



ADAPTİF AĞ YAPISINA DAYALI BULANIK ÇIKARIM SİSTEMİNİN

(ANFIS) TOPRAKSIZ TARIM SERALARINA UYGULANMASI

AYŞEGÜL ÖZKAN TEPE

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MEKATRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Dr. Öğr. Üyesi Mahir Kaya

Ocak - 2022

Her hakkı saklıdır

T.C.
TOKAT GAZİOSMANPAŞA ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
MEKATRONİK MÜHENDİSLİĞİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**ADAPTİF AĞ YAPISINA DAYALI BULANIK ÇIKARIM SİSTEMİNİN
(ANFIS) TOPRAKSIZ TARIM SERALARINA UYGULANMASI**

AYŞEGÜL ÖZKAN TEPE

TOKAT
Ocak - 2022

Her hakkı saklıdır

ETİK SÖZLEŞME

Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre, Dr. Öğr. Üyesi Mahir KAYA danışmanlığında hazırlamıŐ olduğum “Adaptif Ağ Yapısına Dayalı Bulanık Çıkarım Sisteminin (Anfis) Topraksız Tarım Seralarına Uygulanması” adlı Yüksek Lisans tezinin bilimsel etik değerlere ve kurallara uygun, özgün bir çalışma olduğunu, aksinin tespit edilmesi halinde her türlü yasal yaptırımını kabul edeceğimi beyan ederim.

.../.../...

AyŐegöl ÖZKAN TEPE

ÖZET

ADAPTİF AĞ TABANLI BULANIK ÇIKARIM SİSTEMİNİN (ANFIS) TOPRAKSIZ TARIM SERALARINDA UYGULANMASI

ÖZKAN TEPE, Ayşegül

Yüksek Lisans, Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: DR. ÖĞR. ÜYESİ MAHİR KAYA

Ocak 2022, 72 Sayfa

Topraksız tarım değişen dünya koşullarında ekonomiye, istihdama, verimlilik süresine ve bunlar gibi birçok alana olan katkısıyla gün geçtikçe önem arz etmektedir. Bu çalışmada topraksız tarım seralarında kullanılan iklimlendirme ve stok besin tankının kontrolü Adaptif Ağ Tabanlı Bulanık Çıkarım Sistemi (ANFIS) ile yapılmıştır. Belirlenen üyelik fonksiyonları ve veri setleri ile ANFIS modeli MATLAB'de oluşturulmuştur. Oluşturulan model her bir üyelik fonksiyonu için trimf, trmpmf, gbellmf, gauss2mf, pimf, dsigmf, psigmf fonksiyonları ile test edilip en iyi sonucu veren hiperparametreler belirlenmiştir. Ayrıca, tensorflow'da oluşturulan ANFIS yapısının modeli de uygulanmıştır. Çok Değişkenli Regresyon (MVR), K en yakın komşu (KNN), Destek Vektör Regresyonu (SVR), Çok Katmanlı Algılayıcı (MLP), Rastasal Orman (RF) ve XGBOOST algoritmaları ile veriseti üzerinde eğitimler gerçekleştirilmiştir. Ortalama mutlak hata ve R^2 değerlerine göre en uygun makine öğrenmesi yöntemi belirlenmiştir. Raspberry Pi kartı ve çeşitli sensörler kullanılarak topraksız tarım prototipi geliştirilmiştir ve bu prototipte en iyi model test edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Anfis, Bulanık Mantık, Matlab, Python, Yapay Zeka, Yapay Zeka Modülleri, Topraksız Tarım, Topraksız Tarım Otomasyonu

ABSTRACT

DEVELOPMENT OF ADAPTIVE NETWORK-BASED FUZZY INFERENCE SYSTEM (ANFIS) IN HYDROPONIC

ÖZKAN TEPE, Ayşegül

Master Thesis, Department Of Mechatronics Engineering

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Mahir Kaya

January 2022, 72 Page

Hydroponic is increasingly important in changing world conditions, with its contribution to the economy, employment, productivity time and many other areas. In this study, climate and stock food tank used in hydroponic greenhouses are controlled by the Adaptive Network-based fuzzy Inference System (ANFIS). The ANFIS model was created in MATLAB with the specified membership functions and datasets. The model created has been tested with with trimf, trapezmf, gbellmf, gas2mf, dsigmf, psigmf functions for each membership function, and the hyperparameters that give the best results have been determined. In addition, the model of the ANFIS structure created in tensorflow was implemented. Training has been carried out on data with the Multi-variable Regression (MVR), K nearest neighbors (KNN), Support Vector Regression (SVR), Multi-layer Perceptron (MLP), Random Forest (RF) and XGBOOST. The most appropriate machine learning method is determined based on mean absolute error and R^2 values. Using the Raspberry Pi card and various sensors, the hydroponic prototype was developed and the suitable model was tested in this prototype.

Keywords: Anfis, Fuzzy Logic, Matlab, Python, Artificial Intelligence, Artificial Intelligence Modules, Hydroponic, Hydroponic Automation

ÖNSÖZ

Bu çalışmamda beni en güzel şekilde yönlendiren, bilgilerini ve tecrübelerini en doğru şekilde aktaran, çalışmamın her aşamasına bilimsel katkılarını esirgemeyen değerli danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Mahir KAYA'ya teşekkür ederim.

Tez çalışmam boyunca benden desteklerini eksik etmeyen sevgili eşim Hüseyin TEPE'ye, beni sabırla bekleyen evlatlarım Zeynep Gökçe TEPE ve Gökdeniz TEPE'ye, bugünlere gelmemi sağlayan sevgili aileme sonsuz sevgilerimi ve teşekkürlerimi sunuyorum.

AYŞEGÜL ÖZKAN TEPE

2022

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ETİK SÖZLEŞME.....	iii
ÖZET	i
ABSTRACT.....	ii
ÖNSÖZ	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR	vi
ŞEKİL LİSTESİ.....	vii
ÇİZELGE LİSTESİ	ix
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ / GENEL BİLGİLER.....	5
2.1. Kaynak Özetleri	5
2.2. Genel Bilgiler.....	14
2.2.1 Bulanık mantığın tarihçesi	14
2.2.2. Bulanık küme	16
2.2.3. Bulanık kural yapısı	19
2.2.4. Anfis.....	20
3. MATERYAL ve YÖNTEM	24
3.1. Giriş Çıkış Değişkenleri.....	24
3.2. Üyelik Değerleri	27
3.3. Kural Tabanı	29
Kural tablosunun tamamı EK1’dedir.	30
3.4. Veri Setlerinin Oluşturulması	30
3.5. Anfis Modelinin Matlab’de Test Edilmesi	31
3.6. Uygulama İçin Prototip Oluşturulması	34
3.6. Kullanılan Donanımlar	35
4. BULGULAR.....	40
4.1. Sıcaklık, Nem ve CO ₂ Girişlerinden Matlab’de Elde Edilen Bulgular.....	40
4.2. Ec Girişinden Matlab’de Elde Edilen Bulgular	41
4.3. pH Girişinden Matlab’de Elde Edilen Bulgular	42

4.4. Anfis Modeli Gradyan İniş Optimizasyon Algoritması (Optimizer) Karşılaştırılması	43
4.5. Anfis Modelinde Epoch Sayısının Artırılması.....	46
4.6. Modellerin Karşılaştırılması	46
4.7. Prototipten Elde Edilen Bulgular	48
5. SONUÇLAR ve TARTIŞMA.....	49
KAYNAKLAR	52
EKLER.....	59



SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler	Açıklama
X	Giriş değişkeni
Y	Giriş değişkeni
F	Çıkış değişkeni
A	Bulanık Küme
B	Bulanık Küme
p	Sonuç değişkeni
q	Sonuç değişkeni
r	Sonuç değişkeni
O	üyelik derecesi
i	Düğüm sayısı
a _i	parametre seti
b _i	parametre seti
c _i	parametre seti
N	3. Katmandaki bütün düğümler
μS/cm, uS/cm	microsiemens/santimetre
[mS/m]	milisiemens/metre
UV	Ultraviyole
Nm	Nanometre
W	Watt
V	Volt
mV	Milivolt

Kısaltmalar	Açıklama
PLC	Programmable Logic Controller
EC	Elektriksel İletkenlik
pH	Hidrojen Gücü (Power of Hydrogen)
ANFIS	Adaptif Neuro Fuzzy Inference System

ŞEKİL LİSTESİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 1. 1 Topraksız tarım teknikleri (Anonim-1, 2021)	2
Şekil 2. 1 Kesin küme örneği (renk çarkı).....	17
Şekil 2. 2 Bulanık küme örneği	17
Şekil 2. 3 Klasik küme üyelik (aitlik) derecesi (Anonim-3, 2021).....	18
Şekil 2. 4 Bulanık küme üyelik (aitlik) derecesi (Anonim-3, 2021).....	18
Şekil 2. 5 Bulanık çıkarım sistemi (Altaş, 1999).....	20
Şekil 2. 6 Bulanık çıkarım (Jang, 1993)	22
Şekil 2. 7 ANFIS Mimarisi (Jang, 1993).....	22
Şekil 2. 8 (a) Denklem 1 (b) Denklem 2.....	23
Şekil 3. 1 İklimlendirme giriş çıkış değerleri.....	25
Şekil 3. 2 Ec giriş çıkış değerleri	26
Şekil 3. 3 pH giriş çıkış değerleri	26
Şekil 3. 4 Eğitim verileri.....	31
Şekil 3. 5 Test Verileri.....	31
Şekil 3. 6 EC Eğitim verileri.....	32
Şekil 3. 7 EC Test verileri.....	32
Şekil 3. 8 pH Eğitim Verileri.....	33
Şekil 3. 9 pH Test Verileri	33
Şekil 3. 10 Prototip teknik çizimi(a) karşıdan görünüm (b)üst görünüm (c) genel hatları	34
Şekil 3. 11 (a) Prototip kurulum aşaması (b) kurulmuş hali.....	35
Şekil 3. 12 Raspberry Pi 3 geliştirme kartı	36
Şekil 3. 13 pH sensörü	36
Şekil 3. 14(a) pH metre (b), (c) kalibrasyon sıvıları.....	37
Şekil 3. 15 EC sensörü.....	37
Şekil 3. 16(a) EC metre (b) EC metre kalibrasyon sıvısı.....	38

Şekil 3. 17 Dalgıç pompa.....	38
Şekil 3. 18 Peristaltik sıvı pompası.....	39
Şekil 3. 19 Güç Kaynağı	39
Şekil 3. 20 Fan	40
Şekil 4. 1 ANFIS Modeli.....	41
Şekil 4. 2 SGD optimizier ile her epoch'ta eğitim ve doğrulama hataları	44
Şekil 4. 3 SGD optimizier ile her epoch'ta eğitim ve doğrulama hatalarının grafik gösterilmesi	44
Şekil 4. 4 ADAM optimizier ile her epoch'ta eğitim ve doğrulama hataları.....	45
Şekil 4. 5 ADAM optimizier ile her epoch'ta eğitim ve doğrulama hatalarının grafik gösterilmesi	45
Şekil 4. 6 ANFIS modelinde epoch sayısının artma grafiği	46
Şekil 4. 7 Modellerin karşılaştırılmasının grafiksel gösterimi.....	47
Şekil 4. 8 Prototip test süreci	48
Şekil 4. 9 Prototip için oluşturulan devreler	48

ÇİZELGE LİSTESİ

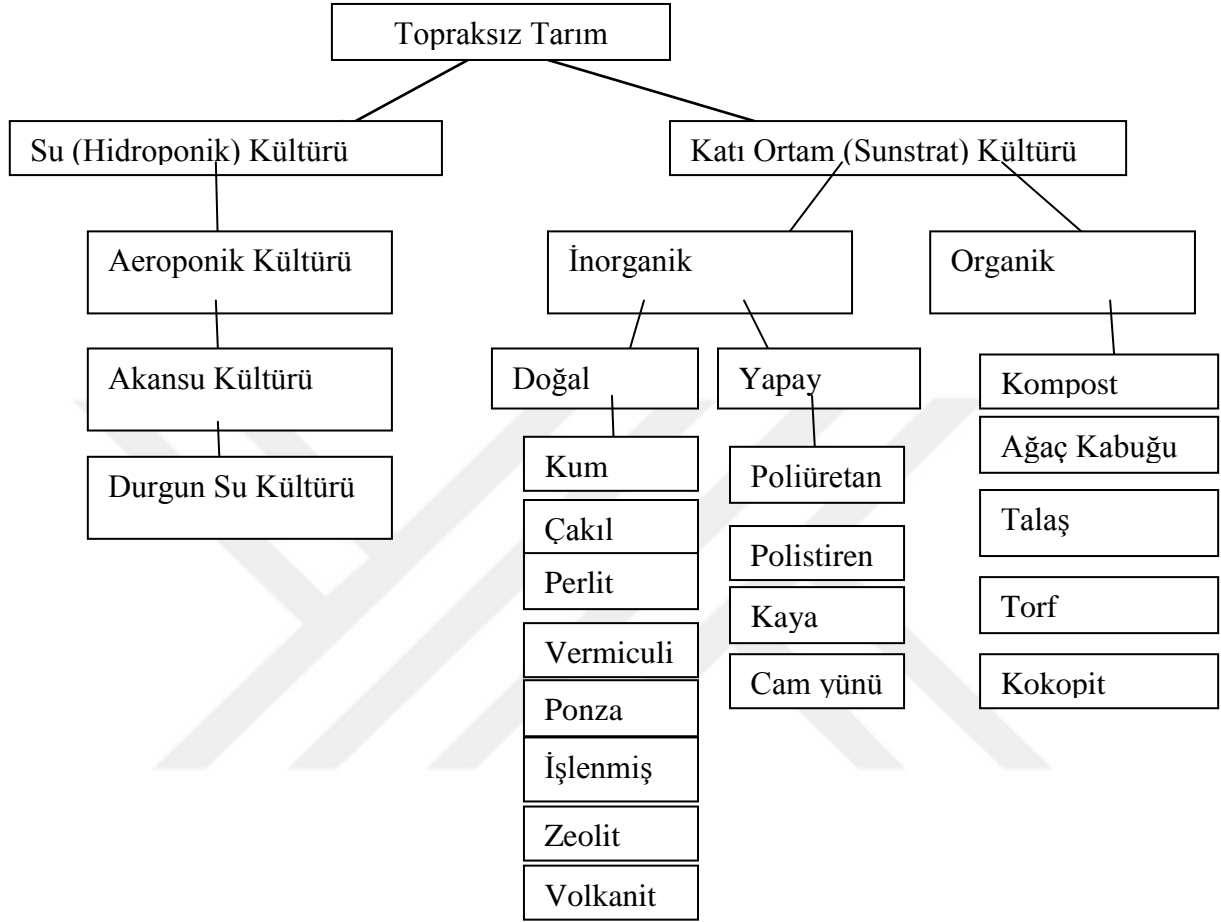
<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1. Çeşitli hidroponik tekniklerinin en önemli özellikleri.....	11
Çizelge 3.1. İklimlendirme üyelik fonksiyonları	27
Çizelge 3.2. EC üyelik fonksiyonları	27
Çizelge 3.3. pH üyelik fonksiyonları	28
Çizelge 3.4. Giriş çıkış değer aralıkları	28
Çizelge 4.1. Sıcaklık, nem ve CO2 değerleri ile yapılan test sonuçları.....	39
Çizelge 4.2. EC değerleri ile yapılan test sonuçları	41
Çizelge 4.3. pH değerleri ile yapılan test sonuçları	43
Çizelge 4.4. Modellerin karşılaştırılması	45

