BULANIK KONTROLÜN TARIM YÖNETİMİ

Mehmet Nuri ÖDÜK

Bitki Yöntem Sera Oksijen Bitki Enerji Toprak Nemi Bulanık Standartlar Soğutma Isıtma Işıklandırma Havalandırma Delphi Sulama Gölgeleme Sıcaklık Değer Hava Micron Matlab Küme Hesap Rüzgâr Hızı Işık Şiddeti Karbondioksit Miktarı Hava Nemi Kontrol Sistem Ürün Uzman Verim Makine Gıda

İKSAD Publishing House

BULANIK KONTROLÜN TARIM YÖNETİMİ

Mehmet Nuri ÖDÜK

İKSAD
Publishing House

Copyright © 2020 by iksad publishing house
All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, distributed or transmitted in any form or by
any means, including photocopying, recording or other electronic or mechanical methods, without the prior written permission of the publisher, except in the case of
brief quotations embodied in critical reviews and certain other noncommercial uses permitted by copyright law. Institution of Economic Development and Social
Researches Publications®
(The Licence Number of Publicator: 2014/31220)
TURKEY TR: +90 342 606 06 75
USA: +1 631 685 0 853
E mail: iksadyayinevi@gmail.com
www.iksadyayinevi.com

It is responsibility of the author to abide by the publishing ethics rules.
Iksad Publications – 2020©

ISBN: 978-625-7279-62-8
Cover Design: İbrahim KAYA
December / 2020
Ankara / Turkey
Size = 148 x 210 mm

ÖNSÖZ

Bu kitabın amacı, tarım alanında kullanılan otomasyonun geleneksel kontrole göre hayli avantajlı olan Bulanık Kontrol ile incelenmesi ve uygun bir Bulanık Uzman Sistem tasarımıdır. Bu amaçla Delphi programlama dilinde bir arayüz tasarlanmıştır. Bulanık Kontrol sisteminin giriş parametreleri olarak; sıcaklık, hava nemi, ışık şiddeti, toprak nemi, karbondioksit miktarı ve rüzgâr 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 ii değerlere yakın olduğu görülmüştür. Ayrıca geleneksel kontrol sistemleriyle de karşılaştırılarak gerçekleştirilen sistemin daha avantajlı olduğu tespit edilmiştir.

TEŞEKKÜR

Bu kitabın hazırlanmasında desteğini esirgemeyip teşvik eden eşim Dr. Sema ÖDÜK'e sonsuz teşekkürler.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ……..i
TEŞEKKÜR……ii
1. GİRİŞ……5
1.1. Çalışmanın Amacı……..8
1.2. Çalışmanın Aşamaları……9
2. BULANIK KONTROL UYGULAMALARI……..10
2.1. Bulanıklaştırma……10
2.2. Bulanık Kural Tabanı ve Veritabanı.....11
2.3. Bulanık Çıkarım Motoru Mekanizması.....11
2.4. Durulaştırma……...11
2.5. Uzman Sistemler……12
3. SERADA BULANIK KONTROL UYGULAMALARI……....12
3.1. Bulanık Kontrolör Tasarımı……..12
4. BULANIK KONTROL 2020 ARA YÜZÜN TANITILMASI……..69
5.1. Uygulama- 1……87
5.2. Uygulama- 2…….....90
6. Sera Kontrolünde Bulanık Kontrol Sisteminin Ekonomikliği…… 95
7. SONUÇ…… 99
KAYNAKLAR……101
EKLER……102

1. GİRİŞ

Bulanık Kontrol ’ün tarıma uygulanması konusu ele alınacaktır. Bulanık Kontrol kavramlarını hayatımızın birçok alanında görmekteyiz. Bulanık kontrol ile ilgili ilk açıklama, 1965 yılında Azerbaycanlı Prof. Dr. Lotfi A. Zadeh ortaya atmıştır.

Bulanık Kontrol; teknolojide, savunma sanayinde, tarımda, sağlıkta ve yapay zekâda kullanılmaktadır.

Günümüzde her mühendislik alanında üretim Bulanık Kontrol kullanılmaktadır.

Bulanık Kontrol uygulama alanları kapsamı geniştir. Bu uygulamalar ekonomik bir kontrol sağlamaya olanak tanır. Bulanık Mantık günlük yaşantımızda kullandığımız ve davranışlarımızı yorumladığımız yapıya ulaştıran matematiksel bir disiplindir. Bulanık Mantık kavramlarını yaşantımızın birçok 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 ya da 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, yeraltı treni, şirket işletimi, araba, tarım, sağlık ve yapay zekâ modelleme gibi konular yanında hemen hemen her mühendislik konusu ve teknolojik çalışmalarda kullanılmaktadır. 1966 yılında Bulanık Bell Laboratuvarları 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). 2 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

Sera kontrol otomasyonunda Bulanık Mantık yöntemleri kullanılmıştır. Serada giriş parametrelerine, çıkış parametrelerinin bulanık uygun değerlerini kontrolün sağlanmasının elde edilmesi amaçlanmaktadır. Böyle bir esnek kontrolün bitkilerin verimli ve az masrafla üretileceğini düşünülmüştür.

2020 yılında Dünya ve Türkiye'de baş gösteren Korona virüsün gıda tüketiminin önemini artırmıştır. İnsanlar karantinada kaldığı günlerde marketlere hücum etmiştir. Bu yüzden tarım ürünlerinin önemi artmıştır. Tarımsal üretimin kontrollü olarak gerçekleşen yerler seralardır. Uzman kişilerin bilgileri alınarak seralarda sıcaklık, hava nemi, ışık şiddeti, toprak nemi, karbondioksit miktarı ve rüzgâr hızı bitkinin büyümesini ve verimini artırır.

Serada altı adet giriş etkenine (sıcaklık, hava nemi, ışık şiddeti, toprak nemi, karbondioksit miktarı ve rüzgâr hızı) karşılık Bulanık Kontrol yardımıyla altı adet çıkış (ısıtma, soğutma, gölgeleme, sulama, ışıklandırma ve havalandırma) değerine etki ederek enerji ve zaman tasarrufu yapılır. İstenilen üründen fazla hasat edilmesi sağlanır.

1.2. Çalışmanın Aşamaları

Birinci bölümde; Bulanık Kontrol yöntemiyle sera otomasyonu için uzman görüşüyle serada patlıcan 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 ara yüzü tasarlanması ve Bulanık Kontrol sera otomasyonu uygulama sonuçları ele alınmıştır.

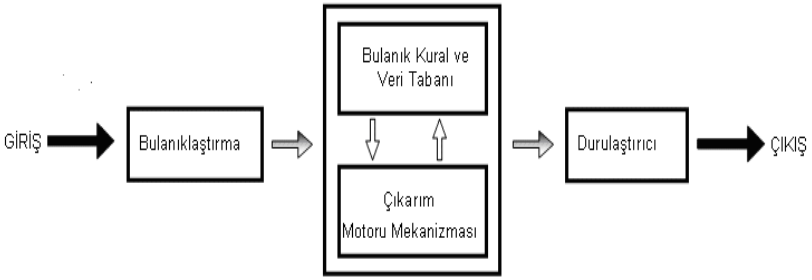
İkinci bölümde bir sera için Bulanık Uzman Sisteminin tasarım süreci örneklerle ele alınmıştır.

Bulanık Uzman Sistem tasarımı için bir Notebook ve programlama dili olarak da Delphi kullanılmıştır. Sera çıkış

sistemleri için, Matlab programı kullanılarak hesaplanmakta ve Bulanık Uzman Sisteminin hesapladığı sonuçlar ile karşılaştırılmaktadır.

2. BULANIK KONTROL UYGULAMALARI

Bulanık sistem tasarlanmasında ilk yapılacak iş , Eğer O-HALDE bulanık kurallar toplusunu elde etmektir. Bu kurallar uzman yardımı ile olur. Aşağıda Şekil 2.1'de Bulanık Kontrol şeması görülmektedir.



Şekil 2.1. Bulanık Kontrolün Blok Şeması.

2.1. Bulanıklaştırma

Giriş değerleri Bulanık Kontrol sisteminde kullanılacak olan bulanık değerlere dönüştürülür.

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).

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.

Bir bulanık kural tabanlı sistemde farklı çözümleme yöntemleri uygulanabilir. Bunlardan en önemlileri; Mamdani ve Sugano modelidir.

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.

2.5. Uzman Sistemler

Belirli bir problem kümesi için bir uzman gibi davranan programlara Uzman Sistem denir. Uzman Sistem 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.

3. SERADA BULANIK KONTROL UYGULAMALARI

3.1. Bulanık Kontrolör Tasarımı

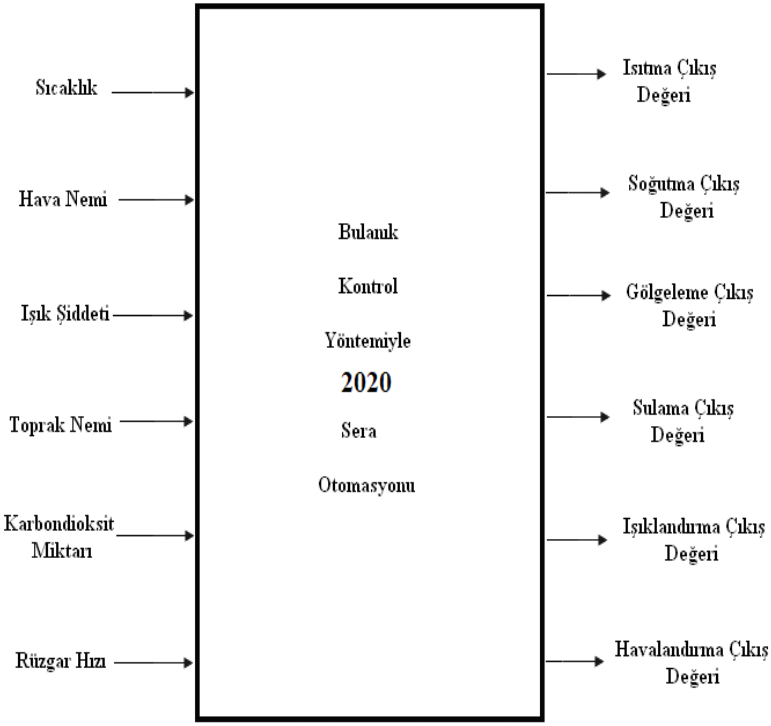
Sera için Bulanık Kontrol sistemi tasarımı için, Antalya'da incelemeler yapılmıştır. Normal kontrol sistemlerine göre, Bulanık Kontrol sistemi ne kadar olumlu bir katkı oluşturduğu araştırılmıştır. Serada patlıcan bitkisi yetiştirileceği ve seranın alanı 18 m^2 olduğu düşünülmüştür.

Bitki yetiştirilen serada sıcaklık, hava nemi, ışık şiddeti, toprak nemi, karbondioksit miktarı ve rüzgâr 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 rüzgâr hızı istenilen değerinde tutulması için bilgisayar yardımıyla kontrol edilmesi lazımdır. Bunun için, normal 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 rüzgâr 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 rüzgâr hızı giriş parametresi havalandırmayı etki ettiği görülmüştür. Bundan dolayı tasarlanacak olan Bulanık Uzman Sistem yapısının çok aşamalı veya hiyerarşik bir yapıda olacağı sonucuna varılmıştır.

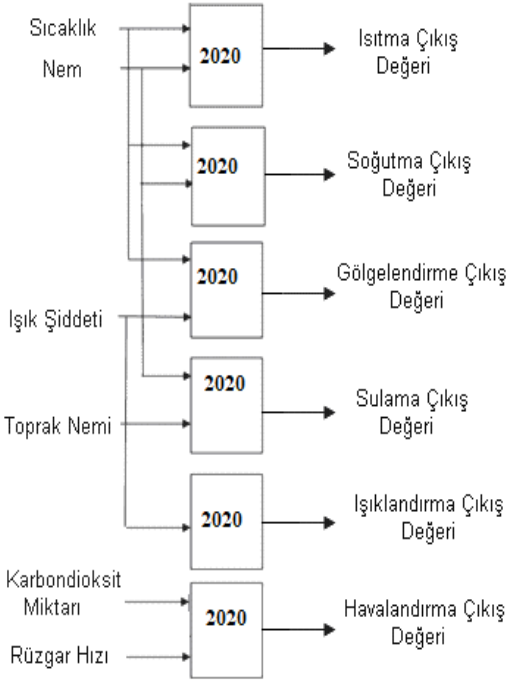
Şekil 3.1'de tüm giriş ve çıkış parametreleri görülmektedir.



Şekil 3.1. Bulanık Kontrol Yöntemi İle 2020 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 Bulanık Uzman Sistem 2020 yapısı görülmektedir.



Şekil 3.2. Tasarlanan Bulanık Uzman Sistem 2020 Yapısı.

Bulanık Kontrol giriş ve çıkış değerleri güncel 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 [-20…60] ºC değerleri arasındadır.
2. Hava Nemi değeri için evrensel küme % [0…100] değerleri arasındadır.
3. Işık şiddeti değeri için evrensel küme [0…24000] lux değerleri arasındadır.
4. Toprak nemi değeri için evrensel küme % [0…100] değerleri arasındadır.
5. Karbondioksit miktarı değeri için evrensel küme [0…2500] ppm değerleri arasındadır.
6. Rüzgâr hızı değeri için evrensel küme [0…14] m/s değerleri arasındadır.

