lanfang., Wang, W., and Wu, Q.,. 2000. Application of Adaptive Fuzzy Logic System to Model for Greenhouseclimate, Vol. S 3, June 2000, pp 1687 – 1691, IEEE, China.

Saritas, İ., Allahverdi, N., and Sert, U., 2003. A Fuzzy Expert System Design for Diagnosis of Prostate Cancer, in Proc. Intern. Conference on Computer Systems and Technogies – CompSysTech' 2003, Sofia, Bulgaria.

Saritas, İ., Taskiran, U., and Unal, Y., 2005. Control of Heat of Operating Room by Approoch of Fuzzy Method, vol.,1,pp.117-121, 4th International Advenced Technology Symposium.

Soy, H., 2006. Gömülü Sistem Üzerinden Bulanık Kontrol ile Ev Otomasyonunun Gerçekleştirilmesi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Konya.

Şen, Z., 2004. Mühendislikte Bulanık Mantık ile Modelleme Prensipleri, Su vakfı Yayınları, İstanbul.

Şengirgin, M., 2006. Isıtma, Havalandırma ve Klima Sistemlerinde Denetimin Dünü ve Bugünü, http://www20.uludag.edu.tr/~smesut/pdf/ HVAC-ttmd.pdf.

Torun, S., 2007. Koroner Kalp Hastalığı Riski Tanısı ve Tedavi İçin Hiyerarşik Bir Bulanık Uzman Sistem Tasarımı, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Konya.

Zadeh, L.A.,1965. Fuzzy Sets, Information and Control, 8, 338–52.

Zadeh, L.A., 1984. Making Computer Think Like People, IEEE Spectrum, pp 26–32.

EKLER

EK-A- Delphi 7.0 programıyla yazılan “MNO_V1_2010 Bulanık Kontrol Yöntemiyle Sera Otomasyonu 2010“ programı.