1. GİRİŞ

Tarımda olumsuz çevresel etkenler nedeni ile çeşitli sorunlar yaşanmaktadır. Özellikle artan dünya nüfusu ve kentleşme ile başlayan işlenilebilir tarım arazilerinin azalması (Punya ve ark., 2020), yanlış gübreleme ve aşırı sulama kaynaklı verimli toprakların çoraklaşması, yabancı ot ve zararlı böceklerle mücadelede kullanılan ilaçların bıraktığı ağır metal kirliliği gibi sayılabilecek birçok etken tarım sektöründeki verimliliği düşürüp tarımda yeni çözüm arayışına gidilmesine neden olmuştur (Günay, 2017, Özkan, 2014).

Bütün bu sorunların aşılması ve tarımın daha verimli ve sorunsuz hale getirilebilmesi için yürütülen çalışmalar sonucunda toprak faktörünün ekarte edilerek tarıma devam edilebileceği fikri geliştirilmiştir (Thalwatte ve ark., 2021). Bu çalışmalar sonucunda günümüzde dünyada yaygın bir şekilde kullanılan topraksız tarım ortaya çıkmıştır (Özkan, 2014). İnsanlar tarafından yapılan bu teknolojik gelişmelerle, bitkilerin büyümesi izlenebilmektedir ve suda büyütülebilmektedir, çünkü bir bitkinin ihtiyaç duyduğu besin maddeleri, besinlerin istenilen verimi sağlayacağı şekilde doğrudan su ile verilebilmektedir. Bu tür bitki yetiştirme, Hidroponik olarak bilinir (Arora ve ark., 2021).

Topraksız tarım uygulamaları genel olarak toprağın devre dışı bırakılması suretiyle, bitkilerin büyümesi için gerekli besin maddelerinin bitkiye katı ya da sıvı ortamlarda verilmesi ile gerçekleşir (Jensen, 1997). Bu katı ya da sıvı ortamlara göre topraksız tarım teknikleri değişkenlik göstermektedir. Şekil 1.1.'de görüldüğü üzere çeşitli topraksız tarım teknikleri bulunmaktadır. Bunlar katı ortam kültürü ve su kültürü olarak iki genel başlıkta toplanabilir. İki teknikte de genel çalışma prensibi şu şekildedir: bitkiler katı veya sıvı yetiştirme ortamlarına yerleştirilirler ve bitkinin ihtiyaç duyduğu besin solüsyonu yeterli oranlarda su ile karıştırılarak bitki köklerinden geçecek şekilde ayarlanan sisteme pompalanır (Anonim, 2022). Bitki kökleri aracılığı ile gerekli besinini alır ve kalan solüsyon devir dayım geri gönderilir. Belirli zamanlarla besin solüsyonu miktarı kontrol edilerek bitkinin ihtiyaç duyduğu aralığa gelmesi sağlanır.



Şekil 1. 1 Topraksız tarım teknikleri (Anonim-a, 2021)

Hidroponik sistemlerde otomatik kontrol, bulanık mantık sistemleri, makine öğrenmesi yöntemleri gibi yöntemler kullanılarak tahmin modeli üretme üzerine çalışmalar bulunmaktadır. Hidroponik sistemlerde bulanık mantık kullanılarak besin kontrolü sağlama işlemi genellikle gerçekleştirilmiştir (İbrahim ve ark., 2015). Öte yandan Makine Öğrenmesi yöntemleri hidroponik sistemlerde besin alımı analizi ve daha iyi mahsul büyümesinin sağlanmasına olanak sağlayan sistemlerde kullanılmıştır (Verma ve ark., 2021). Ayrıca Makine Öğrenmesi yöntemleri kullanılarak hidroponik sistemlerin kontrolü de sağlanmıştır (Arora ve ark., 2021). Diğer yandan Derin Sinir Ağları kullanılarak hidroponik sistemlerde mahsul veriminin optimize edilmesi çalışılmıştır (Vigyan, 2020). Sera sistemlerinde kontrol işlemi bulanık mantık kullanılarak sağlanmıştır (Ayan ve Şenol, 2016). Benzer şekilde bulanık mantık tabanlı

iklimlendirme sistemleri de geliştirilmiştir (Kansu Ateş, 2018). Bu çalışmalarda kullanılan bulanık mantık yapıları ve makine öğrenmesi yöntemlerine dayalı sistemlerin mahsul verimi üzerinde etkisinin olduğu gözlemlenmiştir (İbrahim ve ark., 2015). Bu çalışmada, hem bulanık mantık modeli olan hem de yapay sinir ağlarının öğrenme modelini bir arada kullanan ANFIS modeli hidroponik sistemlerde uygulanmıştır.

Son yıllarda, birçok araştırmacı bulanık mantık denetleyicisinin hidroponik yetiştirme sisteminde etkin bir şekilde uygulandığını doğrulamıştır (İbrahim ve ark., 2015). Bu çalışmada topraksız tarım seralarında kullanılan iklimlendirme ve stok besin kontrolü Adaptif Ağ Tabanlı Bulanık Çıkarım Sistemi (ANFIS) ile yapılmıştır. Modelleme yapılırken iklimlendirme sistemleri ve besin değerlerinin kontrolü olarak iki ayrı şekilde ele alınmıştır. Seraların iklimlendirme sistemleri için en önemli unsurlar sıcaklık, nem ve CO₂'dir (Saaïd ve ark., 2015). Stok besin kontrolünde en önemli unsurlar EC ve pH değerlerinin optimum aralıkta tutulmasıdır. Bu değerler giriş değişkeni olarak belirlenmiştir. Giriş değişkenlerinin üyelik derecelerine göre üyelik fonksiyonları dilsel ifadelerle belirlenmiştir. Dilsel ifadeler, giriş çıkış değişkenleri ve veri setleri belirlenirken alanında uzman kişilerden yardım alınmıştır. Belirlenen üyelik fonksiyonları ve veri setleri ile ANFIS modeli MATLAB'de eğitilmiştir. Oluşturulan model her bir üyelik fonksiyonu için trimf, trappmf, gbellmf, gauss2mf, pimf, dsigmf, psigmf fonksiyonları ile test edilip en iyi sonucu veren model belirlenmiştir. ANFIS modelinin Python'da tensorflow ile oluşturulan kütüphanesi de kullanılmıştır. Oluşturulan modelin karşılaştırılması yapılmak üzere Python kullanılarak diğer optimizasyon algoritmalarından Çok Değişkenli Regresyon (MVR), K en yakın komşu (KNN), Destek Vektör Regresyonu (SVR), Çok Katmanlı Algılayıcı (MLP-1) (5 gizli katman), Çok Katmanlı Algılayıcı (MLP-2) (7 gizli katman), Çok Katmanlı Algılayıcı (MLP3) (8 gizli katman), Rastsal Orman (RF) ve XGBOOST makine öğrenmesi yöntemleri ile veriseti üzerinde eğitimler gerçekleştirilip test verisi üzerinde ortalama mutlak hata ve R² değerleri hesaplanmıştır. Ortalama mutlak hata değerlerine göre en iyi sonucu geliştirdiğimiz MLP-2 yöntemi vermiştir ama bulanık mantık ile uyumundan dolayı topraksız tarımda kullanılacak en uygun model olarak ANFIS belirlenmiştir.

Veriseti üzerinde eğitilen ANFIS modelini uygulamak için prototip yapılmıştır. Prototip yapımında Raspberry Pi 3 kartı ve sensör olarak nem ve sıcaklık sensörü, CO₂ sensörü, EC sensörü, pH sensörü kullanılmıştır. Stok besin çözeltilerinin kontrolü için peristaltik pompalar ve sıcaklık kontrolü için fan prototipe yerleştirilmiştir. Raspberry Pi kartı aracılığıyla okunan sensör verileri ANFIS modeline göre işlenmiş ve uygulanmıştır.

Bu çalışmada geliştirilen modelde üyelik fonksiyonları ve veri setleri çilek bitkisi için belirlenmiştir. Bunun nedeni: Çilek sanayi sektöründe ilgi gören bir besindir ve olgunlaşma dönemi nedeniyle yüksek fiyatlı alıcıya sunulması nedeniyle tercih edilmektedir (Eltez ve Tüzel, 2007). Topraksız Tarım Seralarında birim alanda alınan verimi ve yetiştirme döneminin uzunluğu nedeniyle çilek yetiştiriciliği oldukça yaygındır. Tüm bu sebeplerden dolayı çilek seçilmiştir.

Çilek yetiştiriciliği için gerekli olan EC ve pH değerleri yine uzman kişiler tarafından belirlenmiştir. Çilek yetiştiriciliği için (fide-çiçeklenme-meyve dönemlerinde ve farklı tür fide çeşitlerine göre değişmekle birlikte) yapılan literatür çalışmalarında optimal EC 1,8-2,0 arasında olması gerekmektedir (Anonim-b, 2021). Optimal pH değerinin ise pH 5,8-6,0 arasında olması gerekmektedir (Adak ve Pekmezci, 2012; Adak, 2010).

Geliştirilen bu model sayesinde bitkinin ihtiyacı olan iklimsel ve fizyolojik değerler optimal aralıklarda tutulmuş olacaktır. Yetiştiriciliği yapılacak olan bitkinin sıcaklık gibi iklimsel ile fizyolojik ihtiyacı olan EC ve pH değerinin otomatik olarak sabit tutulması:

- EC ve pH ayarlanmasında insan kaynaklı müdahalelerin en aza indirilmesi sağlanır (Stanghellini ve Jong, 1995),
- Bitkinin daha sağlıklı gelişmesini, hastalıklara karşı daha dirençli olmasını, meyve verim miktarının artmasını sağlar. Seralarda fide kayıplarının azaltılması

ve hasat miktarının artması da ekonomik olarak kayıpların azalmasıyla oldukça önem arz etmektedir (Seginer ve Zlochin, 1997).

- Enerji tasarrufu sağlanır (Papaduopolos, 1991).

Bu çalışmanın temel amacı ve katkısı, bir bulanık mantık modeli olan ANFIS'in hidroponik sistemlerde uygulanması ve makine öğrenmesi modelleri geliştirilerek karşılaştırma yapılmasıdır. Modeli oluşturulan ANFIS ile besin solüsyonlarının kontrolü ve iklimlendirme sistemlerinin kontrolü hidroponik sistemde uygulanması, yine aynı veriler ile makine öğrenmesi yöntemleri modellemeleri yaparak ANFIS ile karşılaştırılmaları yapılması ve ANFIS modelinin tahmin modelleri arasındaki durumunun tespiti ana amaçlarından ve katkılarından.

Bu tezin içeriği 5 bölümden oluşmaktadır. 2. bölüm kaynak özetleri ve genel bilgiler bölümüdür. Bu bölümde yapılan benzer çalışmalar incelenmiştir ve bulanık mantık, bulanık mantık çalışma yapısı, sinirsel bulanık mantık, ANFIS ve ANFIS mimarisi ile ilgili bilgilere yer verilmiştir. 3. Bölüm materyal ve yöntemdir. Bu bölümde tasarlanan sistem ve yapılan çalışmalar anlatılmıştır. 4. bölüm bulgular bölümüdür ve bu bölümde elde edilen sonuçlar ve değerlendirmeleri yapılmıştır. Tezin 5. bölümü ise sonuçlar bölümüdür. Bu bölümde elde sonuçlardan bahsedilmiştir.

2. KAYNAK ÖZETLERİ / GENEL BİLGİLER

2.1. Kaynak Özetleri

Bu bölümde tarım, topraksız tarım, bulanık mantık, yapay sinir ağları ve ANFIS ile ilgili yapılan bazı çalışmalar incelenecektir.