Çıkış parametresi olarak:

1. Isıtma için evrensel küme [0…12] kilowatt (k/w) değerleri arasındadır.
2. Soğutma için evrensel küme [0…75] micron değerleri arasındadır.
3. Gölgeleme için evrensel küme [0…600] santimetre (cm) değerleri arasındadır.
4. Sulama değeri evrensel küme [0…60] litre (lt) değerleri arasındadır.
5. Işıklandırma için evrensel küme [0…24000] lux değerleri arasındadır.
6. Havalandırma için evrensel küme [0…75] 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 rüzgâr 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 2020 Giriş/Çıkış Değişkenlerinin Bulanık 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
Rüzgâr 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 2020 Giriş/Çıkış Değişkenlerinin Özellikleri.

Değişkeni	**Min.**	**Max.**	**Birim**
Sıcaklık	-20	60	ºC
Hava Nemi	0	100	%
Işık Şiddeti	0	25000	Lux
Toprak Nemi	0	100	%
Karbondioksit Miktarı	0	2500	ppm
Rüzgâr Hızı	0	15	m/s
Isıtma	0	10	k/w
Soğutma	0	40	Micron
Gölgeleme	0	400	Cm
Sulama	0	60	Lt
Işıklandırma	0	25000	Lux
Havalandırma	0	70	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).

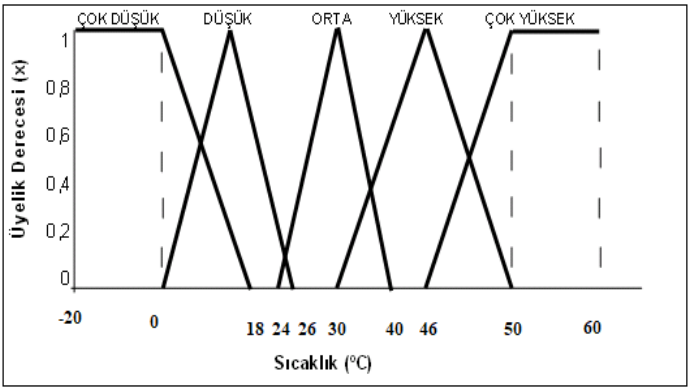
Bulanık parametrelerin üyelik fonksiyonları üçgen alındığından dolayı onların matematiksel formülleri uygun şekilde elde edilmiştir. Burada dilsel değerler belirlenirken uzman kişinin

yardımı alınmıştır. Patlıcan bitkisi için genelde istenilen sıcaklık değeri 32 ºC'dir. Seranın kurulacağı yerdeki sıcaklık -20 ºC ile 60 ºC arasında değişebilmek-tedir. Giriş dilsel değerlerinin bulanıklık derecelerinin sağ ve sol taraflarının değerleri uzman kişinin yardımı ile belirlenmiştir.

Örneğin "Orta" dilsel sıcaklık değerleri 24 ºC ile 40 ºC

Arasında değişecektir ve burada üyelik derecesinin en büyük değeri 32 ºC olacaktır, yani μ_{Orta} (32 ºC) = 1.

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



Şekil 3.3. Serada Sıcaklık Değeri İçin Değişkenlerinin Üyelik Fonksiyonları.

Patlıcan bitkisi için serada sıcaklık değerleri aşağıdadır.

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

$$\mu_{\text{Çok Düsük}}(x) = \begin{cases} -20 \le x \le 0 & ;1 \\ 0 \le x \le 18 & ;(18 - x)/18 \\ x > 18 & ;0 \end{cases}$$

$$\mu_{\text{Düsük}}(x) = \begin{cases} x < 0 \text{ veya } x > 26 & ;0 \\ 0 \le x \le 13 & ;(x - 0)/13 \\ 13 \le x \le 26 & ;(26 - x)/13 \end{cases}$$

$$\mu_{Orta}(x) = \begin{cases} x < 24 \text{ veya } x > 40 & ;0 \\ 24 \le x \le 32 & ;(x - 24)/8 \\ 32 \le x \le 40 & ;(40 - x)/8 \end{cases}$$

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

$$\mu_{\text{Çok Yüksek}}(x) = \begin{cases} x < 46 \text{ veya } x > 60 & ;0 \\ 46 \le x \le 53 & ;(x - 46)/7 \\ 53 \le x \le 60 & ;1 \end{cases}$$

Bu değerlere göre bulunan sıcaklık bulanık kümeleri aşağıda verilmiştir.

$$\mu_{\text{ÇokDüsük}}(x) = \{\ 1/\ -20,\quad 1/\ -10,\quad 1/0,\quad 0.5/9,\quad 0/18\ \}$$

$$\mu_{\text{Düsük}}(x) = \{\ 0/0,\quad 0.76/10,\quad 1/13,\quad 0.46/20,\quad 0/26\ \}$$

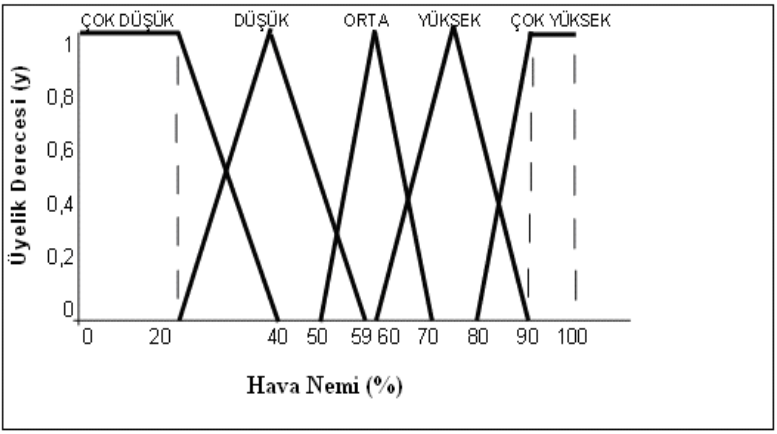
$$\mu_{\text{Orta}}(x) = \{\ 0/24,\quad 0.5/\ 28,\quad 1/32,\quad 0.5/36,\quad 0/40\ \}$$

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

$$\mu_{\text{ÇokYüksek}}(x) = \{\ 0/46,\quad 0.57/50,\quad 1/53,\quad 1/55,\quad 1/60\ \}$$

Patlıcan bitkisi için genelde istenilen hava nemi değeri % 60'dır. Seradaki hava nemi % 0 ile % 100 arasında değişmektedir. Örneğin "Yüksek" dilsel hava nemi değerleri % 50 ile % 90 arasında değişecektir ve burada üyelik derecesinin en büyük değeri % 60 olacaktır, yani μ yüksek (%80) = 1.

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



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

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

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

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

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

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

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

Bu değerlere göre bulunan hava nemi bulanık kümeleri aşağıda verilmiştir.

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

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

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

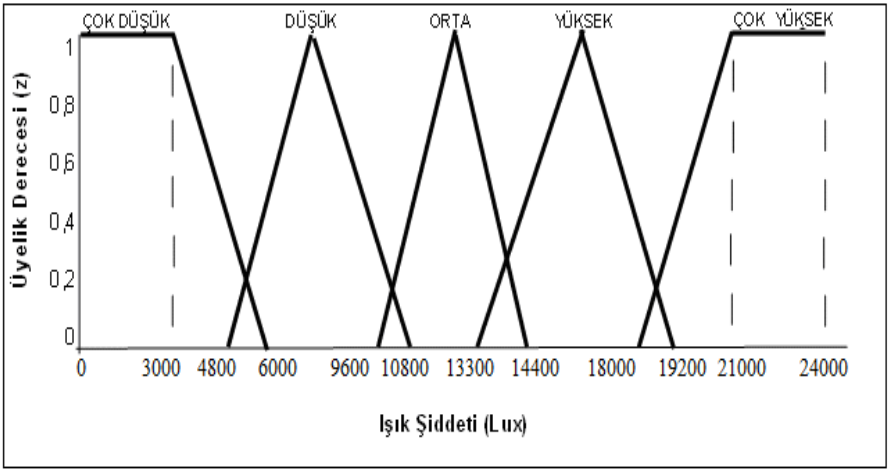
$$\mu_{\text{Yüksek}}(y)=\{0/60,\quad 0.66/70,\quad 1/75,\quad 0.33/85,\quad 0/90\}$$

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

Patlıcan bitkisi için genelde istenilen ışık şiddeti 12000 lux ’dür. Seradaki ışık şiddeti 0 lux ile 24000 lux arasında değişebilmektedir. Örneğin “Orta” dilsel ışık şiddeti değerleri 10000 lux ile 14000 lux arasında değişecektir ve burada üyelik

derecesinin en büyük değeri 12000 lux olacaktır, yani μ_{Orta} (12000 lux) = 1.

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



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

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

$$\mu_{\text{Çok Düşük}}(z) = \begin{cases} 0 \le z \le 3000 & ;1 \\ 3000 \le z \le 6000 & ;(6000 - z)/6000 \\ z > 6000 & ;0 \end{cases}$$

$$\mu_{Düşük}(z)=\begin{cases} z<4800 \text{ veya } z>10800 & ;0 \\ 4800\leq z\leq 7800 & ;(z-4800)/3000 \\ 7800\leq z\leq 10800 & ;(10800-z)/3000 \end{cases}$$

$$\mu_{Orta}(z)=\begin{cases} z<9600 \text{ veya } z>14400 & ;0 \\ 9600\leq z\leq 1200 & ;(z-9600)/2400 \\ 12000\leq z\leq 14400 & ;(14400-z)/2400 \end{cases}$$

$$\mu_{Yüksek}(z)=\begin{cases} z<13200 \text{ veya } z>19200 & ;0 \\ 13200\leq z\leq 16200 & ;(z-13200)/3000 \\ 16200\leq z\leq 19200 & ;(19200-z)/3000 \end{cases}$$

$$\mu_{Çok\,Yüksek}(z)=\begin{cases} z<18000 \text{ veya } z>24000 & ;0 \\ 18000\leq z\leq 16200 & ;(z-18000)/3000 \\ 21000\leq z\leq 24000 & ;1 \end{cases}$$

Bu değerlere göre bulunan ışık şiddeti bulanık kümeleri aşağıda verilmiştir.

$$\mu_{ÇokDüşük}(z)=\{1/0,\quad 1/3000,\quad 0.8/3600,\quad 0.4/4800,\quad 0/6000\}$$

$$\mu_{\text{Düşük}}(z) = \{0/4800,\ 0.4/6000,\ 1/7800,\ 0.8/8400,\ 0/10800\}$$

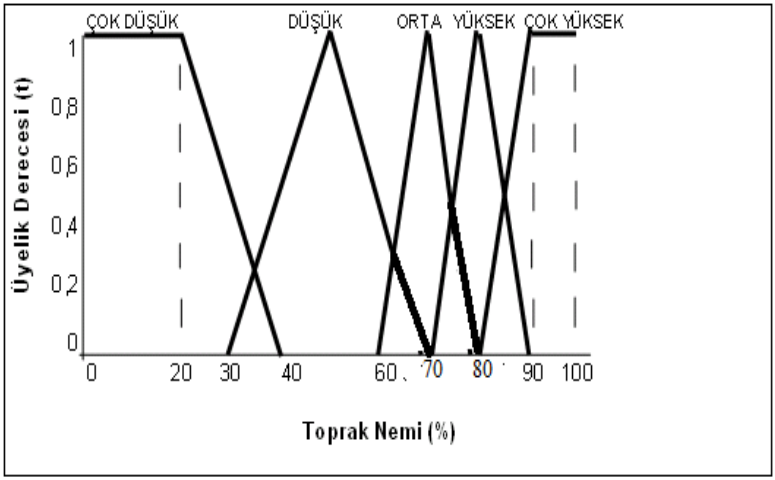
$$\mu_{\text{Orta}}(z) = \{0/9600,\ 0.5/10800,\ 1/12000,\ 0.5/13200,\ 0/14400\}$$

$$\mu_{\text{Yüksek}}(z) = \{0/13200,\ 0.4/14400,\ 1/16200,\ 0.8/16800,\ 0/19200\}$$

$$\mu_{\text{Çok Yüksek}}(z) = \{0/18000,\ 0.4/19200,\ 1/21000,\ 1/22800,\ 1/24000\}$$

Patlıcan bitkisi için genelde istenilen toprak nemi değeri % 70 arasındadır. Seradaki toprak nemi miktarı % 0 ile % 100 arasında değişecektir. Örneğin "Orta" dilsel toprak nemi değerleri % 60 ile % 80 arasında değişecektir ve burada üyelik derecesinin en büyük değeri % 70 olacaktır, yani μ_{Orta} (% 70) = 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);

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

$$\mu_{\text{Düsük}}(t) = \begin{cases} t < 30 \text{ veya } t > & ;0 \\ 30 \le t \le 50 & ;(t-30)/20 \\ 50 \le t \le 70 & ;(70-t)/20 \end{cases}$$

$$\mu_{Orta}(t) = \begin{cases} t < 60 \text{ veya } t > 80 & ; 0 \\ 60 \le t \le 70 & ; (t-60)/10 \\ 70 \le t \le 80 & ; (80-t)/10 \end{cases}$$

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

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

Bu değerlere göre bulunan toprak nemi bulanık kümeleri aşağıda verilmiştir.

$$\mu_{\text{ÇokDüsük}}(t) = \{1/0,\ 1/12,\ 1/15,\ 0.25/35,\ 0/40\}$$

$$\mu_{\text{Düsük}}(t) = \{0/30,\ 0.5/40,\ 1/50,\ 0.5/60,\ 0/70\}$$

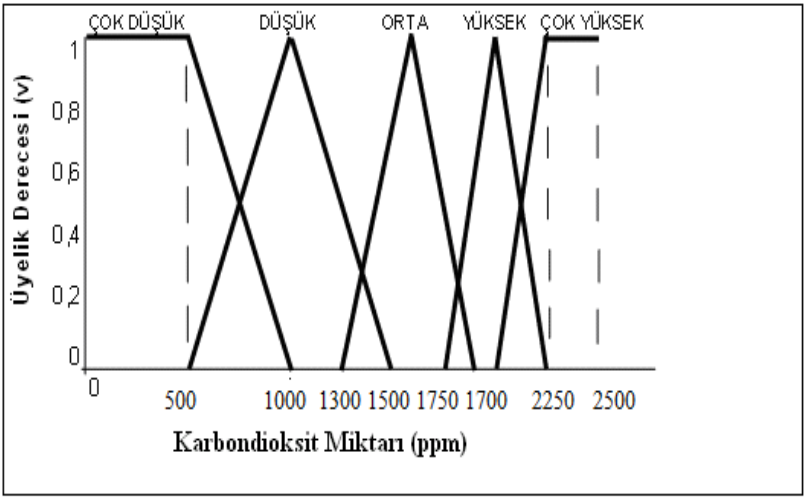
$$\mu_{\text{Orta}}(t) = \{0/60,\ 0.5/65,\ 1/70,\ 0.5/75,\ 0/80\}$$

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

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

Patlıcan bitkisi için genelde istenilen karbondioksit miktarı değeri 1500 ppm'dir. Seradaki karbondioksit miktarı 0 ppm ile 2500 ppm arasında değişebilmektedir. Örneğin "Orta" dilsel karbondioksit değerleri 1300 ppm ile 1700 ppm arasında değişecektir ve burada üyelik derecesinin en büyük değeri 1500 ppm olacaktır, yani μ_{Orta} (1500 ppm) = 1.