Vanegas-Ayala ve ark. (2022) çalışmalarında bulanık mantık kullanılarak seralardaki bağıl nem tahminini ve kontrolünü yapan çalışmaları incelemiştir. Bu çalışmayı incelerken Scopus, Web of Science, ScienceDirect ve Google Scholar'ı kullanarak 93 adet kayıt elde edilmiştir. Kullanılan bulanık çıkarım sistemleriyle ilgili olarak, Mamdani bulanık çıkarım sistemleriyle uygulamaların %38'ini ve hem Takagi-Sugeno (TS) hem de uyarlanabilir nöro-bulanık çıkarım sistemleri (ANFIS'ler) için %21'ini göstermektedir. Yalnızca tahmin modelleri açısından, vakaların %50'sinin ANFIS kullandığı, ardından hem Mamdani hem de TS için %18,75'in kullandığı görülmüştür. Öte yandan salt kontrollü modellerde ise vakaların %38,88'inin Mamdani bulanık çıkarım sistemlerini, %27,77'sinin TS ve %5,55'inin ANFIS kullandığı görülmüştür. Mamdani bulanık çıkarım sistemleri, kontrol ve tahmin eylemlerini içeren modeller için en çok tavsiye edilen sistemlerdir. Aynı şekilde, kontrol modelleri için en çok kullanılanlardır, ancak bunların yerini tahmin modellerinde büyük kesinlik sağlayan ANFIS almıştır (Vanegas-Ayala ve ark., 2022).

Arora ve ark. (2021) çalışmalarında Makine Öğrenmesi yöntemleri kullanarak hidroponik sistemde otomatik dozajlama sistemi yapmışlardır. Bir bitkiyi etkileyen faktörleri, sistemdeki suyun pH, Sıcaklık ve EC olarak belirlemişlerdir. Bu faktörler için, bunları izlemek ve okumaları/değerleri bulmak için EC probu, pH probu ve Sıcaklık ve nem sensörlü bir Arduino UNO kullanılmıştır. Besin solüsyonunu su deposuna beslemek için bir peristaltik pompa kullanılmıştır. YSA modeli, giriş katmanı, gizli katman ve çıkış katmanı olmak üzere üç katmandan oluşmaktadır. Giriş katmanları için, 5 ekolojik koşulun (güneş ışığı radyasyonu, iç sıcaklık, iç nem, besin, su sıcaklığı ve CO₂) zaman düzenleme bilgileridir(Arora ve ark., 2021). Çıktılar, hidroponik bitkilere sağlanan su ve besinlerin ölçüsüdür. Hidroponik için EC ve pH arasındaki ilişkiyi bulmak için, değerleri ile lineer regresyon analizi kullanılarak, düzeltilmiş parametreler için besin çözeltisi matematiksel denklemlere dönüştürülmüştür. Bu araştırmada, NFT tabanlı bir hidroponik sistem kullanılmıştır ve sistemdeki EC ve pH koşullarını IoT (Nesnelerin İnterneti) kavramına dayalı bulanık mantık kullanarak kontrol edilmiştir.

Thalwatte ve ark. çalışmalarında hidroponik sistemlerde bitkilerde oluşan hastalıkların görüntü işleme ve makine öğrenmesi yöntemleri kullanılarak tespit edilmesini çalışmışlardır. Raspberry Pi 3 Model B kartı ve gerekli sensörlerle veriler alınmıştır. K-means algoritması ile kameradan gelen hastalık tespiti yapılmıştır. Gerekli yazılım için Python'da OpenCV kütüphanesi kullanılmıştır.

Chen ve ark. yaptıkları çalışmada hidroponik sistemlerde EC ve pH kontrolünü bulanık mantık ile sağlamıştır (Chen ve ark., 2021). Bulanık mantık için giriş EC ve pH, çıkış değeri ise çözelti pompası olarak belirlenmiştir. Bulanık kümeleri ise, EC bulanık küme: $EC = \{NM, NS, Z, PS, PM\}$. pH bulanık küme: $pH = \{NM, NS, Z, PS, PM\}$. Dört pompa (A–D) bulanık seti: $pump(A, B, C, D) = \{Z, PS, PM\}$ olarak belirlenmiştir. Burada NM negatif ortam, NS negatif küçük, Z sıfır, PS pozitif küçük ve PM pozitif ortamı temsil etmektedir. İlgili sensörler ile alınan veriler Raspberry Pi 3 kartı aracılığı ile bulanık mantıkta işlenir. Raspberry Pi 3 kartının kendi yazılım geliştirme ortamı olan Geany'de Python ile bulanık model oluşturulmuştur.

Mehra ve ark. çalışmalarında Derin Sinir Ağları kullanılarak IoT tabanlı hidroponik sistem uygulaması yapmışlardır (Mehra ve ark., 2018). Bitkinin yetiştiği hidroponik tankta pH, sıcaklık, nem, ışık yoğunluğu ve su seviyesi ile ilgili hidroponik sistemden 5000 gerçek zamanlı veri toplanmıştır. Sonrasında giriş parametrelerine dayalı olarak, her bir gizli katmanın 10 nöron veya düğüme sahip olduğu iki gizli katman oluşturulmuştur. Bu girdi parametreleri bulutta 10.000'den fazla epochta eğitilmiştir ve böylece 0-7 olarak etiketlenen uygun kontrol eylemi üretilmiştir. Sensörlerden alınan veriler eğitilen sinir ağına gönderilerek tahmin üretilmiştir. Ayrıca elde edilen sistemin doğruluğunun, Derin Sinir Ağı'na dayalı en iyi tahmin çıktısı doğruluğunu gösteren %88.50 olduğu belirtilmiştir.

Wongpatikaseree ve ark. makine öğrenme yöntemleri ile hidroponik sistemlerde üretilen ürünlerin tazeliğinin değerlendirilmesi yapılmıştır. Raspberry Pi aracılığı ile 7

gün boyunca sürekli 10 dakikada bir resim çekilmiştir. Elde edilen görüntülerin ham halleri MATLAB ve görüntü işleme araç kutusu kullanılarak öznelik çıkarımı yapılmıştır. Elde edilen görüntüleri sınıflandırmak için klasik makine öğrenimi sınıflandırıcılarından Naive Bayes1, Karar Ağacı ve Çok Katmanlı Algılayıcıyı (MLP) seçilmiştir. Klasik makine öğrenmesi yöntemleri arasında en iyi doğruluğa sahip olanın J48 olduğu tespit edilmiştir. Klasik makine öğrenmesi ile derin sinir ağı arasındaki karşılaştırma, derin sinir ağını eğitmek için gereken süre nedeniyle yalnızca yüzde bölme şemasıyla yapılmıştır. Yüzde bölünmesi 80/20 olarak belirlenmiştir. Derin sinir ağının J48'den daha iyi performans göstermediği bulunmuştur.

Verma ve Gawade makine öğrenmesi yöntemleri ile hidroponik sistemde mahsul büyüme oranını ve besin alım analizinin yapımını çalışmışlardır (Verma ve Gawade, 2021). Domatesin büyümesi sırasında Na, K, Mg, N ve Ca besin iyonlarının alım dinamikleri gösterilmiş ve hedef değişken mutlak büyüme üzerindeki etkisi incelenmiştir. EC limiti, tüm bitki ve meyvelerin kuru ağırlık maddesi, analiz için veri tabanında kullanılan diğer girdi değişkenleridir. Veri toplama ve analitik adımlarından elde edilen çıktılar, tahmin sonuçlarını elde etmek için makine öğrenimi algoritmasına beslenecektir. Tüm süreç üç bölümde detaylandırılmıştır: tasarım mimarisi, tahmin sistemi, sistemin akış şeması.

Pakzad ve Pakzad hidroponic sistemlerde sıcaklık, nem, EC ve pH değerlerini kontrol etmek için bulanık tabanlı bir sistem çalışmışlardır (Pakzad ve Pakzad, 2018). Sıcak mevsim bitkileri için hafif döngü çevresel değerlendirmesi için tanımlanmış iki girdi parametresi vardır: Bağıl Nem ve Sıcaklık. “Bağıl Nem” için üçgen üyelik fonksiyonlarının değerleri şöyledir: düşük için [40 49.5 59]; Sırasıyla ideal için [60 65 70] ve yüksek için [71 75.5 80]. “Sıcaklık” için üçgen üyelik fonksiyonlarının dilsel sınıflandırmalarına göre değerleri ise: düşük için [40 49.5 59]; Sırasıyla ideal için [60 65 70] ve yüksek için [71 75.5 80] olarak belirlenmiştir. İki giriş parametresi için 9 bulanık kural oluşturulmuştur. pH Asitliği ve Elektrik İletkenliği değerlendirmesi için tanımlanmış iki giriş parametresi vardır: pH ve Elektrik İletkenliği. Dilsel

sınıflandırmalarına göre “pH” için üçgen üyelik fonksiyonlarının değerleri şunlardır: yüksek asit için [0 2.45 4.9]; Sırasıyla düşük asit için [5 5.2 5.4] ve ideal için [5.5 6 6.5]. “Elektriksel İletkenlik” için üçgen üyelik fonksiyonlarının dilsel sınıflandırmalarına göre değerleri ise: düşük için [0 0.895 1.79] olarak belirlenmiştir. Altı bulanık kural MATLAB Fuzzy Toolbox ile simüle etmişlerdir.

Punya ve ark., çalışmalarında hidroponik sistemlerde sulama işlemini gerçekleştirmek üzere IoT ve Veri Bilimine dayalı sistem gerçekleştirmişlerdir (Punya ve ark., 2020). Toprak nem sensöründen alınan veriler Raspberry Pi aracılığıyla IoT teknolojisini kullanarak karar verme ve eylemleri kontrol etmek için bulutta MySQL’de depolanmaktadır. Web tarayıcısı, kullanıcı tarafından sistemi izlemek ve kontrol etmek için kullanılmaktadır. Raspberry pi’den buluta bilgi depolamak için API’ler oluşturan ve ardından internet üzerinden HTTP protokolünü kullanarak bilgileri buluttan alan IoT’nin açık kaynaklı bir uygulama olan Think Speak kullanılmaktadır. Ardından Thing Speak verileri işler ve GUI’de görüntüler. Daha iyi verim için bitkilerin boyunu tahmin etmek için Makine Öğrenmesi yöntemi olan Random Forest kullanılmıştır.

Günay (2017) yaptığı çalışmada tarımın tarihsel gelişimini, ekonomik boyutunu, sanayi için önemini Türkiye ve AB için incelemiştir. Tarım ülkelerin ekonomik gelişimi, hammadde tedarigi, milli gelire olan katkısı, işçi istihdamı ve sanayi sektörüne olan katkısı ile hayli büyük öneme sahiptir (Günay, 2017).

Özkan yaptığı çalışmada topraksız tarımın artan öneminden bahsetmiştir (Özkan, 2014). Çalışmada tarımın bu denli büyük öneme sahip olduğu dünyada ve ülkemizde tarım sektörünü olumsuz etkileyen faktörler olduğu anlatılmıştır. Bu faktörlerin hızlı nüfus artışı, toprak alanlarının kaybı, toprak yoğunluğu, hastalıklı ve yabancı ot sorunu, aşırı gübreleme ve su tüketimi gibi sorunlar olduğu ve tarımda alternatif yöntemlere yönelmeye neden olduğu çalışılmıştır. Özkan’a göre verimlilik, enerji ve iş gücü

tasarrufu gibi büyük avantajları ile topraksız tarım bu alanda ön plana çıkan yöntemlerdendir (Özkan, 2014).

Başar yapmış olduğu çalışmada topraksız tarımı ve bazı topraksız tarım yöntemlerini incelemiştir (Başar, 2000). Başar'a göre toprakların veriminin azalması nedeni ile seracılıkta gelişmiş ülkelerde topraksız tarım tercih edilmektedir. Ülkemizin coğrafik şartları ve tarıma dayalı gelişimi dikkate alındığında topraksız tarıma olan tercihin büyüterek artacağını vurgulamaktadır.

Adak ve Bekmezci topraksız tarım çilek yetiştiriciliğinde farklı fide türlerinin ve yetiştirme ortamlarının etkisini çalışmıştır(Adak ve Bekmezci, 2011). Topraksız tarımın önemine vurgu yapan çalışmada farklı yetiştirme ortamlarının çilek yetiştiriciliğinde alınan verime ve ürün kalitesine etkilerini araştırmışlardır. Çalışılan ortamlarda en verimli ve en kaliteli ürünün hangi ortamda yetişeceği belirlenmiştir. Yetiştirme ortamı bakımından kokopit ve kokopit ile volkanik tüf karışımının verim üzerine olumlu etkiler yaptığı belirlenmiştir. Kokopitin lifli yapıda ve su tutma kapasitesi yüksek organik bir ortam olması, otsu yapıdaki çilek bitkisinin turgoritesini sağlayarak iyi bir destek ortamı olma özelliği sağlamıştır.

Hazar ve Baktır yaptıkları çalışmada topraksız tarım ile kesme gül yetiştiriciliğini incelemiştirler(Hazar ve Baktır, 2013). Bu çalışmada topraksız tarımın öneminden bahsedilmiştir. Topraksız tarımın hangi ortamlarda nasıl yapıldığı anlatılan çalışmada gül yetiştiriciliğinin topraksız tarımda nasıl uygulandığı anlatılmaktadır. Yapılan çalışmalar sonucunda geleneksel yöntemlerle yetiştirilen işletmelerle kıyaslanıp verim ve kalite açısından daha yüksek ürünler elde etmişlerdir.

Vox ve ark.(2010) yaptığı çalışmada sürdürülebilir sera sistemlerini incelemiştir ve burada topraksız tarım sistemlerine de yer vermiştir. Bu çalışmada başlangıçta bitki mineral

beslenmesini incelemek için geliştirilen topraksız (hidroponik) kültürün (Savvas ve Passam, 2002) sera koşullarında sürdürülebilir mahsul sistemlerinin ana unsurlarından biri olduğu düşünülmektedir. Yapılan çalışmada topraksız tarım teknikleri ve hangi tekniğin hangi yönünün iyi olduğu çalışılmıştır. Çizelge 2.1.' de çeşitli hidroponik tekniklerin özellikleri verilmiştir.

Çizelge 2.1. Çeşitli hidroponik tekniklerin en önemli özellikleri (Vox ve ark.,2010)

	Yüzey ve Damla Sulama	Yüzey ve Toprakaltı Sulama	NFT	Akansu Kültürü	Aeroponik
Ticari Uygulamalar	Büyük	Büyük	Az	Artan	Nadir
Bitki Türü	Sebze Meyve Çilek Kesme Çiçek	Saksı Bitkileri	Yapraklı Sebzeler	Soğanlı Çiçekler	Sebzeler
Yetiştirme Ortamı	Evet	Evet	Hayır	Hayır	Hayır
Besin Solüsyonu	Evet/Hayır	Evet	Evet	Durgun	Evet
Yatırım Maliyetleri	Orta/Yüksek	Yüksek	Yüksek	Düşük	Çok Düşük
İşletme Maaliyetleri	Orta/Yüksek	Orta/Yüksek	Orta	Düşük	Uygun/düşük
Hata Telifisi	Yüksek	Yüksek	Düşük	Yüksek	Çok Düşük
Yetiştirme Riskleri	Orta	Orta	Yüksek	Orta	Çok yüksek

Kesenler ve Kesenler tarafından bulanık mantığın tarihi gelişimi üzerine bir çalışma gerçekleştirilmiştir (Kesenler ve Kesenler, 2017). Çalışmaya göre klasik mantık uygulanabilirlik açısından rahattır fakat yetersiz kalmaktadır. Bu noktada insanların duygularından, tecrübelerinden yararlanarak yaptığı çıkarımları dilsel ifadelerle bilgisayar diline çeviren bulanık mantık geliştirilmiştir. Bu çalışmada bulanık mantık tarihini eski dönem, modern dönem ve bulanık dönem olarak üç ayrı bölümde incelenerek günümüzdeki mantık yapısına nasıl ulaştığı incelenmiştir.

Altaş (1999) bulanık mantık ve bulanıklık kavramları üzerine bir çalışma gerçekleştirmiştir. Bu çalışma günlük hayatta insanların karar verirken kullandığı bulanık ifadelerle yaşlı, genç, uzun, kısa, sıcak, soğuk, ılık, bulutlu, parçalı bulutlu, güneşli, hızlı, yavaş, çok, az, biraz, fazla, çok az, çok fazla örnek olarak verilmiştir. İnsan beyni karar verirken tecrübelerinden faydalanarak bu ifadelerle ulaşıp karar verme işlemi uygulamaktadır. Bir kişinin yaş durumuna göre ona yaşlı, genç, çok yaşlı denilmektedir. Ya da bir arabanın hızı yolun rampa veya düz olmasına göre gaza az basarak, çok basarak, orta ayarda basarak ayarlanılmaktadır (Altaş, 1999). Bulanık mantık ile bu karar verme mekanizmasının ve dilsel ifadelerin kullanılarak makinelerin de insanlar gibi karar vermesi sağlanabilmektedir.

Altaş (1999) bulanık mantık tabanlı bir denetleyicinin genel yapısını ve işlevlerini anlatan bir çalışma yapmıştır. Bu çalışmada bulanık mantık sistemiyle çalışan bir denetim sisteminin olduğunu belirtmiştir. Buna göre denetim sistemi Bulanıklaştırıcı, Kural İşleme Ünitesi, Durulaştırıcı ve Denetlenen Sistem olarak dört bölüme ayrılmıştır.

Akın (2021) bu çalışmasında bulanık mantık ile açılı derin çekme kalıplarda çekme kalıplarının modellenmesini yapmıştır. Öncelikle giriş ve çıkış değişkenleri belirlenip bunlara göre üyelik fonksiyonları ve bulanıklaştırma işlemleri yapılmıştır. Giriş değişkenleri olarak kalıp radyüsü, zımba radyüsü, kalıp açısı ve baskı plakası kuvveti belirlenmiştir. Çıkış değişkenleri olarak limit çekme oranı, cidar kalınlığı ve çekme kuvveti belirlenmiştir. Giriş ve çıkış değerlerinin üyelik fonksiyonları dilsel ifadelerle belirlenmiştir. Zımba radyüsü için 8 adet, Kalıp radyüsü için 8 adet, Kalıp/matris açısı için 5 adet, Baskı plakası kuvveti için 7 adet, Limit çekme oranı için 14 adet, cidar kalınlığı için 13 ve zımba kuvveti için 8 adet olarak üyelik fonksiyonu derecesi oluşturulmuştur. Bu üyelik fonksiyonlarından toplam 2240 adet kural oluşturulmuştur (Akın, 2021). Elde edilen veriler Matlab programında işlenerek deneysel sonuçlara en uygun verilerle kıyaslanmıştır. Oluşturulan bulanık sistemin elde

etti değerler ile deneysel değerler arasında fazla fark bulunmadığı Akın(2021) tarafından gözlemlenmiştir.

Şenol ve arkadaşları (2021) bu çalışmasında güneş takip sistemlerinin bulanık mantık ile tasarlamıştır. 4 adet ışık algılayıcısı ve 2 adet servo motor kullanılan sistemde her bir motor için iki adet giriş ve bir adet çıkış fonksiyonu belirlenip bu değişken için aralık değerlerini belirlenmişlerdir. Her bir giriş ve çıkış değeri için 7 farklı üyelik fonksiyonu ve bu üyelik derecelerine göre kural tablosu oluşturan Şenol ve arkadaşları (2021) elde ettikleri verileri Matlab Fuzzy Toolbox ile işlemişleridir. Yapılan bu çalışma sonucunda güneş takip sistemi ve fotovoltaik sistemin elektrik üretme veriminde %9 artış gözlemlenmiştir (Şenol ve ark., 2021).

Öztürk ve Şahin (2018) yapay zekanın tarihçesini, yapay zeka ve yapay sinir ağları kavramlarını detaylı inceledikleri bir çalışma yapmışlardır. Çalışmada yapay zekanın tarihçesinin dönemlere göre incelenmiştir. Yapay zekayı bilgisayar ve bilgisayar bağlantılı makinelerin insan niteliklerini ve görevlerini yerine getirme olarak tanımlamışlardır. Yapay sinir ağlarını ise insan beyninin öğrenme metodunu taklit ederek beynin yaptığı öğrenme, karar verme, hatırlama gibi tüm işlevlerinin yapıldığı yazılımlar olarak tanımlamışlardır (Öztürk ve Şahin, 2018).

Shahkar (2020) izole bir kavşağın sinyal zamanı tahmini için anfis ve popülasyona dayalı optimizasyon algoritmasını doktora tezinde çalışmıştır. Çalışmasında üç girişe sahip ve beş katmandan oluşan bir anfis mimarisi kullanmıştır. Girişlerden birincisi zirve zamanı ikincisi kuyruk uzunluğu ve üçüncüsü gecikme olarak belirlenmiştir. Bu girişler için üyelik fonksiyonları birinci için sabah, öğlen ve akşam, ikinci giriş için VS (çok küçük), S (küçük), M (orta), L (büyük) , VL (çok büyük) ve son giriş için S (küçük), M (orta) ve L (büyük) olarak belirlenmiştir. Bu üyelik fonksiyonları ile toplam 45 adet kural oluşturulmuştur.

Gökçe (2019) yüksek lisans tezini ısı yalıtımı ile verimli enerji kullanımı modelinin anfis ile oluşturulması üzerine çalışmıştır. Çalışmada farklı tekniklerle ısı yalıtımı yapılan bir binanın iç ısısındaki değişimlerin belirlenen giriş ve çıkış değişkenleri ile anfis ile modellenmesi yapılmıştır. Giriş değişkenleri olarak ölçülen dış ortam sıcaklığı, iç ortam ısıtıcı ayarı, yalıtım malzemesi kalınlığı belirlenmiştir. Çıkış değişkeni olarak ise iç ortam sıcaklığı belirlenmiştir. Uygulamada kullanılmak üzere veri seti Cumhuriyet Üniversitesi yerleşkesindeki ısı yalıtım evinin iç ve dış ortamlarda yalıtım malzemesini farklı kalınlıklarda kullanılarak elde edilmiştir. Bu verilerin %60'ı eğitim %20'si test ve %20'si doğrulama için ayrılmıştır. Matlab programında anfis modellemesi yapıp elde edilen verilerle eğitim ve test işlemleri uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar ise beklenen düzeyde çıkmıştır (Gökçe, 2019).

Doğan (2016) yaptığı çalışmada işletmelerin hangi ürüne ya da hizmete talebin ne kadar olduğunu tahmin etmek için anfis ile talep tahmini modellemesi yapmıştır. Doğan (2016)'a göre işletmelerin talep tahminini doğru yapması işletmenin tüm fonksiyonlarını etkileyen bir faktördür. Bu tahminin bilimsel yöntemlerle yapılması ise işletmenin verimliliğini artırabilmektedir (Doğan, 2016). Bu çalışmada girdi olarak Familya fiyat, Selpak fiyat ve Selpak maliyet belirlenmiştir.

2.2. Genel Bilgiler

2.2.1 Bulanık mantığın tarihçesi

Bulanık Mantık insanların günlük hayatta kullandıkları karar verme yapısının dilsel ifadelerle çevrilmiş halidir (Mohd Ali ve ark., 2022). İnsanlar günlük yaşamında bulanık terimleri sıklıkla kullanmaktadır. Havanın sıcaklığından bahsederken sıcak, çok sıcak, normal, soğuk, çok soğuk gibi ifadelerle anlatılmaktadır. Bir ürünün fiyatına bakarak çok pahalı, pahalı, çok ucuz gibi kesin olmayan ifadelerle karar verilmektedir. Bütün bunlar insan beyninin belirsizlik durumlarında nasıl karar verdiğini gösteren bulanık ifadelerdir (Altaş, 1999).

Bilimde kullanılan kesin değerlerle ifade edilen klasik mantık uygulaması rahat bir tekniktir (Srivastava ve Kumar., 2022).. Bu yöntemde kesin bir girdi vardır ve sıfır veya bir şeklinde kesin bir çıktı üretilir. Fakat bu yöntemle elde edilen sistemler yetersiz kalmaktadır. Makinelerin yapay zekaya, insan zekasına yakın düşünme ve karar verme yetisine sahip olabilmesi için klasik mantık eksik kalmaktadır (Altaş, 1999)

Bulanık mantık ilk olarak Lotfi A. Zadeh tarafından 1965 yılında yayınlanan makale ile ortaya konulmuştur. Bu makalesinde Zadeh insanların günlük hayatta kullandıkları kavramların çoğunun bulanık olduğunu savunmuştur (Zadeh, 1965). İnsan mantığı çok, az, yavaş, hızlı gibi kesin değerlerle birlikte çok fazla, fazla, çok az, çok yavaş, çok hızlı, çok çok hızlı gibi ara değerlere göre de işlem yapmaktadır (Elmas, 2018). Bulanık mantık genel özellikleri itibariyle Zadeh tarafından şöyle sıralanmıştır (Zadeh, 1965):

1. Bulanık mantıkta klasik mantıktaki kesin ifadelerin aksine yaklaşık ifadeler kullanılır.
2. Bulanık mantıkta tüm değerler $[0,1]$ aralığındaki değerlerle ifade edilir.
3. Bulanık mantıkta bilgi fazla, çok fazla, çok az, az gibi dilsel ifadelerle belirtilir.
4. Bulanık çıkarım işlemi dilsel ifadeler arasında tanımlanan kurallar ile gerçekleştirilir.
5. Tüm mantıksal sistemler bulanık ifadelerle ifade edilebilir.
6. Matematiksel modelinin yapılması zor olan sistemler için bulanık mantık çok uygundur.
7. Bulanık mantık ile işlem yapmak için bilgilerin tam veya eksiksiz olmasına gerek yoktur.

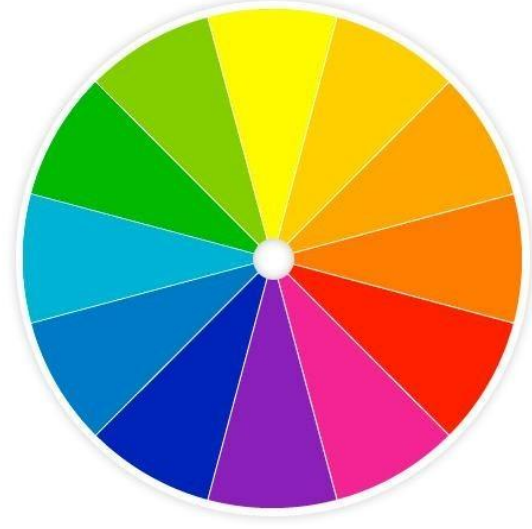
Bu makale ile birlikte bulanık mantık ve bulanık küme tanınmıştır fakat asıl gelişmeler Zadeh'in 1970'lerde yayınladığı makaleleri olmuştur (Zadeh, 1973, 1975). Bu makalelerden sonra Japonların ürünlerinde bulanık mantık kullanmaları ile bulanık mantık ile ilgili gelişmeler ve çalışmalar hız kazanmıştır (Altaş, 1999). Bulanık mantığın ilk uygulaması Mamdani tarafından 1974 yılında bir buhar makinesinin bulanık denetim sisteminin yapılması ile olmuştur (Mamdani, 1974). Mamdani bu alandaki çalışmaları ile 1975 yılında yayınladığı makalesi (Mamdani, 1976) ve arkadaşları ile yayınladığı makalesi ile (Mamdani ve Assilian, 1975) bulanık mantık alanındaki çalışmaların ivmesini artırmıştır.

2.2.2. Bulanık küme

Bulanık mantık yapısının temelini bulanık küme oluşturur. Bulanık kümeyi anlamak için temelde bulanıklık kavramını anlamak gerekir. Klasik mantık ile işleyen sistemlerde kesin bir girdi olur ve bu girdi ile insan dilinde evet veya hayır a denk gelen doğru veya yanlış, iyi veya kötü, 1 veya 0 olarak kesin bir sonuç üretilir (Altaş, 1999). Bu mantıkta kesinlik vardır ve girdi ve çıktı kesin veriler ile gerçekleştirilir. Bu işlemin sonucu 1 veya 0 dır, doğru veya yanlıştır. Klasik kümeye örnek olarak Şekil 2.1.'deki sınırları kesin olan renk çarkını verebiliriz.