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



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

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

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

$$\mu_{\text{Düsük}}(v) = \begin{cases} v < 500 \text{ veya } v > 1500 & ;0 \\ 500 \le v \le 1000 & ;(v - 500)/500 \\ 1000 \le v \le 1500 & ;(1500 - v)/500 \end{cases}$$

$$\mu_{Orta}(v) = \begin{cases} v < 1300 \text{ veya } v > 1700 & ; 0 \\ 1300 \le v \le 1500 & ; (v - 1300)/200 \\ 1500 \le v \le 1700 & ; (1700 - v)/200 \end{cases}$$

$$\mu_{Yüksek}(v) = \begin{cases} v < 1750 \text{ veya } v > 2250 & ; 0 \\ 1750 \le v \le 2000 & ; (v - 1750)/250 \\ 2000 \le v \le 2500 & ; (2500 - v)/250 \end{cases}$$

$$\mu_{Çok\,Yüksek}(v) = \begin{cases} v < 2000 \text{ veya } v > 2500 & ; 0 \\ 2000 \le v \le 2250 & ; (v - 2000)/250 \\ 2250 \le v \le 2500 & ; 1 \end{cases}$$

Bu değerlere göre bulunan karbondioksit miktarı kümeleri aşağıda verilmiştir.

$$\mu_{ÇokDüsük}(v) = \{ 1/0,\ 1/250,\ 1/500,\ 0.5/750,\ 0/1000 \}$$

$$\mu_{Düsük}(v) = \{ 0/500,\ 0.5/750,\ 1/1000,\ 0.5/1250,\ 0/1500 \}$$

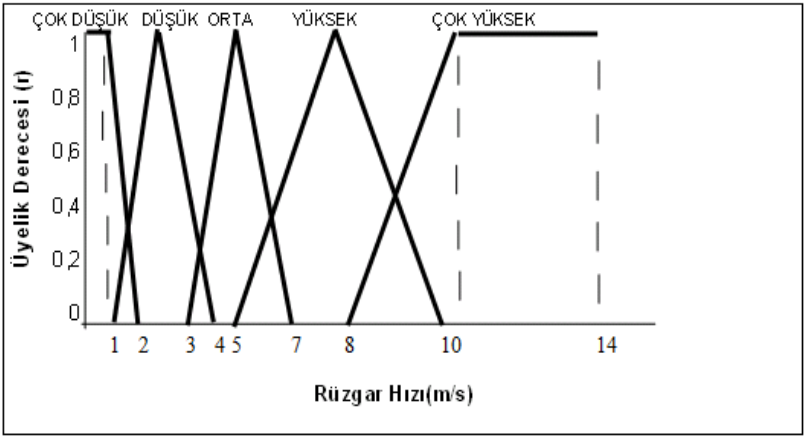
$$\mu_{Orta}(v) = \{ 0/1300,\ 1/1500,\ 0.5/1600,\ 0.25/1650,\ 1/1700 \}$$

$$\mu_{\text{Yüksek}}(v) = \{\ 0/1750,\ \ 0.2/1800,\ \ 1/2000,\ \ 0.2/2200,\ \ 0/2250\ \}$$

$$\mu_{\text{Çok Yüksek}}(v) = \{\ 0/2000,\ \ 0.4/2100,\ \ 1/2250,\ \ 1/2300,\ \ 1/2500\ \}$$

Patlıcan bitkisi için genelde istenilen rüzgâr hızı değeri 5 m/s'dir. Seradaki rüzgâr hızı 0 m/s ile 14 m/s arasında değişebilmektedir. Örneğin "Orta" dilsel rüzgâr hızı değerleri 3 m/s ile 7 m/s arasında değişecektir ve burada üyelik derecesinin en büyük değeri 5 m/s olacaktır, yani μ_{Orta} (5 m/s) = 1.

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



Şekil 3.8. Serada Rüzgâr Hızı Değeri İçin Değişkenlerinin Üyelik Fonksiyonları.

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

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

$$\mu_{\text{Düşük}}(r) = \begin{cases} r < 1 \quad \text{veya } r > 4 & ;0 \\ 1 \le r \le 2.5 & ;(r-0.75)/1.5 \\ 2.5 \le r \le 4 & ;(4-r)/1.5 \end{cases}$$

$$\mu_{Orta}(r) = \begin{cases} r < 3 \text{ veya } r > 7 & ; 0 \\ 3 \le r \le 5 & ; (r-4)/2 \\ 5 \le r \le 7 & ; (7-r)/2 \end{cases}$$

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

$$\mu_{Çok\,Yüksek}(r) = \begin{cases} r < 8 \text{ veya } r > 14 & ; 0 \\ 8 \le r \le 11 & ; (r-8)/3 \\ 11 < r < 14 & 1 \end{cases}$$

Bu değerlere göre bulunan rüzgâr hızı kümeleri aşağıda verilmiştir.

$\mu_{ÇokDüsük}(r) = \{$ 1/0, 1/1, 0.5/1.5, 0.25/1.75, 0/2$\}$

$\mu_{Düsük}(r) = \{$ 0.16/1, 0.83/2, 1/2.25, 0.66/3, 0/4 $\}$

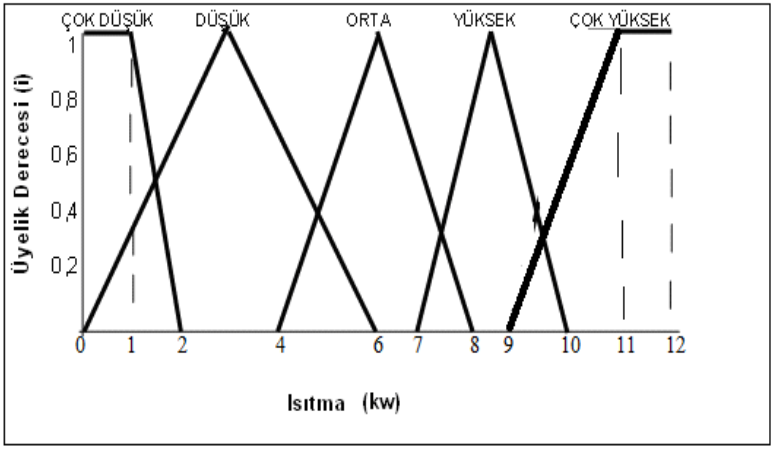
$\mu_{Orta}(r) = \{$ 0/3, 0.5/4, 1/5, 0.5/6, 0/7 $\}$

$$\mu_{\text{Yüksek}}(r) = \{\ 0/5,\ 0.4/6,\ 1/7.5,\ 0.8/8,\ 1/10\ \}$$

$$\mu_{\text{Çok Yüksek}}(r) = \{\ 0/8,\ 0.66/10,\ 1/11,\ 1/13,\ 1/14\ \}$$

Sera 18 m^2 olduğu için çıkış parametreleri bu değerlere göre uzman yardımıyla alınmıştır. Patlıcan bitkisi için genelde istenilen ısıtma değeri 6 kw'dır. Seradaki ısıtma değeri 0 kw ile12 kw arasında değişebilmektedir. Çıkış değerlerinin bulanıklık dereceleri uzman kişinin yardımı ile belirlenmiştir. Örneğin "Orta" dilsel ısıtma çıkış değerleri 4 kw ile 8 kw arasında değişecektir ve burada üyelik derecesinin en büyük değeri 6 kw olacaktır, yani μ_{Orta} (6 kw) = 1.

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



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

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

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

$$\mu_{\text{Düsük}}(i) = \begin{cases} i < 0 \text{ veya } i > 6 & ;0 \\ 0 \le i \le 3 & ;(i-0)/3 \\ 3 \le i \le 6; & (6-i)/3 \end{cases}$$

$$\mu_{Orta}(i) = \begin{cases} i < 4 \text{ veya } i > 8 \ ; 0 \\ 4 \le i \le 6 \ ; (i-4)/2 \\ 6 \le i \le 8 \ ; (8-i)/2 \end{cases}$$

$$\mu_{Yüksek}(i) = \begin{cases} i < 7 \text{ veya } i > 10 \ ; 0 \\ 7 \le i \le 8.5 \ ; (i-7)/1.5 \\ 8.5 \le i \le 10 \ (10-i)/1.5 \end{cases}$$

$$\mu_{Çok\ Yüksek}(i) = \begin{cases} i < 9 \text{ veya } i > 12 \ ; 0 \\ 9 \le i \le 11 \ ; (i-9)/2 \\ 11 \le i \le 12 \ ; 1 \end{cases}$$

Bu değerlere göre bulunan ısıtma çıkış değeri kümeleri aşağıda verilmiştir.

$$\mu_{ÇokDüsük}(i) = \{1/0 \quad 1/0.5 \ , \ 1/1 \ , \ 0.5/1.5 \ , \ 0/2\}$$

$$\mu_{Düsük}(i) = \{0/0, \ 0.667/2, \ 1/3 \ , \ 0.667/4, \ 0/6\}$$

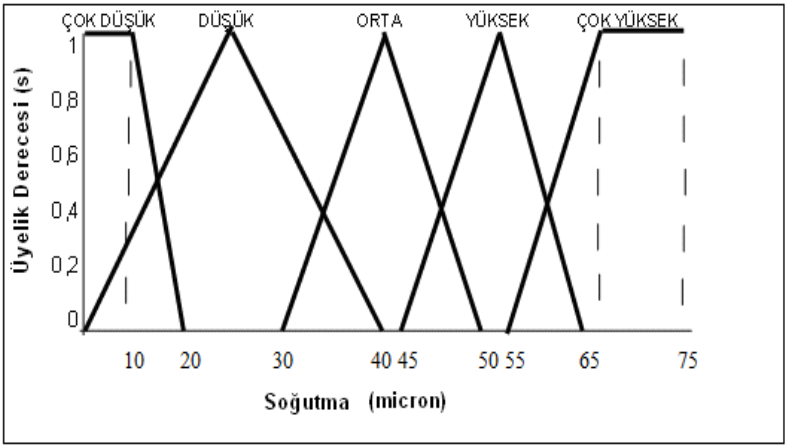
$$\mu_{Orta}(i) = \{0/4, \ 0.5/5 \ , \ 1/6 \ 0.5/7 \ , \ 0/8\}$$

$$\mu_{\text{Yüksek}}(i) = \{0/7 \;,\; 0.667/8,\; 1/8.5 \;,\; 0.667/9 \;,\; 0/10\}$$

$$\mu_{\text{Çok Yüksek}}(i) = \{0/9 \;,\; 0.25/9.5,\; 0.5/10,\; 1/10.5,\; 1/12\}$$

Patlıcan bitkisi için istenilen soğutma değeri 20 micron ’dur. Burada micron bir saniyede püskürtülen sıvı miktarı kalınlığıdır. Seradaki soğutma değeri 0 micron ile 75 micron arasında değişecektir. Örneğin “Orta” dilsel soğutma çıkış değerleri 30 micron ile 50 micron arasında değişecektir ve burada üyelik derecesinin en büyük değeri 40 micron olacaktır, yani μ_{Orta} (40 micron) = 1.