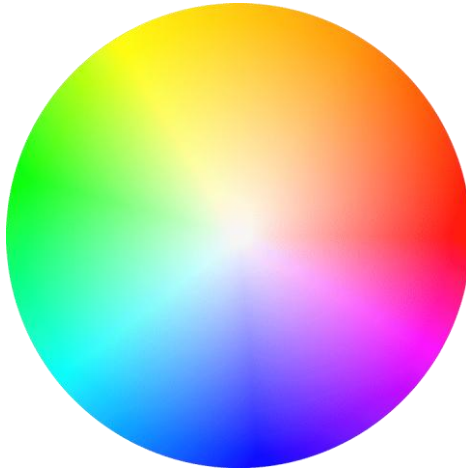
Burada tüm renklerin sınırları kesin ve nettir. Örneğin kırmızı rengini ele aldığımızda sadece kendi kümesine yani kırmızı rengine aittir. Başka hiçbir renk grubu ile bağlantısı yoktur. Bir renge, örneğin kırmızı, sadece kendi kümesine aittir ya da değildir denebilir.

Bulanık mantık ile işleyen sistemlerde ise kesinlik yoktur (Zadeh, 1965). Bir girdinin bu bulanık kümeye aitlik derecesi vardır. Bu derece $[0,1]$ arasında bir değerdir. Girdinin bulanık kümeye yakınlığı arttıkça aitlik derecesi 1'e yaklaşır, yakınlığı azaldıkça aitlik derecesi 0'a yaklaşır. Nasıl ki bir insan araba kullanırken yolun trafik durumuna göre, trafik yoğunsa gaza az bas, trafik biraz yoğunsa gazı artır gibi kendi tecrübesi ile karar verme mekanizması oluşturuyorsa bulanık mantıkta da aynı şekildedir.



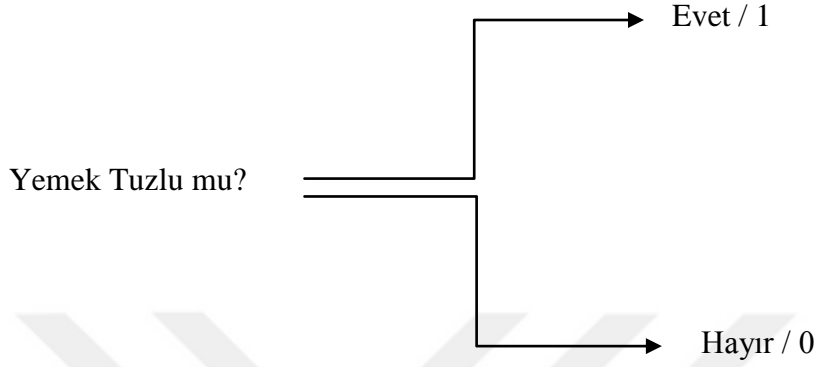
Şekil 2. 1 Kesin küme örneği (renk çarkı)

Şekil 2.2.'de görülen renk değişim kartelâsı bulanık geçişleri olan bir bulanık küme örneğidir. Tüm renkler arasında yavaş bir geçiş vardır. Örneğin kırmızı rengine bakacak olursak tam kırmızı olan bölgede kırmızının üyelik derecesi yani kırmızı bulanık kümesine aitlik derecesi 1'e yakınken saat yönünde ilerledikçe bu aitlik derecesi azalmaktadır ve pembe bulanık kümesine olan aitlik derecesi artmaktadır. Yine saat yönünde ilerledikçe pembe bulanık kümesine aitlik derecesi azalırken mavi bulanık kümesine aitlik derecesi artmaktadır.

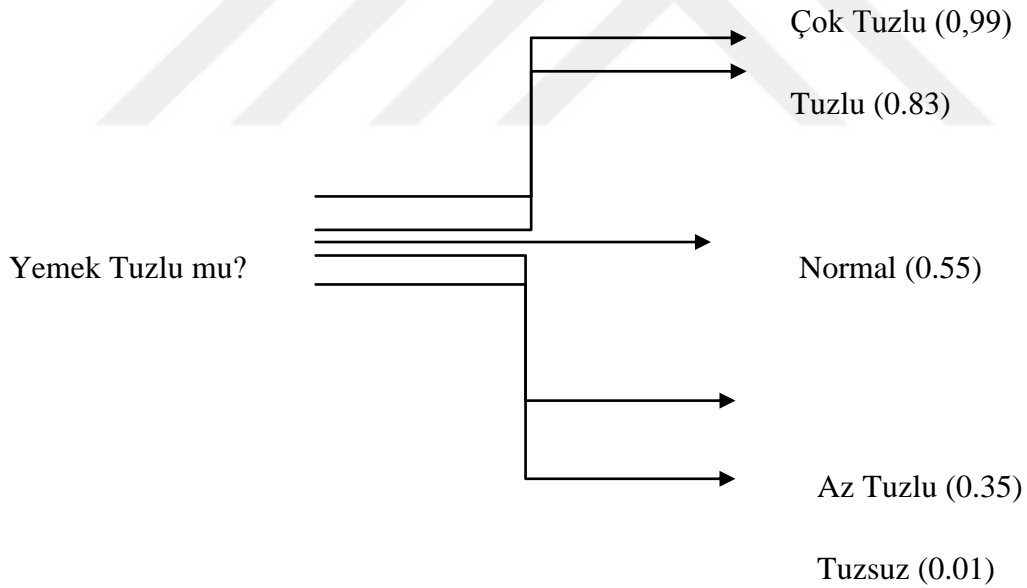


Şekil 2. 2 Bulanık küme örneği

Klasik küme ve bulanık küme üyelik-aitlik derecelerini daha net bir şekilde şöyle gösterilebilir:



Şekil 2. 3 Klasik küme üyelik (aitlik) derecesi
(Anonim-c, 2021)



Şekil 2. 4 Bulanık küme üyelik (aitlik) derecesi (Anonim-c, 2021)

Yemek tuzlu mu sorusuna klasik kümede verilecek iki cevap vardır. Bunlar Şekil 2.3.'de olduğu gibi yemek tuzluysa evet değilse hayırdır. Bulanık küme gözü ile bakıldığında, Şekil 2.4.'de de olduğu gibi, yemeğin tuzluluk derecesine göre karar verilebilmektedir.

2.2.3. Bulanık kural yapısı

İnsan beyni karar verirken, karşılaştığı durum ne kadar karışık olursa olsun, bir yargıya varıp karar verebilmektedir. Bu karara varırken mevcut bilgilerini ve deneyimlerini, tecrübelerini kullanmaktadır. Bu deneyimlerini sözel/dilsel ifadelerle düşünüp sonuçlandırmaktadır (Altaş, 1991). Bilim dünyasında (özellikle bilgisayar, bilgisayarlı makineler, teknolojik alanlar) böyle bir karar verme sürecinin oluşması için dilsel ifadelerden oluşan karar verme yapısı ya da kural yapısı oluşması gerekir.

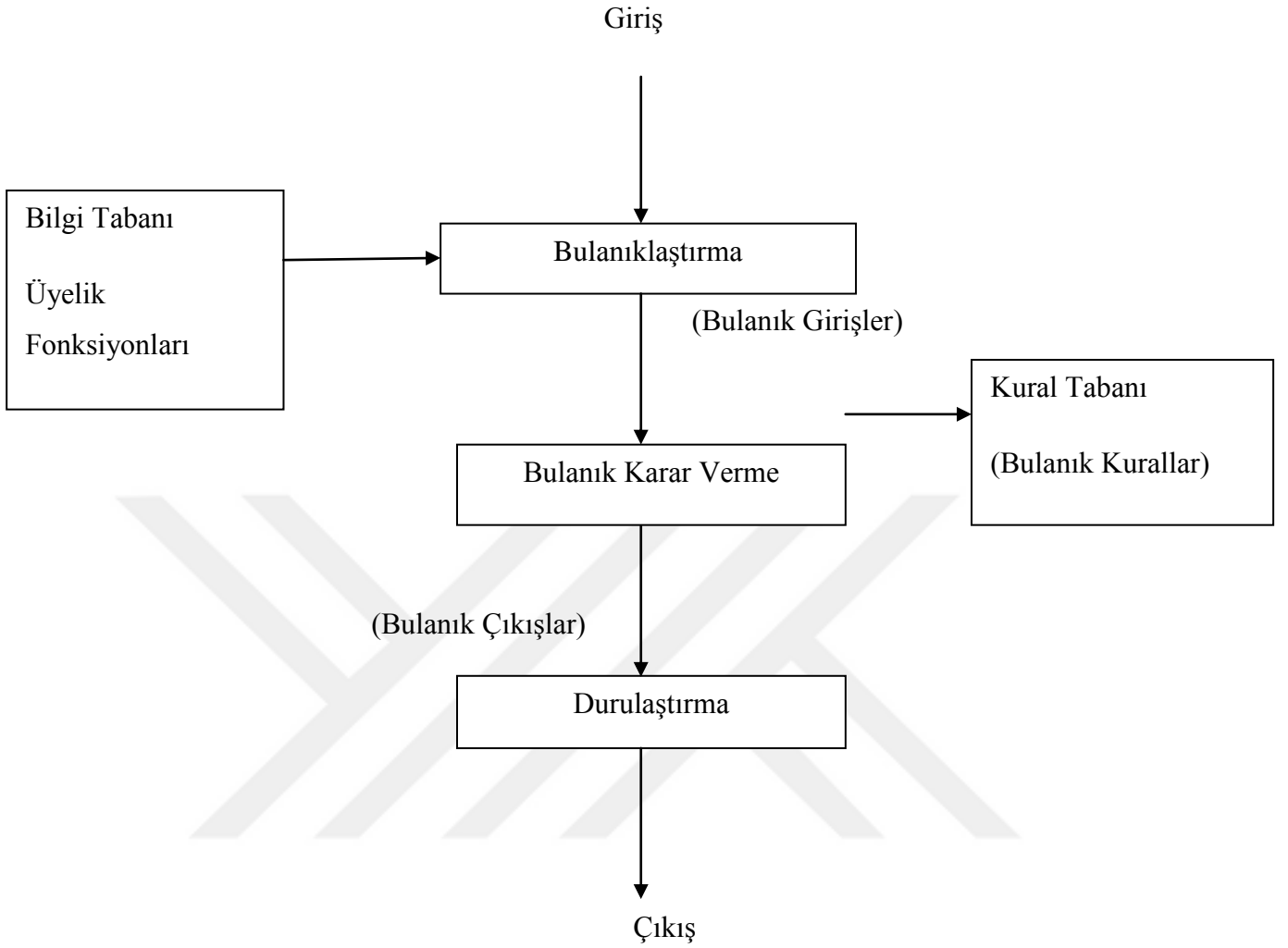
Bulanık kural yapısını oluştururken dilsel ifadelerden oluşan if...X....then...Y.... yapısı kullanılır (Mohd Ali ve ark., 2022).. Buradaki X ve Y dilsel ifadeleri belirtir. Bu kurallar oluşturulurken üyelik fonksiyonlarından yararlanır. Örnek bir kural yapısı şu şekildedir (Elmas, 2018):

If yemek “çok tuzlu” ise “tuzu azalt”

Burada giriş ve çıkış fonksiyonlarının belirlenmiş ve üyelik fonksiyonlarının oluşturulmuş olması gereklidir.

Bulanık bir sistem bulanıklaştırma, bulanık karar verme ve durulaştırma işlem birimlerinden oluşur. Bir bulanık çıkarım sistemi genel olarak Şekil 2.5.'de verildiği gibidir. Bu sistemin elemanları şu şekilde çalışır (Altaş, 1999):

- Bulanıklaştırma adımında girişlerin üyelik dereceleri hesaplanır
- Bulanık Karar Verme adımında bilgi tabanı ile birlikte çalışarak gelen bulanık değerlerden sonuç çıkarılır.
- Durulaştırma: Bulanık karar verme aşamasındaki çıkışların makinenin anlayacağı dile çevrildiği aşamadır.
- Kural Tabanı: Bulanık Kuralların oluştuğu aşamadır. Bu aşamada if...then... yapısına göre kurallar oluşturulur.



Şekil 2. 5 Bulanık çıkarım sistemi (Altaş, 1999)

2.2.4. Anfis

(Adaptive Network-Based Fuzzy Inference System / Adaptif Yapay Sinir Ağı Bulanık Çıkarım Sistemi)

ANFIS (Adaptif Yapay Sinir Ağı Bulanık Çıkarım Sistemi) geriye yayımlı öğrenme modeli kullanan ve yapay sinir ağları ve bulanık mantığın avantajlı yönlerinin bir arada olduğu bir çıkarım sistemidir (Japtag ve Pillai, 2014). Adaptif ağ çok sayıda birbirine bağlantılı düğümlerden oluşan ve girdi ve çıktıları ortaya koymaya yarayan ağ yapısıdır

(Yücel ve Güneri, 2010). Yapay sinir ağları insanın öğrenme yolunun matematiksel modellenmesi ile ortaya çıkmıştır (Öztürk ve Şahin, 2018). Bu modellemede sade insan beyninin nasıl öğrendiği model alınıp, öğrenme modeli oluşturulmuştur. Bulanık mantık ise insanın karar verme yapısının sözel ifadelerle modellenmesi sonucu ortaya çıkmıştır.

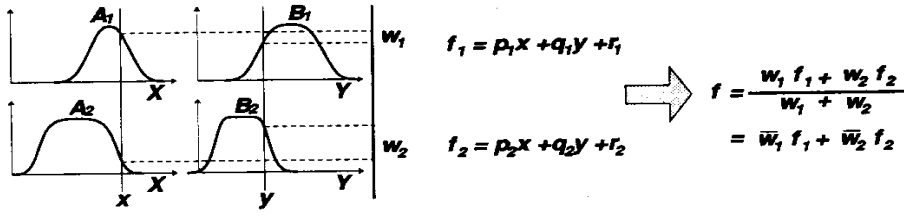
ANFIS bu iki modelin (Yapay Sinir Ağları ve Bulanık Mantık) bu olumlu yönlerini bir arada kullanan modeldir. ANFIS bulanık mantıkla oluşturulan dilsel ifadeler ve üyelik fonksiyonları ile kural tabanını oluşturur ve karar verme modelini ortaya çıkarır. Burada oluşturulan kurallardan ve verilerden de yapay sinir ağlarının kullandığı öğrenme modeli ile öğrenmeyi sağlar (Arora ve ark., 2021). Yapay Sinir Ağlarında veriler ile sistemin eğitimi sağlanır. ANFIS'te de giriş çıkış değerleri ve üyelik fonksiyonları ile yani verilerin bir kısmı ile öğrenme gerçekleştirilir (Japtag ve Pillai, 2014). Sonrasında sistemin doğruluğu için elde olan verilerin test için ayrılmış olan kısmı ile test işlemi yapılır.

Bir ANFIS mimarisini daha basit anlatmak için x ve y olmak üzere iki girişli ve bir çıkışlı olduğu kabul edilir (Jang,1993). Bu iki girişli bir çıkışlı sistemin bulanık çıkarım sistemi Şekil 2.6.'da gösterilmiştir ve bu giriş ve çıkışlardan elde edilen ANFIS mimarisi ve katmanları Şekil 2.7.'da gösterilmiştir. Bu bilgilere dayanarak iki adet kural yazılabilmektedir. Bunlar:

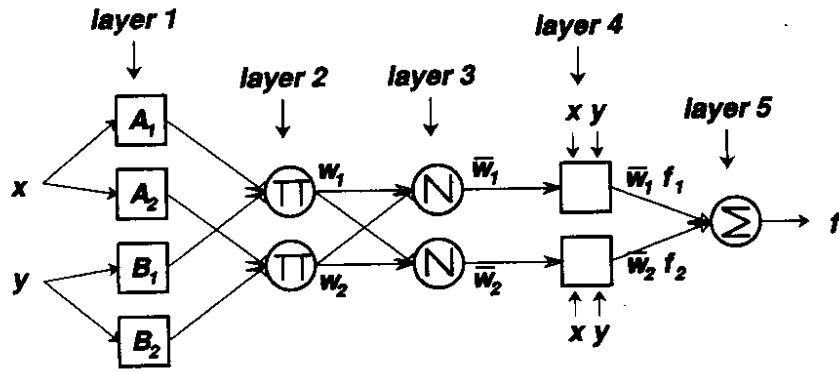
Kural 1: Eğer $x = A_1$ ve $y = B_1$ ise $f_1 = p_1 x + q_1 y + r_1$ 'dir.

Kural 2: Eğer $x = A_2$ ve $y = B_2$ ise $f_2 = p_2 x + q_2 y + r_2$ 'dir.

Bu eşitlikte x ve y giriş değişkenleri, f çıkış değişkeni, A ve B bulanık kümeleri ve p, q ve r sonuç değişkenleridir.



Şekil 2. 6 Bulanık çıkarım (Jang, 1993)



Şekil 2. 7 ANFIS Mimarisi (Jang, 1993)

Her bir katmanın işlevi şu şekildedir:

Katman 1: Bu katmandaki düğümlerin her biri bir bulanık kümeyi ifade eder. Şekil 3.7.'de bu bulanık kümeler A_1 , B_1 olarak ifade edilmiştir. Bu katmandan elde edilen çıkışlar üyelik fonksiyonlarıdır (Elmas, 2018). Elde edilen üyelik fonksiyonları (üyelik dereceleri) şu şekilde gösterilmektedir:

$$O_i^2 = \mu_{A_i}(x)$$

burada x , i düğümünün girdisidir ve A , bu düğüm işleviyle ilişkili dilsel etikettir (küçük, büyük, vb.). Başka bir deyişle, 0 ; A 'nın üyelik fonksiyonudur ve verilen x 'in A_i niceleyicisini karşılama derecesini belirtir. Genellikle (x) 'in maksimum 1'e ve minimum 0'a eşit olacak şekilde çan şeklinde olmasını seçeriz, örneğin

$$\mu_{A_i}(x) = \exp\left\{-\left(\frac{x - c_i}{a_i}\right)^2\right\} \quad (a)$$

$$\mu_{A_i}(x) = \frac{1}{1 + \left[\left(\frac{x - c_i}{a_i}\right)^2\right]^{b_i}} \quad (b)$$

Şekil 2. 8 (a) Denklem 1 (b) Denklem 2

Şekil 2. 8 (a) ve Şekil 2. 8(b) denklemlerinde $\{a_i, b_i, c_i\}$ parametre setidir. Bu parametrelerin değerleri değiştikçe, çan şeklindeki işlevler buna göre değişir, böylece dilsel etiket A_i üzerinde çeşitli üyelik işlevleri biçimleri sergiler. Aslında, yaygın olarak kullanılan yamuk veya üçgen şekilli üyelik fonksiyonları gibi sürekli ve parçalı türevlenebilir fonksiyonlar da bu katmandaki düğüm fonksiyonları için nitelikli adaylardır. Bu katmandaki parametrelere öncül parametreler denir.

Katman 2: Bu katmandaki her bir düğüm gelen sinyalleri çoğaltan ve ürünü dışarı gönderen Π etiketli bir daire düğümüdür. Her bir düğümün çıktısı bir kuralın ateşleme seviyesini gösterir.

Katman 3: Bu katmanda yer alan bütün düğümler N ile temsil edilmiştir. i . Düğüm i , kuralın ateşleme seviyesinin, bütün kuralların ateşleme seviyelerinin toplamına eşittir.

Katman 4: Bu katmandaki her i düğümü, düğüm işlevine sahip kare bir düğümüdür. Her i düğümü sonuç ağırlıkları değerini hesaplar (Elmas, 2018). Bu katmandaki parametreler sonuç parametreleri olarak adlandırılır (Jang, 1993).

Katman 5: Bu katmandaki tek düğüm, tüm gelen sinyallerin toplamı olarak toplam çıktıyı hesaplayan Σ etiketli bir daire düğümüdür (Jang, 1993).

Böylece Sugeno bulanık çıkarım sistemine işlevsel olarak eşdeğer olan uyarlanabilir bir ağ yapısı mimarisi (ANFIS) oluşturulmuş olmaktadır.

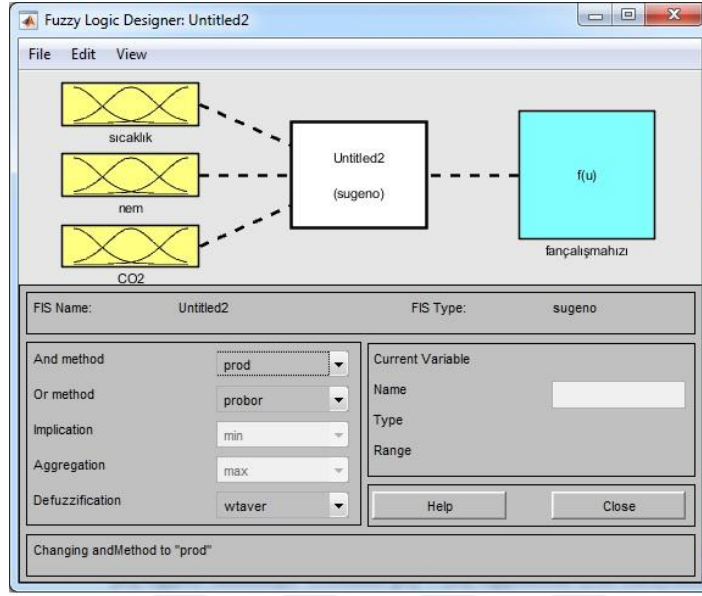
3. MATERYAL ve YÖNTEM

Bu çalışmada Topraksız Tarım Seralarında Adaptif Ağ Yapısına Dayalı Bulanık Çıkarım Sistemi (ANFIS) uygulanması yapılmıştır. Topraksız tarım seralarında yetiştirilen ürün çeşitliliği çok fazladır. Dünyada ve ülkemizde bazı avantajlarından dolayı çilek yetiştiriciliği topraksız tarım alanında tercih sebebidir(Talukder ve ark., 2018). Bu avantajlarından en önemlisi birim alana dikilen bitki sayısının yüksek olması ve buna paralel olarak da birim alandan alınan verimin yüksek olmasıdır (Adak ve Bekmezci, 2011). Ekonomik öneminden ve yetiştiriciliğinin yaygın olmasından dolayı Çilek bitkisinin fizyolojik ihtiyaçları veri set değerleri olarak kullanılacaktır.

Topraksız tarım serasında ANFIS uygulanması için öncelikle giriş çıkış değerleri belirlenmiştir. Bunun için iklimlendirme ve besin değerlerinin kontrolü olarak ayrı ayrı incelenmiştir. İklimlendirme için giriş değerleri olarak sıcaklık, nem ve CO₂ belirlenmiştir. Çıkış değeri olarak fan çalışma hızı belirlenmiştir. Besin değerlerinin kontrolü için giriş EC çıkış besin solüsyonu motoru hızı ve giriş pH çıkış asit motoru hızı olarak belirlenmiştir. Belirlenen giriş çıkış değerlerine göre üyelik değerleri ve kural tabanı oluşturulmuştur. Çilek bitkisinin besin değerleri dikkate alınarak uzman bir kişi tarafından veri setleri oluşturulmuştur. Bu veri setleri ile MATLAB kullanılarak ANFIS modeli oluşturulmuştur. Anlatılan bu aşamaların her biri takip eden bölümlerde detayları ile açıklanacaktır.

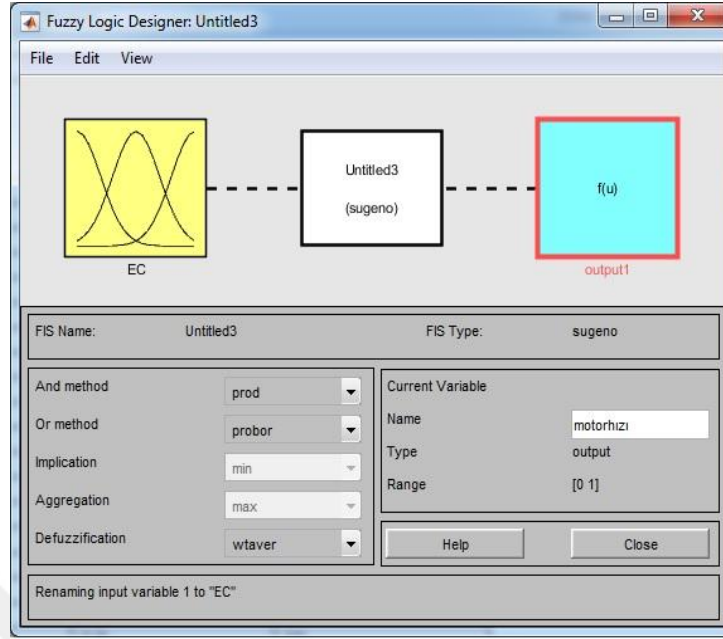
3.1. Giriş Çıkış Değişkenleri

Giriş çıkış değişkenleri belirlenirken modelin daha adaptif olması için iklimlendirme sistemleri ve besin değerlerinin kontrolü ayrı modellenmiştir. İklimlendirme sistemlerinin kontrolünü sağlamak için sıcaklık, nem ve CO₂ değerleri giriş değeri ve bunların optimal değerlere gelmesi için fan çalışma hızı çıkış fonksiyonu olarak ele alınmıştır. Şekil 3.1.' de görüldüğü üzere üç giriş ve bir çıkış değişkeni model için tanımlanmıştır.

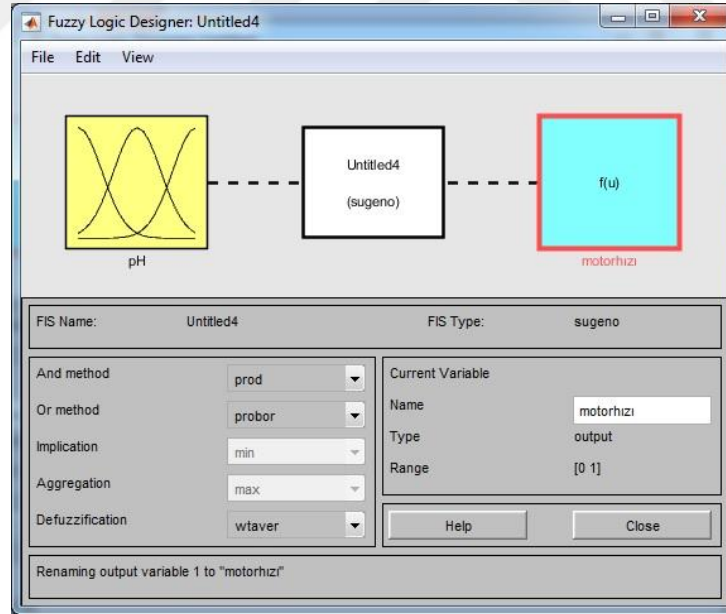


Şekil 3. 1 İklimlendirme giriş çıkış değerleri

Topraksız tarımda çilek yetiştiriciliğinde besin değerlerinin kontrolünü sağlayan iki ana değer vardır. Bunlardan biri EC değeri diğeri pH değeridir. Bir giriş olarak belirlenen EC değerinin çıkışı besin solüsyonu motoru olmaktadır. pH girişinin çıkış değeri ise asit motoru olarak belirlenmiştir. Şekil 3.2.'de EC için oluşturulan giriş çıkış değerleri ve Şekil 3.3.'de pH için oluşturulan giriş çıkış değerleri gösterilmiştir.