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



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

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

$$\mu_{\text{Çok Düşük}}(s) = \begin{cases} 0 \le s \le 10 & ;1 \\ 10 \le s \le 20; & (20-s)/10 \\ s > 20 & ;0 \end{cases}$$

$$\mu_{\text{Düşük}}(s) = \begin{cases} s < 0 \text{ veya } s > 40 & ;0 \\ 0 \le s \le 20 & ;(s-0)/20 \\ 20 \le s \le 40; & (40-s)/20 \end{cases}$$

$$\mu_{Orta}(s) = \begin{cases} s < 30 \text{ veya } s > 50 \; ; \\ 30 \le s \le 40 \; ; (s-30)/10 \\ 40 \le s \le 50 \; ; (50-s)/10 \end{cases}$$

$$\mu_{Yüksek}(s) = \begin{cases} s < 45 \text{ veya } s > 65 \; ; 0 \\ 45 \le s \le 55 \; ; (s-45)/10 \\ 55 \le s \le 65 \; ; (65-s)/10 \end{cases}$$

$$\mu_{Çok\ Yüksek}(s) = \begin{cases} s < 55 \text{ veya } s > 75 \; ; \\ 55 \le s \le 65 \; ; (s-55)/10 \\ 65 \le s \le 75 \; ; 1 \end{cases}$$

Bu değerlere göre bulunan soğutma çıkış değeri kümeleri aşağıda verilmiştir.

$$\mu_{ÇokDüsük}(s) = \{ 1/0, \quad 1/5, \quad 1/10, \quad 0.5/15, \quad 1/20 \}$$

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

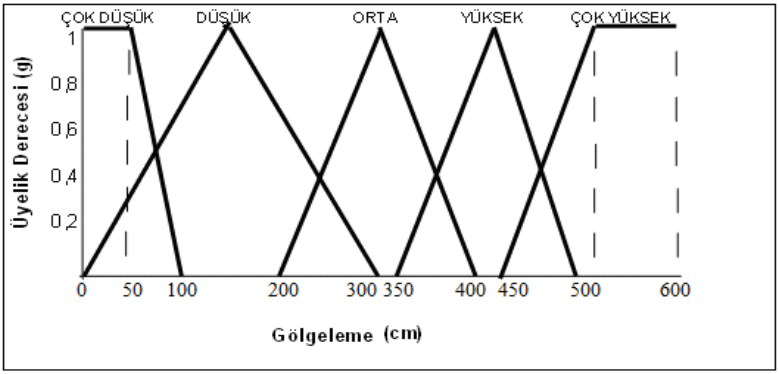
$$\mu_{Orta}(s) = \{ 0/30, \quad 0.5/35, \quad 1/40, \quad 0.5/45, \quad 1/50 \}$$

$$\mu_{Yüksek}(s) = \{ 0/45, \quad 0.5/50, \quad 1/55, \quad 0.5/60, \quad 1/65 \}$$

$$\mu_{\text{Çok Yüksek}}(s) = \{\ 0/55,\quad 0.5/60,\quad 1/65,\quad 1/70,\quad 1/75\ \}$$

Patlıcan bitkisi için genelde istenilen gölgeleme değeri 300 cm'dir. Gölgeleme yapmak için perde kullanılarak güneş ışıkları kesilecektir. Perde uzunluğu 6 metredir. Seradaki gölgeleme değeri 0 cm ile 600 cm arasında değişebilmektedir. Örneğin "Orta" dilsel gölgeleme çıkış değerleri 200 cm ile 400 cm arasında değişecektir ve burada üyelik derecesinin en büyük değeri 300 cm olacaktır, yani μ_{Orta} (300 cm) = 1.

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



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

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

$$\mu_{Çok\,Düsük}(g) = \begin{cases} 0 \le g \le 50 & ;1 \\ 50 \le g \le 100 & ;(100-g)/50 \\ g > 100 & ;0 \end{cases}$$

$$\mu_{Düsük}(g) = \begin{cases} g < 0 \text{ veya } g > 300 & ;0 \\ 0 \le g \le 150 & ;(g-0)/150 \\ 150 \le g \le 300 & ;(300-g)/150 \end{cases}$$

$$\mu_{Orta}(g) = \begin{cases} g < 200 \text{ veya } g > 400 & ;0 \\ 200 \le g \le 300 & ;(g-200)/100 \\ 300 \le g \le 400 & ;(400-g)/100 \end{cases}$$

$$\mu_{Yüksek}(g) = \begin{cases} g < 350 \text{ veya } g > 500 & ;0 \\ 350 \le g \le 425 & ;(g-350)/75 \\ 425 \le g \le 500 & ;(500-g)/75 \end{cases}$$

$$\mu_{Çok\,Yüksek}(g) = \begin{cases} g < 450 \text{ veya } g > 600 & ;0 \\ 450 \le g \le 500 & ;(g-450)/50 \\ 500 \le g \le 600 & ;1 \end{cases}$$

Bu değerlere göre bulunan gölgeleme çıkış değeri kümeleri aşağıda verilmiştir.

$$\mu_{\text{ÇokDüsük}}(g) = \{\ 1/0,\ 1/50,\ 0.8/60,\ 0.5/75,\ 0/100\ \}$$

$$\mu_{\text{Düsük}}(g) = \{\ 0/0,\ 1/150,\ 0.66/200,\ 0.33/250,\ 0/300\ \}$$

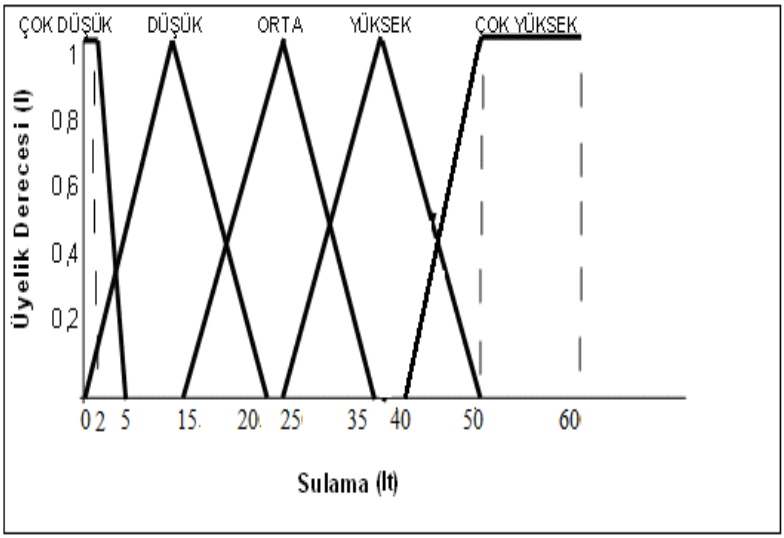
$$\mu_{\text{Orta}}(g) = \{\ 0/200,\ 0.5/250,\ 1/300,\ 0.5/350,\ 0/400\ \}$$

$$\mu_{\text{Yüksek}}(g) = \{\ 0/350,\ 0.33/375,\ 1/425,\ 0.66/450,\ 0/500\ \}$$

$$\mu_{\text{ÇokYüksek}}(g) = \{\ 0/450,\ 0.5/475,\ 1/500,\ 1/550,\ 1/600\ \}$$

Patlıcan bitkisi için genelde istenilen sulama çıkış değeri 25 lt t arasındadır. Seradaki sulama çıkış değeri 0 lt ile 60 lt arasında değişebilmektedir. Örneğin "Orta" dilsel sulama çıkış değerleri 15 lt ile 35 lt arasında değişecektir ve burada üyelik derecesinin en büyük değeri 25 lt olacaktır, yani μ_{Orta} (25 lt) = 1.

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



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

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

$$\mu_{\text{Çok Düşük}}(l) = \begin{cases} 0 \le l \le 2 & ;1 \\ 2 \le l \le 5 & ;(5-l)/3 \\ l > 5 & ,0 \end{cases}$$

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

$$\mu_{Orta}(l) = \begin{cases} l < 15 \text{ veya } 1 > 35 & ; 0 \\ 15 \le l \le 25 & ; (l-15)/10 \\ 25 \le l \le 35 & ; (35-l)/10 \end{cases}$$

$$\mu_{Yüksek}(l) = \begin{cases} l < 25 \text{ veya } l > 50 & ; 0 \\ 25 \le l \le 37.5 & ; (l-25)/12.5 \\ 37.5 \le l \le 50 & ; (50-l)/12.5 \end{cases}$$

$$\mu_{Çok\,Yüksek}(l) = \begin{cases} l < 40 \text{ veya } l > 60 & ; 0 \\ 40 \le l \le 50 & ; (l-40)/10 \\ 50 \le l \le 60 & ; 1 \end{cases}$$

Bu değerlere göre bulunan sulama çıkış değeri kümeleri aşağıda verilmiştir.

$$\mu_{\text{ÇokDüsük}}(l) = \{ \quad 1/0, \quad 1/2, \quad 0.66/3, \quad 0.33/4, \quad 0/5 \quad \}$$

$$\mu_{\text{Düsük}}(l) = \{ \quad 0/0, \quad 0.5/5, \quad 1/10, \quad 0.5/15, \quad 0/20 \quad \}$$

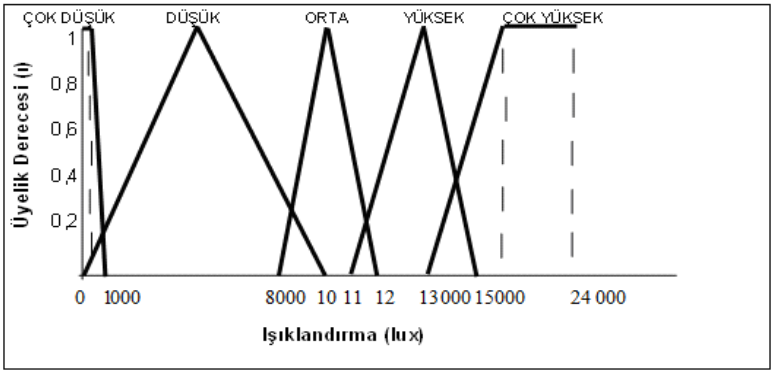
$$\mu_{\text{Orta}}(l) = \{ \quad 0/15, \quad 0.5/20, \quad 1/25, \quad 0.5/30, \quad 0/35 \quad \}$$

$$\mu_{\text{Yüksek}}(I) = \{\ 0/25,\quad 0.4/30,\quad 1/37.5,\quad 0.8/40,\quad 0/50\ \}$$

$$\mu_{\text{ÇokYüksek}}(I) = \{\ 0/40,\quad 0.5/45,\quad 1/50,\quad 1/55,\quad 1/60\ \}$$

Patlıcan bitkisi için genelde istenilen ışıklandırma değeri 10000 lux ‘dür. Lux aydınlık şiddeti birimidir. Seradaki ışıklandırma değeri 0 lux ile 24000 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 μ_{Orta} (10000 lux) = 1.

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



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

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

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

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

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

$$\mu_{Yüksek}(\imath) = \begin{cases} \imath < 11000 \text{ veya } \imath > 15000 & ;0 \\ 11000 \le \imath \le 13000 & ;(\imath - 11000)/2000 \\ 13000 \le \imath \le 15000 & ;(15000 - \imath)/2000 \end{cases}$$

$$\mu_{Çok\ Yüksek}(\imath) = \begin{cases} \imath < 13000 \text{ veya } \imath > 24000 & ;0 \\ 13000 \le \imath \le 15000 & ;(\imath - 13000)/2000 \\ 15000 \le \imath \le 24000 & ;1 \end{cases}$$

Bu değerlere göre bulunan ışıklandırma çıkış değeri kümeleri aşağıda verilmiştir.

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

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

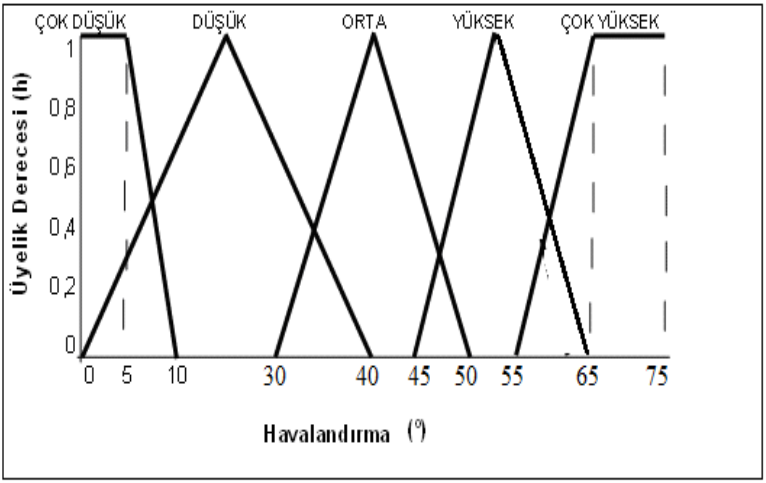
$$\mu_{\text{Orta}}(\iota) = \{0/8000,\quad 0.5/9000,\quad 1/10000,\quad 0.5/11000,\quad 0/12000\}$$

$$\mu_{\text{Yüksek}}(\iota) = \{0/11000,\ 0.5\ /12000,\ 1/13000,\ 0.5/14000, 0/15000\ \}$$

$$\mu_{\text{Çok Yüksek}}(\iota) = \{\ 0/13000,\quad 0.5/14000,\quad 1/15000,\ 1/20000,\ 1/25000\ \}$$

Patlıcan bitkisi için genelde istenilen havalandırma değeri 30 derece'dir. Havalandırma seranın tavanında bulunmaktadır ve buradaki derece açı birimidir. Seradaki havalandırma değeri 0 derece ile 75 derece arasında değişebilmektedir. Örneğin "Orta" dilsel havalandırma çıkış değerleri 30 derece ile 50 derece arasında değişecektir ve burada üyelik derecesinin en büyük değeri 40 derece olacaktır, yani μ_{Orta} (40 derece) = 1.

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



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

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

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

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

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

$$\mu_{Yüksek}(h) = \begin{cases} h < 45 \text{ veya } h > 65 & ; 0 \\ 45 \le h \le 55 & ; (h-45)/10 \\ 55 \le h \le 65 & ; (65-h)/10 \end{cases}$$

$$\mu_{Çok\ Yüksek}(h) = \begin{cases} h < 55 \text{ veya } h > 75 & ; 0 \\ 55 \le h \le 65 & ; (h-55)/10 \\ 65 \le h \le 75 & ; 1 \end{cases}$$

Bu değerlere göre bulunan havalandırma çıkış değeri kümeleri aşağıda verilmiştir.

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

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

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

$$\mu_{\text{Yüksek}}(h) = \{ \quad 0/45, \quad 0.5/50, \quad 1/55, \quad 0.5/60, \quad 0/65 \quad \}$$

$$\mu_{\text{Çok Yüksek}}(h) = \{ \quad 0/55, \quad 0.5/60, \quad 1/65, \quad 1/70, \quad 1/75 \quad \}$$

Bulanık Kontrol yöntemiyle sera otomasyonu 2020 sisteminde hesaplanan çıkış değerleri, bazı giriş parametrelerinin durumuna göre etkilenir. Şekil 3.2'de hangi giriş parametresinin hangi çıkış değerini etki ettiği görülmektedir. Bir çıkış değerini iki giriş değeri etkilemektir. Işıklandırma çıkış değerini bir giriş değeri etkilemektedir. Giriş ve çıkış parametrelerinde beş adet dilsel değişken kullanılmıştır. Isıtma, soğutma, gölgeleme, sulama ve havalandırma çıkış değerleri için 25 adet kural kullanılmıştır. Işıklandırma çıkış değerini 5 adet kural 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.

Sıcaklık / Hava Nemi	**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	Düşük	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 Düşük.

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.

Sıcaklık / Hava Nemi	**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	Düşük	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 Düşük.

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.

Sıcaklık \ Işık Şiddeti	**Çok Düşük**	**Düşük**	**Orta**	**Yüksek**	**Çok Yüksek**
Çok Düşük	Çok Düşük	Çok Düşük	Orta	Orta	Orta
Düşük	Çok Düşük	Düşük	Orta	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 Orta.

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 Orta.

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	Orta	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 Orta.

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 Rüzgâr Hızı Giriş Değerlerinin Havalandırma Çıkış Değerine Etkisi.

CO_2 / Rüzgâr Hızı	**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	Orta	Orta	Düşük
Çok Yüksek	Çok Yüksek	Çok Yüksek	Yüksek	Orta	Orta

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

1-Eğer Karbondioksit miktarı Çok Düşük ve Rüzgâr hızı Çok Düşük ise o halde Havalandırma çıkış değeri Düşük.

2-Eğer Karbondioksit miktarı Çok Düşük ve Rüzgâr hızı Düşük ise o halde Havalandırma çıkış değeri Düşük.

3-Eğer Karbondioksit miktarı Çok Düşük ve Rüzgâr hızı Orta ise o halde Havalandırma çıkış değeri Düşük.

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

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

6-Eğer Karbondioksit miktarı Düşük ve Rüzgâr hızı Nemi Çok Düşük ise o halde Havalandırma çıkış değeri Orta.

7-Eğer Karbondioksit miktarı Düşük ve Rüzgâr hızı Düşük ise o halde Havalandırma çıkış değeri Orta.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

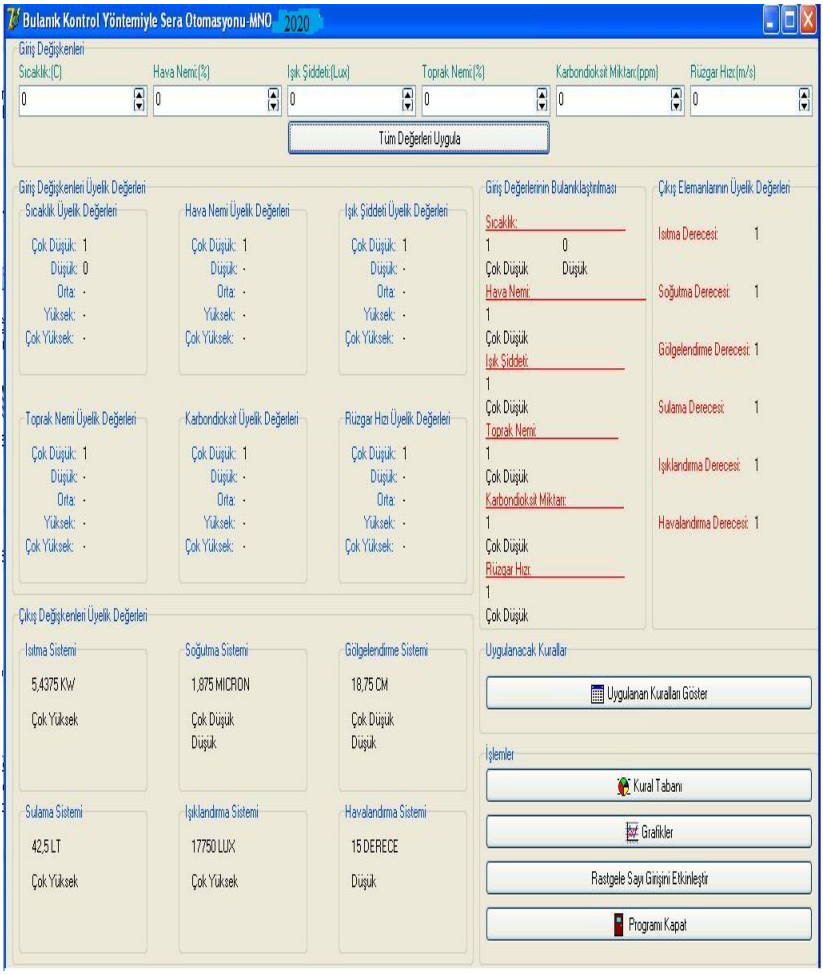
4. Bulanık Kontrol 2020 Ara Yüzün Tanıtılması

Sistemin yazılımı Delphi programında oluşturuldu. Şekil 4.1'de görüldüğü gibi program başlangıcında kullanıcıya iki seçenek geliyor. 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 4.2'de görüldüğü gibi ekrana programın bir sonraki aşaması olan ara yüzü

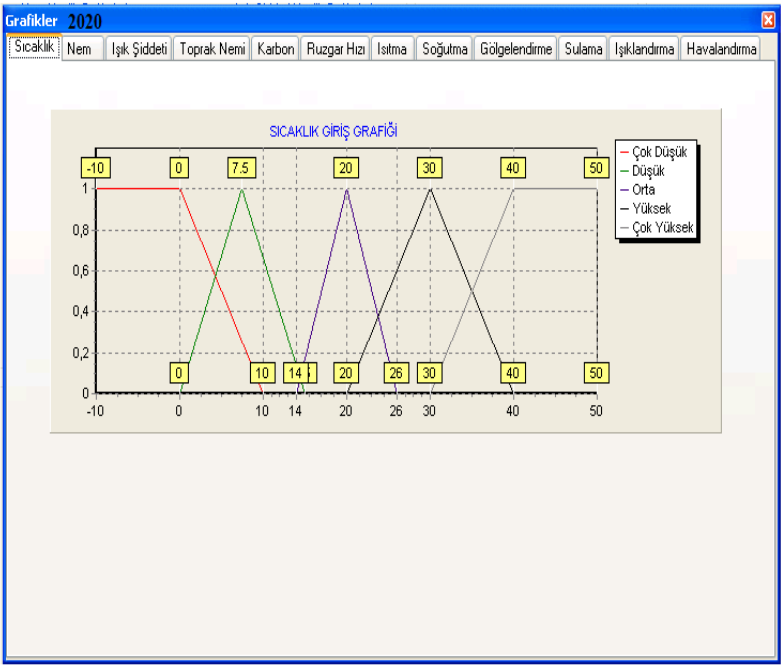
gelmektedir. Sıcaklık, hava nemi, ışık şiddeti, toprak nemi, karbondioksit miktarı ve rüzgâr hızı giriş değerleri girilerek ve "Tüm değerlere uygula" butonuna basılarak diğer işlemlere geçilir. Bu işlemler Giriş parametrelerin bulanıklaştırma derecelerinin hesaplanması, üyelik derecelerinin belirlenmesi, kural tabanları göz önüne alınarak yazılan program çıkış değerlerini hesaplamasından oluşmaktadır. Giriş değerlerinin alt ve üstünü aşan değerlerin girilmesi durumunda program uyarı vermektedir. Şekil 4.1'de tasarlanan programın giriş seçeneğinin görüntüsü verilmiştir.

Şekil 4.1. Programın Giriş Seçeneğinin Görüntüsü.

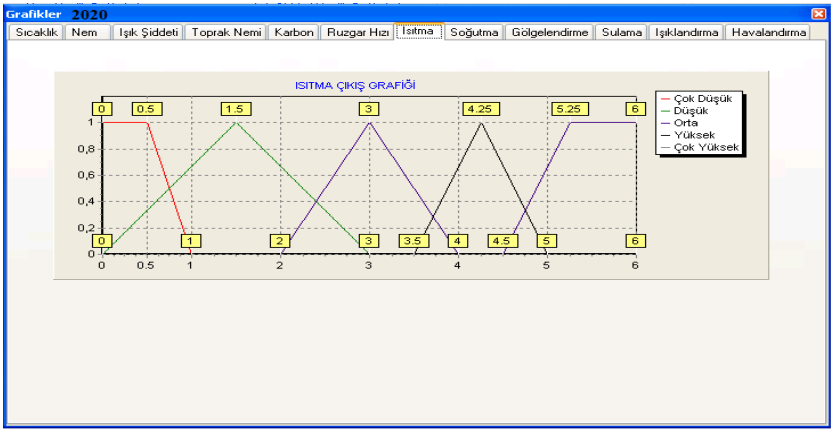
Tasarlanan programın ara yüzü, programın ürettiği sıcaklık değerlerinin genel grafiği, ısıtma çıkış üyelik değerleri ve uygulanan kural tabanları bir örnek üzerinden verilmektedir (Şekil 4.2, 4.3, 4.4 ve 4.5).



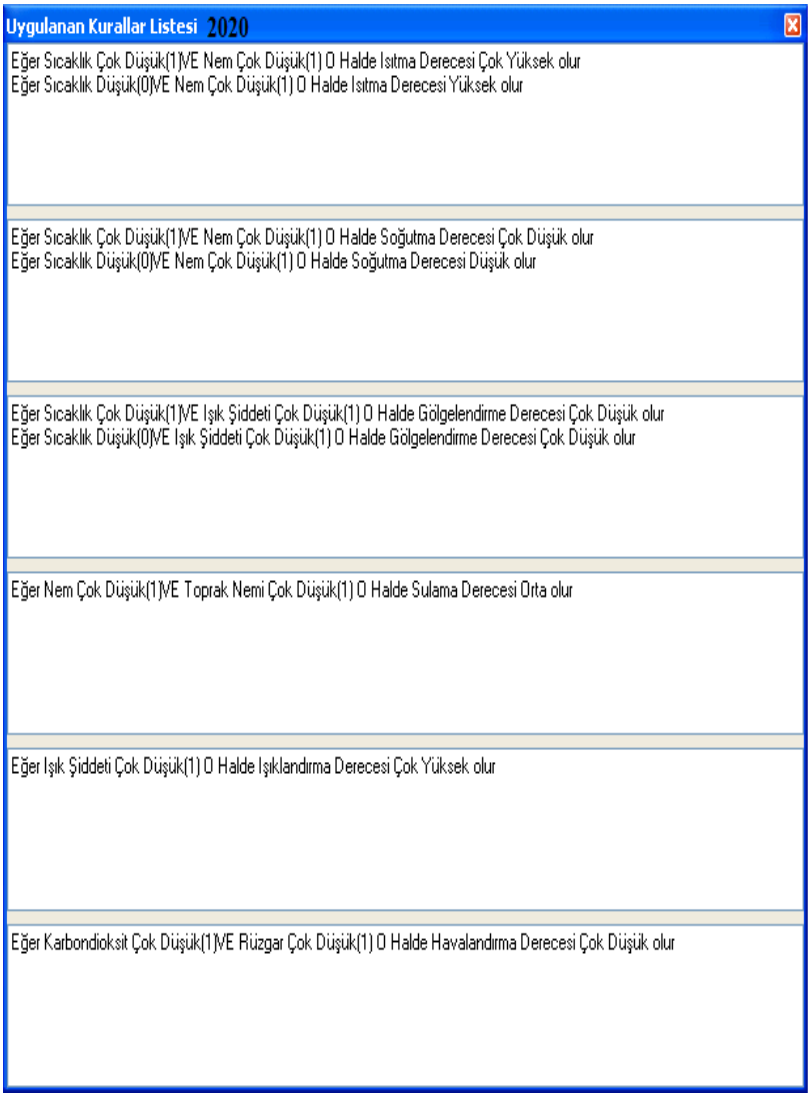
Şekil 4.2. Otomasyon Programın Ana Sayfa Görüntüsü.



Şekil 4.3. Sıcaklık Üyelik Değerleri.



Şekil 4.4. Isıtma Üyelik Değerleri.



Şekil 4.5. Uygulanan Kural Tabanları.

4.1. Bulanık Kontrol 2020 Sera Otomasyonu İçin Uygulama Sonuçları

Bulanık Kontrol 2020 Sera Otomasyonu Programa, çeşitli veri değerleri girilerek benzetim yapılmıştır. Bütün durumlarda programın çalışma sonuçları sera kontrolör değerlerine uygun olmuştur. Programın sonuçları aynı veriler üzerinden çalıştırılmış Matlab Fuzzy Toolbox sonuçları karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırmada hata oranı % 0 ile % 0.2 arasında çıktığı görülmüştür. Bu oranının çok düşüktür. Bulanık Kontrol 2020 Sera Otomasyonu programı sera otomasyonunda kullanılabilir olduğu görülmüştür.