Şekil 3. 2 Ec giriş çıkış değerleri



Şekil 3. 3 pH giriş çıkış değerleri

3.2. Üyelik Değerleri

Giriş çıkış değerleri belirlenen modelin dilsel ifadelerle belirtilecek olan üyelik fonksiyonları belirlenmiştir. Buna göre sıcaklık için beş adet, nem için beş adet, CO₂ için beş adet üyelik fonksiyonu belirlenmiştir. Bunlar: sıcaklık; çok yetersiz, yetersiz, normal, fazla, çok fazla, nem; çok yetersiz, yetersiz, normal, fazla, çok fazla ve CO₂; çok yetersiz, yetersiz, normal, fazla, çok fazladır. Çizelge 3.1.' de dilsel ifadelerle oluşturulan üyelik değerleri verilmiştir.

Çizelge 3.1. İklimlendirme üyelik değerleri

Değişken	Üyelik Değerleri Ağırlığı	Değişken	Üyelik Değerleri Ağırlığı	Değişken	Üyelik Değerleri Ağırlığı	Fan Çalışma Hızı
Sıcaklık	Çok Yetersiz	Nem	Çok Yetersiz	CO ₂	Çok Yetersiz	Hızlı
Sıcaklık	Yetersiz	Nem	Yetersiz	CO ₂	Yetersiz	Hızlı
Sıcaklık	Normal	Nem	Normal	CO ₂	Normal	Orta
Sıcaklık	Fazla	Nem	Fazla	CO ₂	Fazla	Yavaş
Sıcaklık	Çok Fazla	Nem	Çok Fazla	CO ₂	Çok Fazla	Yavaş

EC değeri için beş adet üyelik fonksiyonu çok yetersiz, yetersiz, normal, fazla, çok fazla olarak dilsel ifadelerle belirlenmiştir. pH değeri için beş adet üyelik fonksiyonu ise çok yetersiz, yetersiz, normal, fazla, çok fazla olarak oluşturulmuştur. EC için oluşturulan üyelik fonksiyonları Çizelge 3.2.'de pH için oluşturulan üyelik fonksiyonları Çizelge 3.3.'de belirtilmektedir.

Çizelge 3.2. EC üyelik fonksiyonları

Değişken	Üyelik Fonksiyon Ağırlığı	Değişken
E.C.	Çok Yetersiz	Hızlı
E.C.	Yetersiz	Biraz Hızlı
E.C.	Normal	Orta
E.C.	Fazla	Yavaş
E.C.	Çok Fazla	Çok Yavaş

Çizelge 3.3. pH üyelik fonksiyonları

Değişken	Üyelik Fonksiyon Ağırlığı	Motor Çalışma Hızı
pH	Çok Yetersiz	Hızlı
pH	Yetersiz	Biraz Hızlı
pH	Normal	Orta
pH	Fazla	Yavaş
pH	Çok Fazla	Çok Yavaş

Üyelik fonksiyonları oluşturulurken belirlenen değer aralıkları sıcak, EC, fan hızı ve motor hızı için Çizelge 3.4.'de belirtilmektedir.

Çizelge 3.4. Giriş çıkış değişkenlerinin değer aralıkları

	Değişkenler	Değer aralığı
Giriş	Sıcaklık	-10,50 derece
	EC (Electrical Conductivity-Elektriksel İletkenlik)	0,1-2 mS/cm
Çıkış	Fan hızı	10-90 devir/saniye Yavaş: 10 devir/saniye Orta: 50 devir/saniye Hızlı: 90 devir/saniye
	Motor hızı	1-10 devir/saniye Yavaş: 1 devir/saniye Orta: 5 devir/saniye Hızlı: 10 devir/saniye

3.3. Kural Tabanı

Giriş çıkış değişkenleri ve bunların üyelik fonksiyonlarına göre kural tabanı oluşturulmuştur. Sıcaklık, nem ve CO₂ için 125 adet kural, EC için 25 adet kural ve pH için 25 adet kural olmak üzere 175 adet kural bulunmaktadır.

Sıcaklık, nem ve CO₂ için oluşturulan kurallardan bir kısmı şöyledir:

If Sıcaklık is Çok Yetersiz AND Nem is Çok Yetersiz AND CO₂ is Çok Yetersiz then Fan Çalışma Hızı is Hızlı

If Sıcaklık is Yetersiz AND Nem is Nem Optimal AND CO₂ is Çok Yetersiz then Fan Çalışma Hızı is Hızlı

If Sıcaklık is Optimal AND Nem is Çok Yetersiz AND CO₂ is Optimal then Fan Çalışma Hızı is Orta

If Sıcaklık is Çok Optimal AND Nem is Çok Fazla AND CO₂ is Fazla then Fan Çalışma Hızı is Yavaş

If Sıcaklık is Çok Fazla AND Nem is Çok Fazla AND CO₂ is Yetersiz then Fan Çalışma Hızı is Hızlı

EC için oluşturulan kurallardan bir kısmı şu şekildedir:

If E.C. is Çok Yetersiz AND pH Çok Yetersiz THAN Motor Çalışma Hızı is Hızlı

If E.C. is Yetersiz AND pH Çok Yetersiz THAN Motor Çalışma Hızı is Hızlı

If E.C. is Normal AND pH Çok Yetersiz THAN Motor Çalışma Hızı is Hızlı

If E.C. is Fazla AND pH Çok Yetersiz THAN Motor Çalışma Hızı is Hızlı

If E.C. is Çok Fazla AND pH Çok Yetersiz THAN Motor Çalışma Hızı is Hızlı

pH için oluşturulan kurallardan bir kısmı ise şöyledir:

If pH is Çok Yetersiz AND EC Çok Yetersiz THAN Motor Çalışma Hızı is Hızlı

If pH is Yetersiz AND EC Çok Yetersiz THAN Motor Çalışma Hızı is Hızlı

If pH is Normal AND EC Çok Yetersiz THAN Motor Çalışma Hızı is Hızlı

If pH is Fazla AND EC Çok Yetersiz THAN Motor Çalışma Hızı is Hızlı

If pH. is Çok Fazla AND EC Çok Yetersiz THAN Motor Çalışma Hızı is Hızlı

Kural tablosunun tamamı EK1'dedir.

3.4. Veri Setlerinin Oluşturulması

Veri setleri oluşturulurken topraksız tarım seralarının ihtiyaçları göz önünde bulundurulmuştur. Nem, sıcaklık ve CO₂ değerleri referans alınan topraksız tarım ile çilek seracılığı yapan bir seradan edinilmiştir. Çilek yetiştiriciliği için gerekli olan EC ve pH değerleri yine uzman kişiler tarafından belirlenmiştir. Çilek yetiştiriciliği için (fide-çiçeklenme-meyve dönemlerinde ve farklı tür fide çeşitlerine göre değişmekle birlikte) yapılan literatür çalışmalarında optimal EC 1,8-2,0 arasında olması gerekmektedir (Anonim-2, 2021). Optimal pH değerinin ise pH 5,8-6,0 arasında olması gerekmektedir (Adak ve Pekmezci, 2012; Adak, 2010).

Belirlenen veri setleri [0,1] aralığında lineer dönüşüm ile şu formüle göre normalize edilmiştir (Zhang ve ark., 1998):

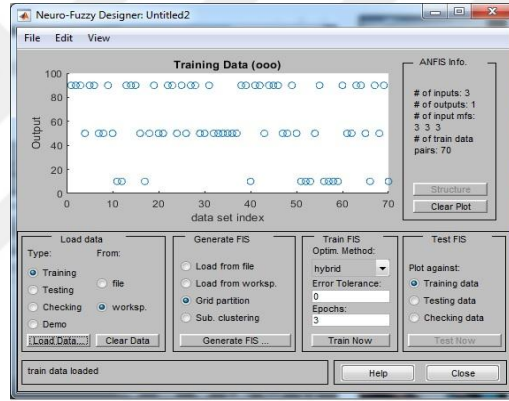
$$X_n = \frac{X_0 - X_{min}}{X_{max} - X_{min}} \quad (\text{Lapedes and Farber, 1988})$$

Yapılan modelin en iyi sonucu verebilmesi için veri setlerinin eğitim ve test olarak ayrılması gerekmektedir. Hold-out yönteminde veri seti %50-%50, %70-%30, %80-

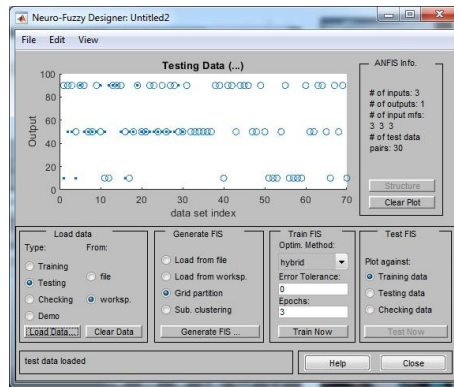
%20 ve benzer oranlarda ikiye ayrılabilir. Burada veri setinin % 70'i eğitim için % 30'u test için belirlenmiştir.

3.5. Anfis Modelinin Matlab'de Test Edilmesi

Veri setleri hazırlanıp eğitim ve test verileri olarak ayrılmıştır. Bu verilerin MATLAB'de 'Fuzzy Logic Toolbox' aracılığı ile ANFIS modeli oluşturulmaktadır. Bunun için MATLAB programında ANFIS arayüzü açılmıştır. İklimlendirme sistemi için oluşturulan eğitim ve test verileri ANFIS arayüzüne eklenmiştir. Eklenen eğitim verileri Şekil 3.4.'de, test verileri Şekil 3.5.'de gösterilmiştir.

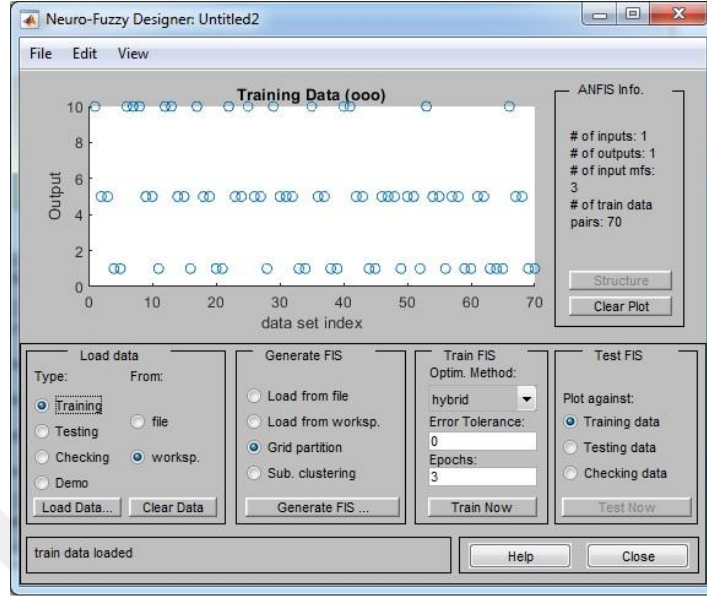


Şekil 3. 4 Eğitim verileri

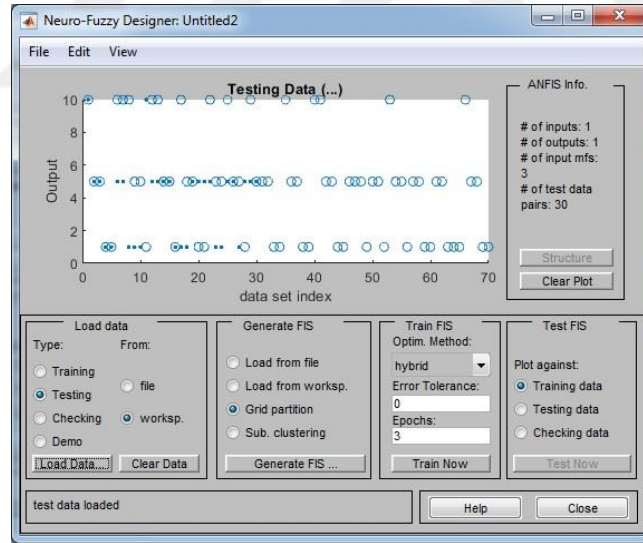


Şekil 3. 5 Test Verileri

EC kontrolü için oluşturulan veri setleri ANFIS ara yüzüne yüklenmiştir. Yüklendiğinde oluşan eğitim verileri Şekil 3.6.' de, test verileri Şekil 3.7.' de verilmiştir.

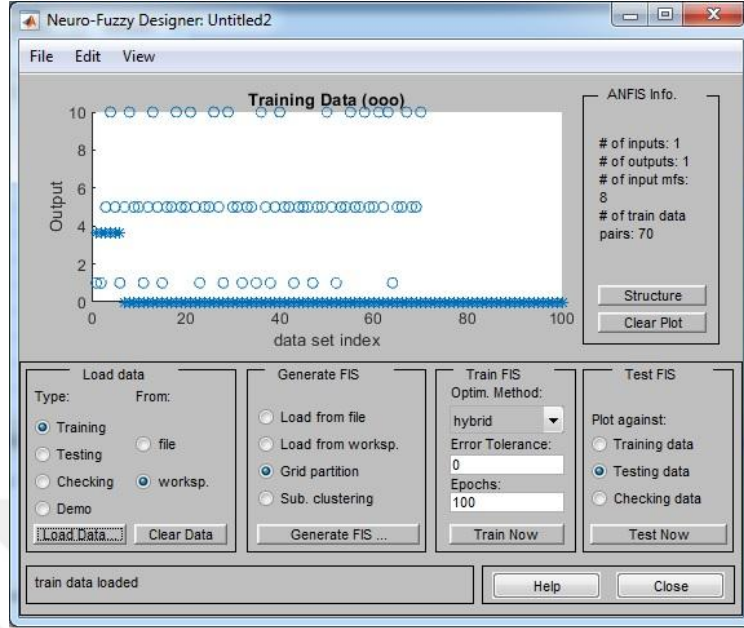


Şekil 3. 6 EC Eğitim verileri

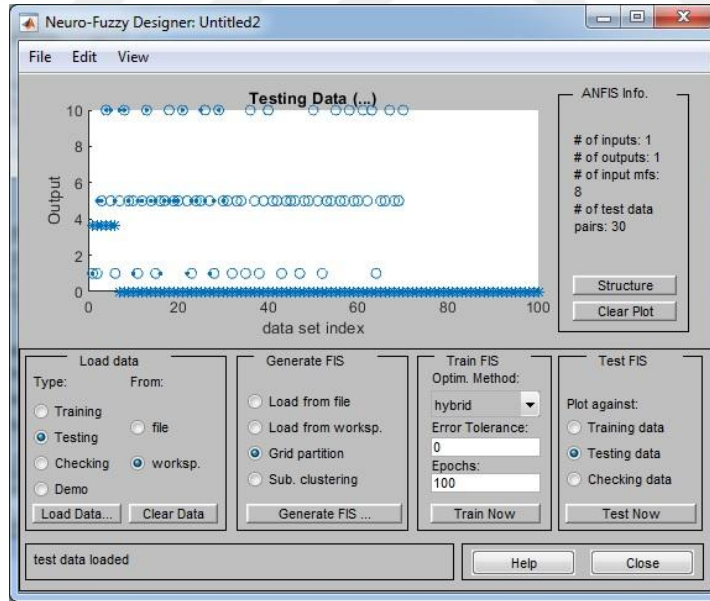


Şekil 3. 7 EC Test verileri

Besin değerlerinin kontrolü için yapılan modellemelerde son olarak pH kontrolü bulunmaktadır. pH kontrolü için hazırlanan veri setleri %70 eğitim ve %30 test olarak belirlenmiştir. Hazırlanan veriler MATLAB' de ANFIS arayüzüne yüklenmiştir. Yüklenen eğitim verileri Şekil 3.8.' da test verileri Şekil 3.9.' da görülmektedir.