Isıtma, soğutma, gölgeleme, sulama, ışıklandırma ve havalandırma çıkış değerlerinin sonuçlarının Matlab programı sonuçları ile karşılaştırılması (Tablo 4.1 – Tablo 4.6) arasında verilmiştir.

Tablo 4.1. Tasarlanan Isıtma Bulanık Uzman Sistem 2020 ile Matlab Programının Karşılaştırılması.

Sıcaklık	Hava Nemi	Matlab	Bulanık Uzman Sistem	Hata Miktarı	Hata Oranı Yüzdesi (%)
-20	0	10,93100	10,93300	0,00200	0,0001833
-20	50	10,65558	10,65541	0,00017	0,0000159
-20	100	8.511111	8.511134	0,000023	0,0000027
-10	0	10,15487	10,14375	0,01073	0,0010566
-10	50	9,876578	9,863538	0,01304	0,0013203
-10	100	8,002132	7,998768	0,00336	0,0004198
0	0	8,502158	8,514287	0,01212	0,0014255
0	50	8,472972	8,482500	0,01071	0,0012640
0	100	6,000000	6,000000	0,00000	0,0000000
10	0	6,000000	6,000000	0,00000	0,0000000
10	50	6,000000	6,000000	0,00000	0,0000000
10	100	3,000000	3,000000	0,00000	0,0000000
20	0	3,000000	3,000000	0,00000	0,0000000
20	50	3,000000	3,000000	0,00000	0,0000000
20	100	3,000000	3,000000	0,00000	0,0000000
30	0	2,000000	2,000000	0,00000	0,0000000
30	50	2,000000	2,000000	0,00000	0,0000000
30	100	2,000000	2,000000	0,00000	0,0000000
40	0	0,750000	0,750000	0,00000	0,0000000
40	50	0,750000	0,750000	0,00000	0,0000000
40	100	0,750000	0,750000	0,00000	0,0000000
50	0	0,600000	0,601240	0,00124	0,0020666
50	50	0,600000	0,601230	0,00123	0,0020500
50	100	0,600000	0,601210	0,00121	0,0020166
60	0	0,500000	0,500000	0,00000	0,0000000
60	50	0,500000	0,500000	0,00000	0,0000000
60	100	0,500000	0,500000	0,00000	0,0000000

Tablo 4.2. Tasarlanan Soğutma Bulanık Uzman Sistem 2020 ile Matlab Programının Karşılaştırılması.

Sıcaklık	Hava Nemi	Matlab	Bulanık Uzman Sistem	Hata Miktarı	Hata Oranı Yüzdesi (%)
-10	0	2,410128	2,410108	0,00002	0,0000083
-10	50	2,538554	2,538564	0,00001	0,0000039
-10	100	2,410128	2,410118	0,00001	0,0000041
0	0	2,410128	2,410117	0,00001	0,0000041
0	50	2,538554	2,538541	0,00001	0,0000039
0	100	2,410128	2,410113	0,00001	0,0000041
10	0	10,00000	10,00000	0,00000	0,0000000
10	50	10,00000	10,00000	0,00000	0,0000000
10	100	10,00000	10,00000	0,00000	0,0000000
20	0	10,00000	10,00000	0,00000	0,0000000
20	50	20,00000	20,00000	0,00000	0,0000000
20	100	20,00000	20,00000	0,00000	0,0000000
30	0	20,00000	20,00000	0,00000	0,0000000
30	50	20,00000	20,00000	0,00000	0,0000000
30	100	27,50000	27,50000	0,00000	0,0000000
40	0	27,50000	27,50000	0,00000	0,0000000
40	50	35,00197	35,00000	0,00197	0,0000562
40	100	27,50000	27,50000	0,00000	0,0000000
50	0	35,02197	35,00000	0,02119	0,0006050
50	50	27,50000	27,50000	0,00000	0,0000000
50	100	35,02197	35,00000	0,02119	0,0006050

Tablo 4.3. Tasarlanan Gölgeleme Bulanık Uzman Sistem 2020 ile Matlab Programının Karşılaştırılması.

Sıcaklık	Işık Şiddeti	Matlab	Bulanık Uzman Sistem	Hata Miktarı	Hata Oranı Yüzdesi (%)
-10	0	37,366076	37,5000000	0,13392	0,0035840
-10	10000	150,000000	150,000000	0,00000	0,0000000
-10	20000	300,000000	300,000000	0,00000	0,0000000
0	0	37,366076	37,5000000	0,13392	0,0035840
0	10000	150,000000	150,000000	0,00000	0,0000000
0	20000	300,000000	300,000000	0,00000	0,0000000
10	0	150,000000	150,000000	0,00000	0,0000000
10	10000	150,000000	150,000000	0,00000	0,0000000
10	20000	410,000000	410,000000	0,00000	0,0000000
20	0	150,000000	150,000000	0,00000	0,0000000
20	10000	300,000000	300,000000	0,00000	0,0000000
20	20000	410,000000	410,000000	0,00000	0,0000000
30	0	150,000000	150,000000	0,00000	0,0000000
30	10000	150,000000	150,000000	0,00000	0,0000000
30	20000	300,000000	300,000000	0,00000	0,0000000
40	0	150,000000	150,000000	0,00000	0,0000000
40	10000	330,782609	330,650000	0,13260	0,0004008
40	20000	150,000000	150,000000	0,00000	0,0000000
50	0	330,782609	330,650000	0,13260	0,0004008
50	10000	265,78260900	266,25000000	0,46739131	0,17554603
50	20000	265,78260900	266,25000000	0,46739131	0,17554603

Tablo 4.4. Tasarlanan Sulama Bulanık Uzman Sistem 2020 ile Matlab Programının Karşılaştırılması.

Hava Nemi	**Toprak Nemi**	**Matlab**	**Bulanık Uzman Sistem**	**Hata Miktarı**	**Hata Oranı Yüzdesi (%)**
0	0	53,12394	53,12500	0,00106	0,0000199
100	0	25,00000	25,00000	0,00000	0,0000000
0	10	53,12394	53,12500	0,00106	0,0000199
100	10	25,00000	25,00000	0,00000	0,0000000
0	20	53,12394	53,12500	0,00106	0,0000199
100	20	25,00000	25,00000	0,00000	0,0000000
0	30	51,31690	51,30000	0,01690	0,0003293
100	30	25,00000	25,00000	0,00000	0,0000000
0	40	37,50000	37,50000	0,00000	0,0000000
100	40	25,00000	25,00000	0,00000	0,0000000
0	50	37,50000	37,50000	0,00000	0,0000000
100	50	25,00000	25,00000	0,00000	0,0000000
0	60	37,50000	37,50000	0,00000	0,0000000
100	60	25,00000	25,00000	0,00000	0,0000000
0	70	37,50000	37,50000	0,00000	0,0000000
100	70	12,00000	12,00000	0,00000	0,0000000
0	80	25,00000	25,00000	0,00000	0,0000000
100	80	12,00000	12,00000	0,00000	0,0000000
0	90	12,00000	12,00000	0,00000	0,0000000

Tablo 4.5. Tasarlanan Işıklandırma Bulanık Uzman Sistem 2020 ile Matlab Programının Karşılaştırılması.

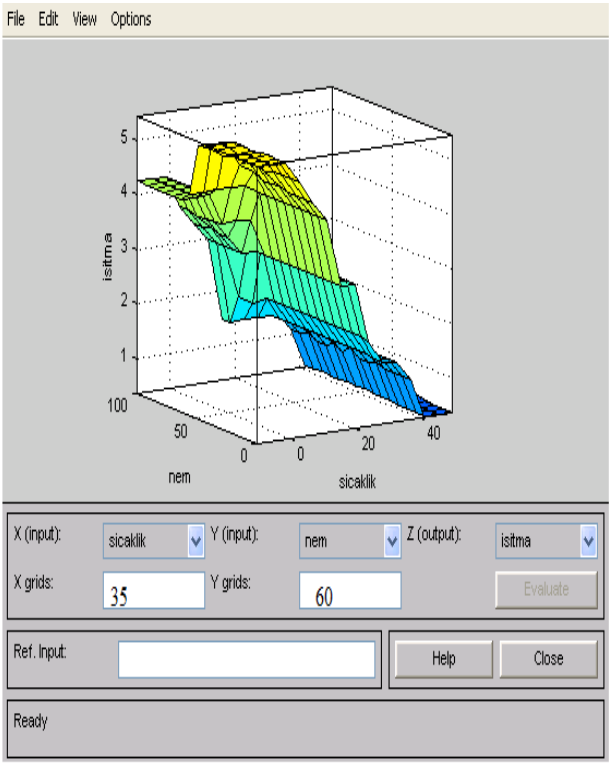
Işık Şiddeti	Matlab	Bulanık Uzman Sistem	Hata Miktarı	Hata Oranı Yüzdesi (%)
0	22250,89	22250,00	0.89000	0,000040
2000	22250,89	22250,00	0.89000	0,000040
5000	16875,00	16875,00	0,00000	0,0000000
8000	16875,00	16875,00	0,00000	0,0000000
9000	12000,00	12000,00	0,00000	0,0000000
12000	6000,000	6000,000	0,00000	0,0000000
15000	6000,000	6000,000	0,00000	0,0000000
17000	445,5555	445,0000	0,55550	0,0124676
20000	415,3333	415,0000	0,33330	0,0008024

Tablo 4.6. Tasarlanan Havalandırma Bulanık Uzman Sistem 2020 ile Matlab Programının Karşılaştırılması.

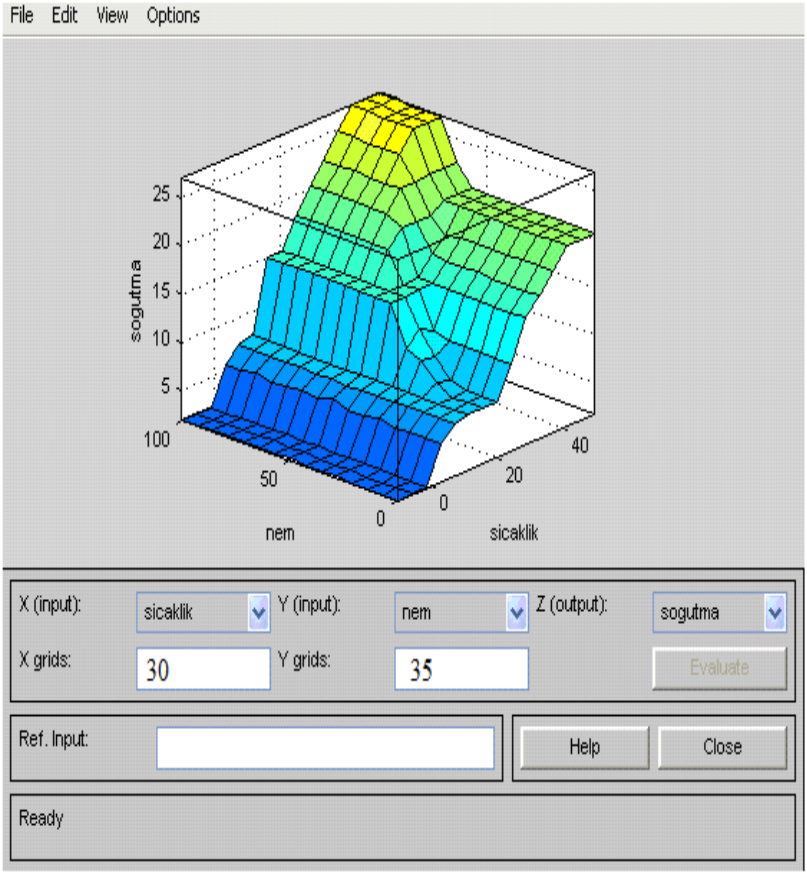
CO_2	Rüzgâr Hızı	Matlab	Bulanık Uzman Sistem	Hata Miktarı	Hata Oranı Yüzdesi (%)
0	0	18,75000	18,75000	0,00000	0,0000000
2000	1	72,54812	72,43750	0,11062	0,0015247
0	2	18,75000	18,75000	0,00000	0,0000000
2000	3	53,50021	53,50000	0,00021	0,0000039
0	4	5,255425	5,256075	0,00065	0,0001236
0	5	37,50000	37,50000	0,00000	0,0000000
2000	5	4,681538	4,680000	0,00153	0,0003268
2000	7	37,50000	37,50000	0,00000	0,0000000
0	8	37,50000	37,50000	0,000000	0,0000000
2000	9	4,681538	4,680000	0,00153	0,0003268
0	10	24,00000	24,00000	0,00000	0,0000000

Tablolardan da görüldüğü gibi yapılan hesaplamalar Matlab programına göre doğru kabul edilir. Matlab'ın grafik olanaklarını kullanılır. Şekil 4.6 ile 4.11 arası ısıtma, soğutma, gölgeleme, sulama, ışıklandırma ve havalandırma çıkış değerinin Matlab programında grafiksel gösterilmiştir.

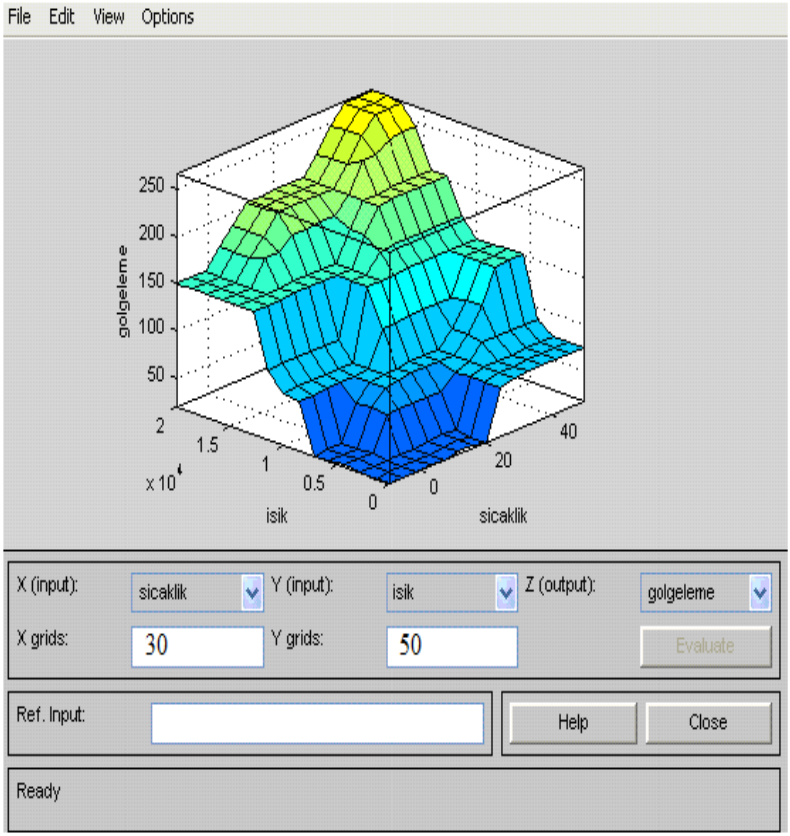
Şekil 4.6. Sıcaklık ve Hava Nemi Isıtma Çıkış Değerine göre Matlab Programı.



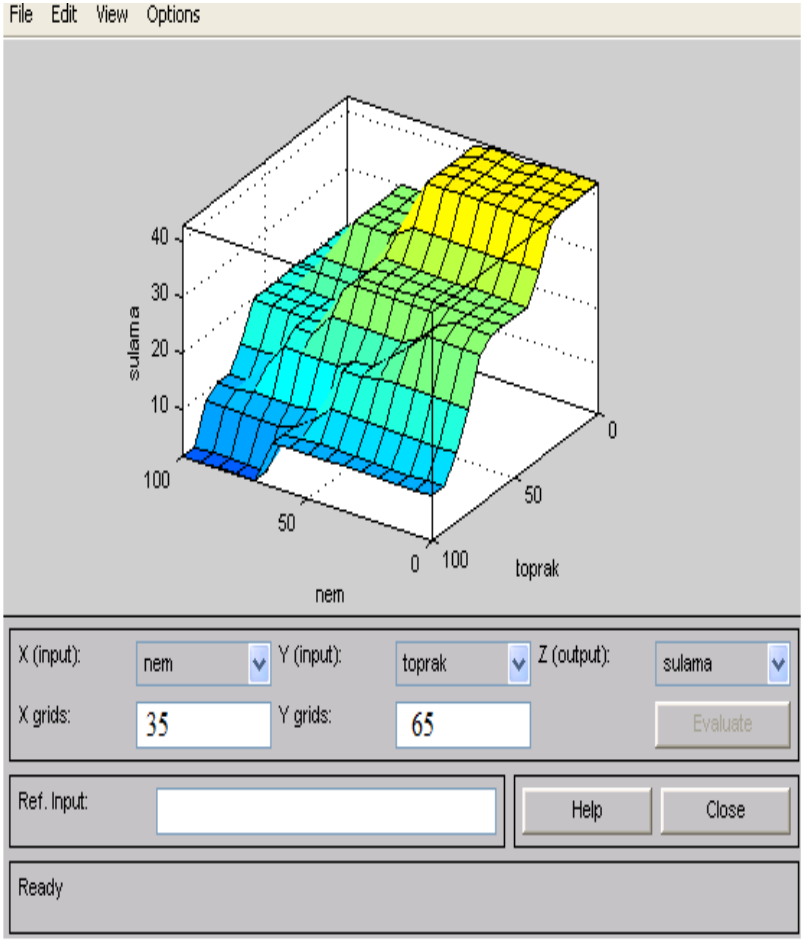
Şekil 4.7. Sıcaklık ve Hava Nemi Soğutma Çıkış Değerine Matlab Programı.



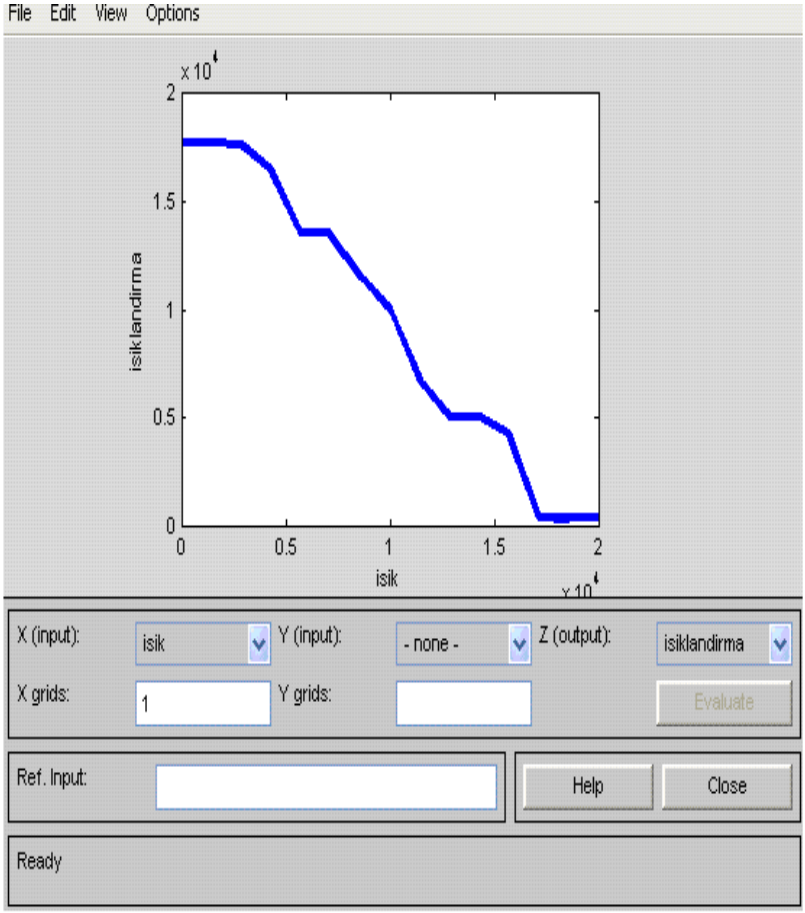
Şekil 4.8. Sıcaklık ve Işık Şiddeti Gölgeleme Çıkış Değerine Matlab Programı.



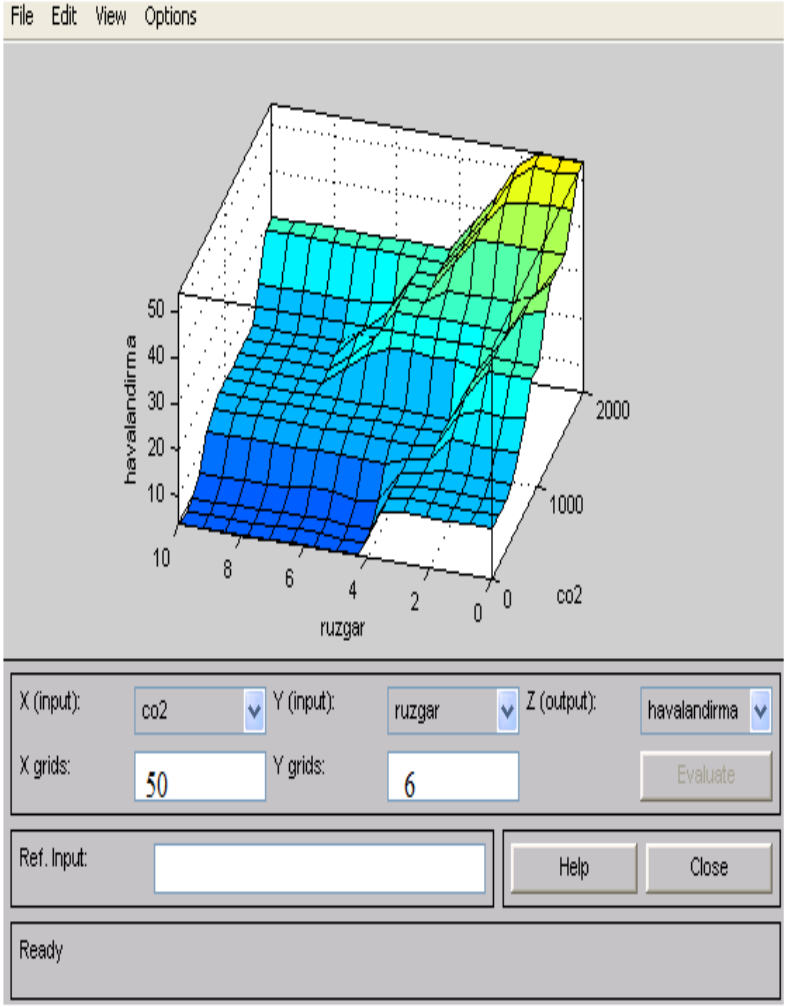
Şekil 4.9. Hava Neminin ve Toprak Nemi Sulama Çıkış Değerine Matlab Programı.



Şekil 4.10. Işık Şiddeti Işıklandırma Çıkış Değerine Matlab Programı.



Şekil 4.11. Karbondioksit Miktarı ve Rüzgâr Hızı Havalandırma Çıkış Değerine Matlab Programı.



5. UYGULAMALAR

5.1. Uygulama- 1

Sera içinde patlıcan bitkisi için sıcaklık 42 ºC ve hava nemi oranı % 75 olsun. Bu durumda soğutma çıkış değeri için seraya verilen su miktarı kalınlığı kaç micron olacaktır?

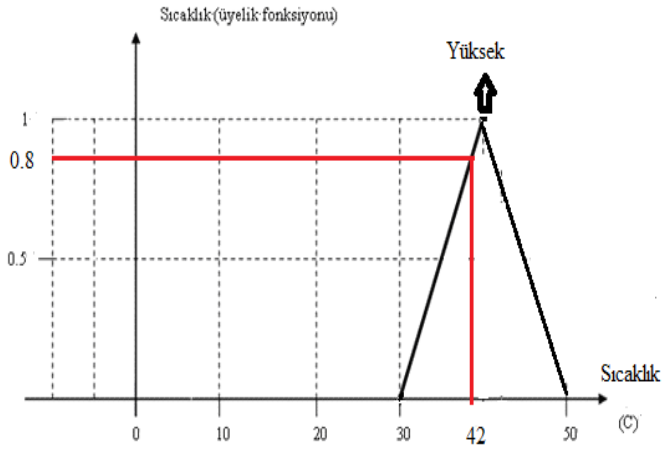
Çözüm:

Sıcaklık 42 °C için;

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

$$\mu_{Yüksek}(x) = 40 \le x \le 50 \; ; (50 - x)/10$$

Şartından dolayı Yüksek μ(x) = 0.8 olarak bulunur.



Şekil 5.1. Sıcaklık 42 ºC Değerinin Grafiksel Gösterimi.

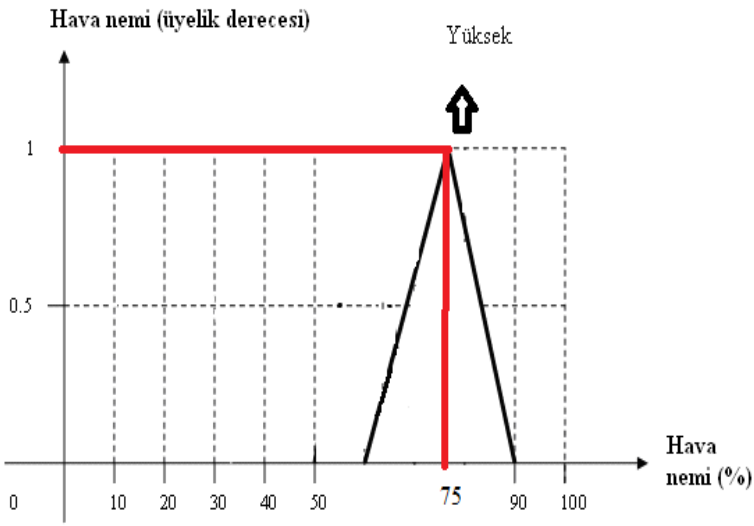
Hava nemi % 63 için;

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

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

Şartından dolayı Yüksek μ(y) = (90-75) / 15 = 1 olarak bulunur.

Hava nemi % 75'nün diğer kümelere üyeliği sıfırdır.



Şekil 5.2. Hava Nemi % 75 Değerinin Grafiksel Gösterimi.

Bunun sonucunda aşağıdaki kurallar uygulanır.

"Eğer Sıcaklık Yüksek (0.8) ve Hava nemi Yüksek (1) o halde soğutma çıkış değeri **Yüksek (0.8)"**.

Bu durumda kural için, $0.8 \wedge 1 = 0.8$ bulunur.

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

$$\mu_{Yüksek}(s) = \begin{cases} s < 45 \text{ veya } s > 65 & ; 0 \\ 45 \le s \le 55 & ; (s-45)/10 \\ 55 \le s \le 65 & ; (65-s)/10 \end{cases}$$

(s1 - 45) /10 = 0.8 eşitliğinden s1 = 8 + 45 = 53 tür.

(65 – s2) / 10 = 0.8 eşitliğinden s2 = 65 – 8 = 57 dir.

s1 ile s2 nin ortalaması alınırsa sonuç 55 çıkar.

Aort = 55 micron olarak durulaştırılmış çıkış değeri elde edilir, Yani seradaki soğutma çıkış değeri 55 micron olmalıdır.

Aynı örnek için bu değer Matlab programında **55 micron** olarak hesaplandı ve buradan hata oranı % 0 dır.

Ayrıca konunun uzmanı bu değerler verildiğinde seraya 65 micron kalınlığında su değerini öngörmüştür. Bu yüzden tasarlanan Bulanık Uzman Sistem geleneksel kontrole göre avantajlıdır ve enerji tasarrufu sağlamıştır.

5.2. Uygulama- 2

Sera içinde ışık şiddeti 10800 lux olsun. Bu durumda ışıklandırma çıkış değeri için seraya verilmesi gereken aydınlık şiddeti (lux) kaç olmalıdır?

Çözüm:

Işık şiddeti 10800 için;

$$\mu_{\text{Düşük}}(z) = \begin{cases} z < 4800 \text{ veya } z > 10800 & ; 0 \\ 4800 \leq z \leq 7800 & ; (z - 4800)/3000 \\ 7800 \leq z \leq 10800 & ; (10800 - z)/3000 \end{cases}$$

$$\mu_{\text{Orta}}(z) = \begin{cases} z < 9600 \text{ veya } z > 14400 & ; 0 \\ 9600 \leq z \leq 1200 & ; (z - 9600)/2400 \\ 12000 \leq z \leq 14400 & ; (14400 - z)/2400 \end{cases}$$

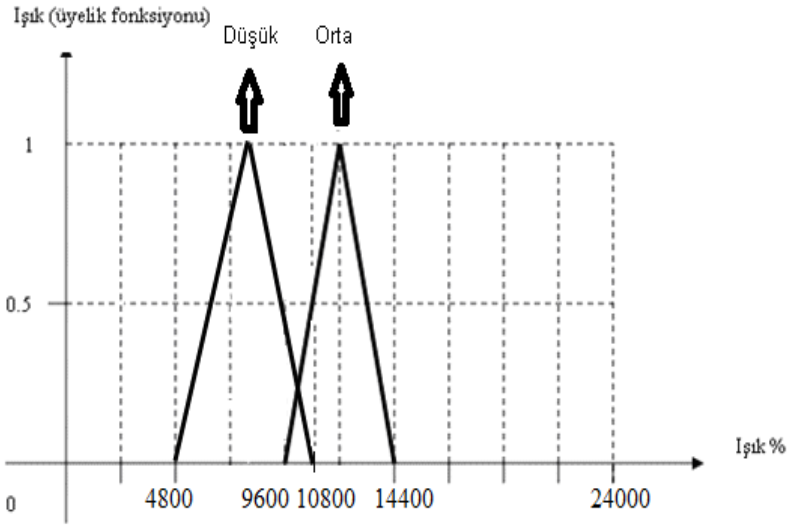
$$\mu_{\text{Düşük}}(z) = 7800 \leq z \leq 10800 \quad ; (10800 - z)/3000$$

Şartından dolayı Düşük μ(z) = 0 olarak bulunur.

$$\mu_{\text{Orta}}(z) = 9600 \leq z \leq 12000 \quad ; (z - 9600)/2400$$

Şartından dolayı Düşük μ(z) = 0.5 olarak bulunur.

Işık şiddeti 10800 lux ’ün değerinin diğer kümelere üyeliği sıfırdır.



Şekil 5.3. Işık Şiddeti 10800 Lux Değerinin Grafiksel Gösterimi.

Bunun sonucunda aşağıdaki kural uygulanır.

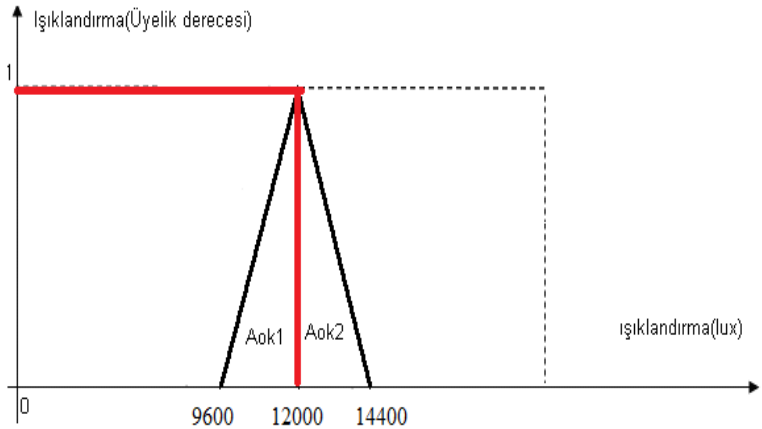
"Eğer Işık şiddeti Düşük (0) ise o halde ışıklandırma çıkış değeri **Yüksek (0)**."

"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.

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



Şekil 5.4. Işıklandırma Derecesinin Düşük Grafiksel Gösterimi.

Şekil 5.4'de verilen şeklin alanları ve ağırlık ortalama hesaplanır.

Ak1 = (12000 -9600) /2 = 1200'dir.

Aok1 = 12000 –((12000 - 9600)/3) = 11200'dür.

Ak2 = (14400 -12000) / 2 = 1200'dir.

Aok2 = 12000 + ((14400 – 12000) / 3) = 12800'dir.

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

Aort = (1200 * 11200 + 1200 * 12800) / 2400

Aort = 12000 Lux olarak durulaştırılmış çıkış değeri elde edilir, yani seradaki ışık şiddeti çıkış değeri 12000 Lux olmalıdır.

Aynı örnek için bu değer Matlab programında **12000 Lux** olarak hesaplandı ve buradan hata oranı % sıfır olduğu görülmektedir.

Ayrıca konunun uzmanı bu değerler verildiğinde seraya 13000 lux aydınlık şiddeti değerini öngörmüştür. Bu yüzden tasarlanan Bulanık Uzman Sistem geleneksel kontrole göre avantajlıdır ve enerji tasarrufu sağlamıştır.

6. Sera Kontrolünde Bulanık Kontrol Sisteminin Ekonomikliği

Tasarlanan Bulanık Uzman Sistemin sonuçları ile Geleneksel Kontrol Sisteminin karşılaştırılması yapılmıştır. Bu karşılaştırmada Tasarlanan Bulanık Uzman Sisteme Geleneksel Kontrole göre avantajlıdır. Tasarlanan Bulanık Uzman Sistem yöntemiyle elde edilen veriler Geleneksel Kontrol yöntemiyle kullanılan verilerden ısıtma çıkış değeri % 4,9666, soğutma çıkış değeri % 8,5603, gölgeleme çıkış değeri % 12,4074, ışıklandırma çıkış değeri % 9,5555, sulama çıkış değeri % 16,4999 ve havalandırma çıkış değeri % 10,1507 avantajlıdır. Ortalama % 8,5059 kadar daha ekonomiktir. Aşağıda Tablo 6.1 ile Tablo 6.6 Bulanık Uzman Sistem ile Geleneksel Kontrol Sistemi karşılaştırılmaları verilmiştir.

Tablo 6.1. Isıtma Bulanık Uzman Sistem Geleneksel Kontrol Sisteminin Karşılaştırılması.

Sıcaklık	Hava Nemi	Isıtma BUS (kw)	Geleneksel Kontrol (kw)	Hata Miktarı	Hata Oranı Yüzdesi (%)
-20	0	10,8000	12,0000	1,2000	10,0000
0	55	9,6000	10,1000	0,5000	4,9000
15	55	6,0000	6,00000	0,0000	0,0000

Ortalama Fark % 4,966

Tablo 6.2. Soğutma Bulanık Uzman Sistem ile Geleneksel Kontrol Sisteminin Karşılaştırılması.

Sıcaklık	Hava Nemi	Soğutma BUS (m)	Geleneksel Kontrol (m)	Hata Miktarı	Hata Oranı Yüzdesi (%)
25	70	22,0000	22,0000	0,0000	0,0000
52	66	29,9021	34,0000	4,0978	12,0526
60	100	36,0000	40,0000	4,0000	10,0000

Ortalama Fark % 7,3087

Tablo 6.3. Gölgeleme Bulanık Uzman Sistem ile Geleneksel Kontrol Sisteminin Karşılaştırılması.

Sıcaklık	Işık Şiddeti	Gölgeleme BUS (cm)	Geleneksel Kontrol (cm)	Hata Miktarı	Hata Oranı Yüzdesi (%)
15	10000	100,0000	100,0000	0,0000	0,0000
45	18000	350,0000	450,0000	100,0000	22,2222
60	24000	510,0000	600,0000	90,0000	15,0000

Ortalama Fark % 12,4074

Tablo 6.4. Işıklandırma Bulanık Uzman Sistem ile Geleneksel Kontrol Sisteminin Karşılaştırılması.

Işık Şiddeti	**Işıklandırma BUS (lux)**	**Geleneksel Kontrol (lux)**	**Hata Miktarı**	**Hata Oranı Yüzdesi (%)**
0	20000	24000	4000	16,6666
10000	110000	12000	1000	12,0000
12000	12000	12000	0	0,00000

Ortalama Fark % 9,5555

Tablo 6.5. Sulama Bulanık Uzman Sistem ile Geleneksel Kontrol Sisteminin Karşılaştırılması.

Hava Nemi	**Toprak Nemi**	**Sulama BUS (lt)**	**Geleneksel Kontrol (lt)**	**Hata Miktarı**	**Hata Oranı Yüzdesi (%)**
10	10	10,0000	15,0000	5,0000	33,3333
50	50	25,0000	30,0000	5,0000	16,1666
100	100	60,0000	60,0000	0,0000	0,0000

Ortalama Fark % 16,4999

Tablo 6.6. Havalandırma Bulanık Uzman Sistem ile Geleneksel Kontrol Sisteminin Karşılaştırılması.

Karbondioksit	Rüzgâr Hızı	Havalandırma BUS (derece)	Geleneksel Kontrol (derece)	Hata Miktarı	Hata Oranı Yüzdesi (%)
10	5	30,0000	35,0000	5,0000	14,2857
2000	0	62,5000	75,0000	12,500	16,1666
2000	14	75,0000	75,0000	0,0000	0,0000

Ortalama Fark % 10,1507

Genel olarak tasarlanan Bulanık Uzman Sistem ile Geleneksel Kontrol sistemi arasında ortalama % 8,5059 avantaj sağlamaktadır.

Aşağıda Tablo 6.7'de tüm çıkış değerlerin ve genel olarak avantaj yüzdeleri verilmiştir.

Tablo 6.7. Tasarlanan Bulanık Uzman Sistem ile Geleneksel Kontrol Sisteminin Genel Avantaj Karşılaştırılması.

Isıtma Değeri	Soğutma	Gölgeleme	Işıklandırma	Sulama	Havalandırma
% 4,9666	% 7,3087	% 12.7047	% 9,5555	% 16,4999	% 10,1507

Ortalama Fark % 8,5059

7. SONUÇ

Dünyada 2020 yılında meydana gelen korona virüsten dolayı gıda ürünlerine talep hızlı bir şekilde artırmaktadır. Bundan dolayı toprak alanında daha fazla ürün elde edilmesi dünya gıda üretimi problemlerinin başında gelmektedir.

Son yıllarda tarım alanında Bulanık Mantık ve Uzman Sistem kullanılarak hasat verimliliği artırmıştır. Bitki verimliliği ve tarım makinelerinin kontrolünde de bu yöntem kullanılıyor. Sera üretiminde verimliliği daha da artırmak için yapılan bu çalışmada Bulanık Kontrolü kullanılarak problemin çözümüne katkı sağlandığı düşünülüyor.

Çalışma süresince uzman kişilerle Antalya ilinde seralar incelemiştir. Bu uzmanların sayesinde giriş ve çıkışlar değerleri belirlenmiştir. Serada giriş ve çıkış parametreleri önemlidir.

Bu çalışmada öncelikli Bulanık Kontrol ile ilgili temel bilgiler verilmiş, seranın gereken Bulanık Uzman Sistemi girişleri ve çıkışları belirlenmiş ve uygun Bulanık Uzman Sistem tasarlanmıştır. Bulanık Kontrol çıkış değerlerinin hesaplanması için yaygın olarak kullanılan centroid metodu kullanılmıştır.

Çalışmada patlıcan bitkisi için gerekli veriler toplanmıştır. Giriş parametreleri için beş tane dilsel değerler kullanılmıştır. Sera kontrolü için Delphi programı ile sağlanmıştır.

Yapılan programın doğruluğu Matlab programı kullanılmıştır. Bulanık Uzman Sistem'de elde edilen sonuçların doğru olduğu görülmüştür.

Çalışmada asıl amaç serada bitkinin verimini arttırıp, daha fazla ürün almaktır. Bulanık Kontrol kullanıldığı zaman ve enerji tasarrufu yapılmıştır.

Bu sistem, genel yöntemlerle yapılan sera kontrolüne karşı alternatif olarak geliştirilmiştir. Bulanık Kontrol ile yapılan tarım alanındaki uygulamalar genel yöntemlere göre yapılan verimden fazladır.

KAYNAKLAR

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

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

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.

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

Ödük, M.N. Allahverdi, N. 2009. Bulanık Kontrol Yöntemiyle Sera Otomasyonu Üzerine Bir Çalışma, Word Academy of Science Engineering and Technology (WASET), Vol. S 7, September 2009, pp 599 – 603, Amsterdam, Hollanda.

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.

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

EKLER

EK-A- Delphi programıyla yazılan "MNO_V_2020 Bulanık Kontrol Yöntemiyle Sera Otomasyonu 2020" programı.

İKSAD
Publishing House

ISBN: 978-625-7279-62-8