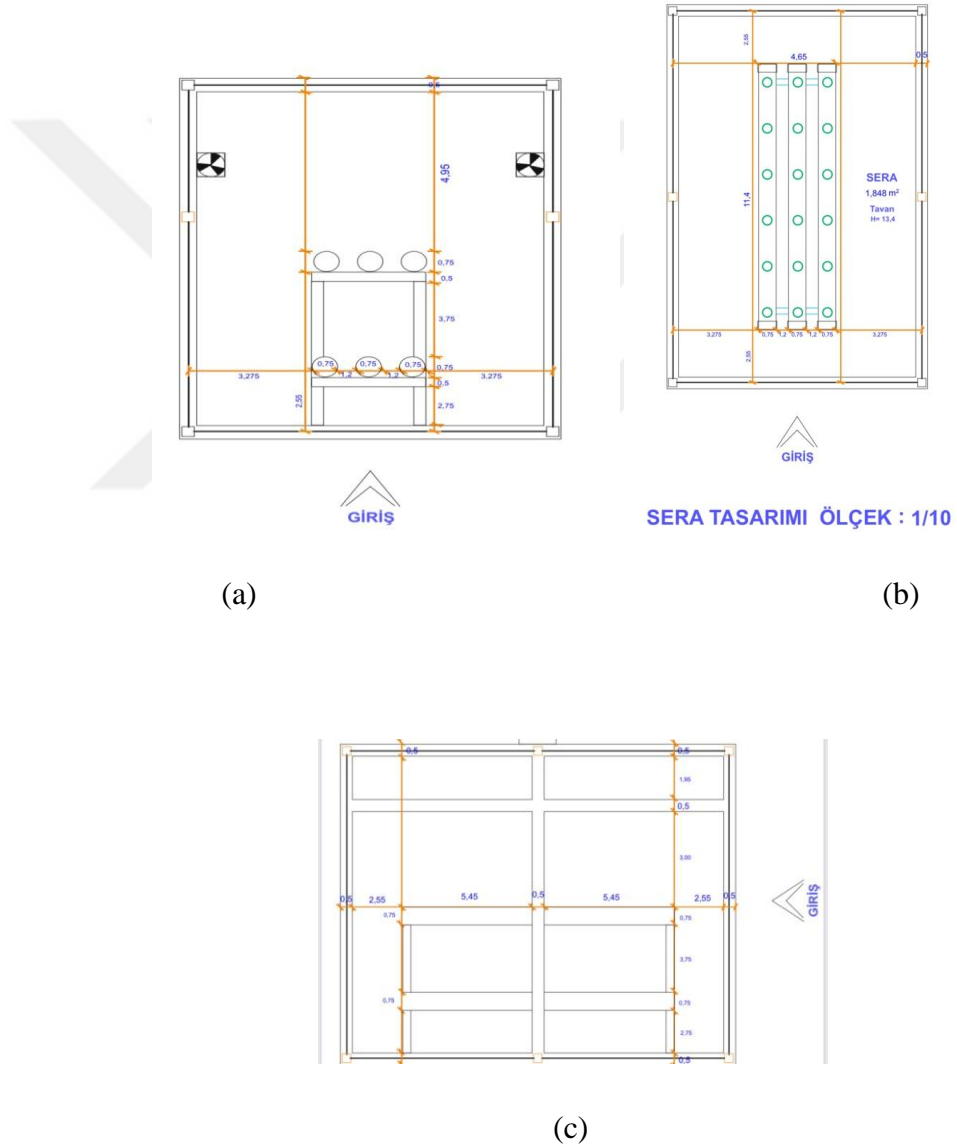
Şekil 3. 8 pH Eğitim Verileri



Şekil 3. 9 pH Test Verileri

3.6. Uygulama İçin Prototip Oluşturulması

Prototip için akansu kültürü ile çalışan, iki katlı, toplamda altı adet besi yeri bulunan ve her birinde altı adet fidenin koyulabileceği borulardan oluşan topraksız tarım sistemi tasarlanmıştır (Anonim-d, 2021). En altta stok besin çözeltilerinin kontrol edileceği stok besin tankı bulunmaktadır. Ec ve pH kontrolü bu stok besin tankından sağlanmaktadır. Prototipin teknik çizimleri Şekil 3.10.'da verilmiştir.



Şekil 3. 10 Prototip teknik çizimi(a) karşıdan görünüm (b)üst görünüm (c) genel hatları

Sera ortamının sağlanması için hazırlanan prototipin etrafı ahşap profillerin üzerine sera naylonu ile kaplanmıştır. Ön kısımda stok besin kontrolü ve sera içi fide kontrolünün sağlanması için kapı bırakılmıştır. Şekil 3.10.'da teknik çizimleri yapılan prototip kurulum aşaması ve bitmiş hali verilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 3. 11 (a) Prototip kurulum aşaması (b) kurulmuş hali

3.6. Kullanılan Donanımlar

3.6.1. Raspberry pi

Raspberry pi 1.2 GHz 4 çekirdekli 64-bit bir geliştirme kartıdır. Üzerinde bulunan GPIO pinleri sayesinde sensörlerle iletişim kurabilen küçük bir bilgisayar özelliği taşımaktadır (Kayaalp ve Süzen, 2018). Bazı çalışmalar Raspberry Pi'nin çok sayıda giriş ve çıkış çevre birimi desteğine sahip ultra ucuz ama servis verilebilir bir bilgisayar kartı olduğunu göstermiştir. Bu, onu birçok farklı cihazla etkileşim ve çok çeşitli uygulamalarda kullanım için mükemmel bir platform haline getirmektedir (Vujović ve Maksimović, 2015). Şekil 3.12.'de Raspberry Pi kartı gösterilmiştir.



Şekil 3. 12 Raspberry Pi 3 geliştirme kartı

3.6.2. Sensörler

Besin tankında bulunan stok bezin çözeltisinin pH değerinin ölçülebilmesi için pH sensörü kullanılmıştır. pH sensörü analog çıktı üretir ve 5V gerilim ile çalışır. Şekil 3.13.'de gösterildiği gibidir.



Şekil 3. 13 pH sensörü

Aynı zamanda sensörden ölçülen pH değerlerinin kontrol edilmesi için bir pH metre kullanılmaktadır. pH metre kalibrasyon sıvıları ile kalibre edilmektedir. Şekil 3.14.'de ölçüm için kullanılan pH metre ve kalibrasyon sıvıları gösterilmektedir.



(a)

(b)

(c)

Şekil 3. 14(a) pH metre (b), (c) kalibrasyon sıvıları

Besin tankındaki stok çözeltinin EC (Elektriksel İletkenlik) değerinin ölçülmesi için EC sensörü kullanılmıştır. Mevcut EC sensörlerinin fazla maliyetli olması ve ulaşılabilir olmaması nedeniyle EC sensörü tarafımızdan yapılmıştır. Şekil 3.15.'de görüldüğü üzere sıvı sıcaklığı ve iki adet elektrot ile elektriksel iletkenlik değeri ölçülebilmektedir.



Şekil 3. 15 EC sensörü

Sensörün ölçüm değerlerinin doğruluğu için Şekil 3.16.'de görülen bir adet EC metre kullanılmıştır. EC metrenin doğru ölçüm yapabilmesi için kalibrasyon sıvısı ile kalibre edilmektedir.



(a)

(b)

Şekil 3. 16(a) EC metre (b) EC metre kalibrasyon sıvısı

Sıcaklık ve nem ölçümü yapmak için bir adet DHT11 sensörü ve ortamdaki CO₂ oranını ölçmek için bir adet MQ135 sensörü kullanılmıştır. Analog verilerin daha kesin verilere dönüşmesi için bir adet analog dijital dönüştürücü ADS1015 kullanılmıştır.

3.6.3. Motorlar

Stok besin tankından besin karışımını seraya aktarmak üzere dalgıç pompa kullanılmıştır (Şekil 3.17.).



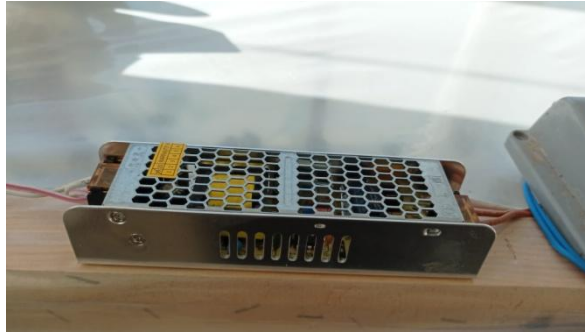
Şekil 3. 17 Dalgıç pompa

A besini, B besini ve asit tankından sıvıların besin tankına akışını sağlamak üzere Şekil 3.18.'de bulunan üç adet NKP-DCL-S10G peristaltik sıvı pompası kullanılmıştır. 12V ve 80mA akım gücüne sahiptir. Akış hızı dakikada 100ml'dir.



Şekil 3. 18 Peristaltik sıvı pompası

3.6.4. Güç kaynağı ve fanlar



Şekil 3. 19 Güç Kaynağı

Seranın enerji ihtiyacının karşılanması için 12 Volt enerji üreten güç kaynağı Şekil 3.19.'de olduğu gibi kullanılmıştır. Sera içi havalandırmanın sağlanması için iki adet 12V DC Fan kullanılmıştır (Şekil 3.20.). Fanlar 39 dB gürültü, 0.28A akım değerine sahiptir ve toplam gücü ise 3.36 W'dir.



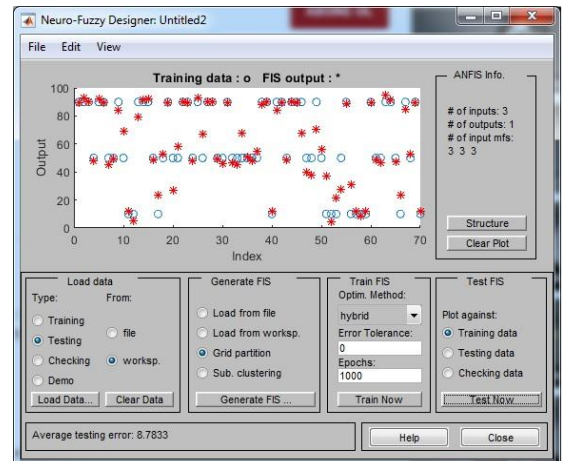
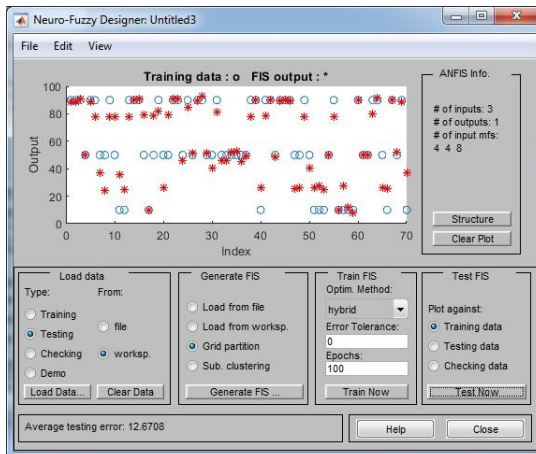
Şekil 3. 20 Fan

4. BULGULAR

4.1. Sıcaklık, Nem ve CO₂ Girişlerinden Matlab'de Elde Edilen Bulgular

Yüklenen eğitim ve test verilerine göre ANFIS modeli oluşturmak için üyelik fonksiyonu tiplerini belirlemek gerekmektedir. MATLAB'de bulunan üyelik fonksiyonu tipleri trimf (Üçgen Üyelik Fonksiyonu), trmpmf (Yamuk Üyelik Fonksiyonu), gbellmf (Çan şekilli Üyelik Fonksiyonu), gaussmf (Gauss Üyelik Fonksiyonu Tam Simetrik), gauss2mf (Gauss Üyelik Fonksiyonu), pimf (Pİ Üyelik Fonksiyonu), dsigmf (Sigmoid Üyelik Fonksiyonu Tam Simetrik), psigmf (Sigmoid Üyelik Fonksiyonu)' dir. Sıcaklık, nem ve CO₂ girişleri ve fan hızı çıkışı ile tüm üyelik fonksiyonlarında ayrı ayrı testleri yapılmıştır. Çizelge 4.1.' de yapılan test ve eğitim sonuçlarından bir örnek bulunmaktadır.

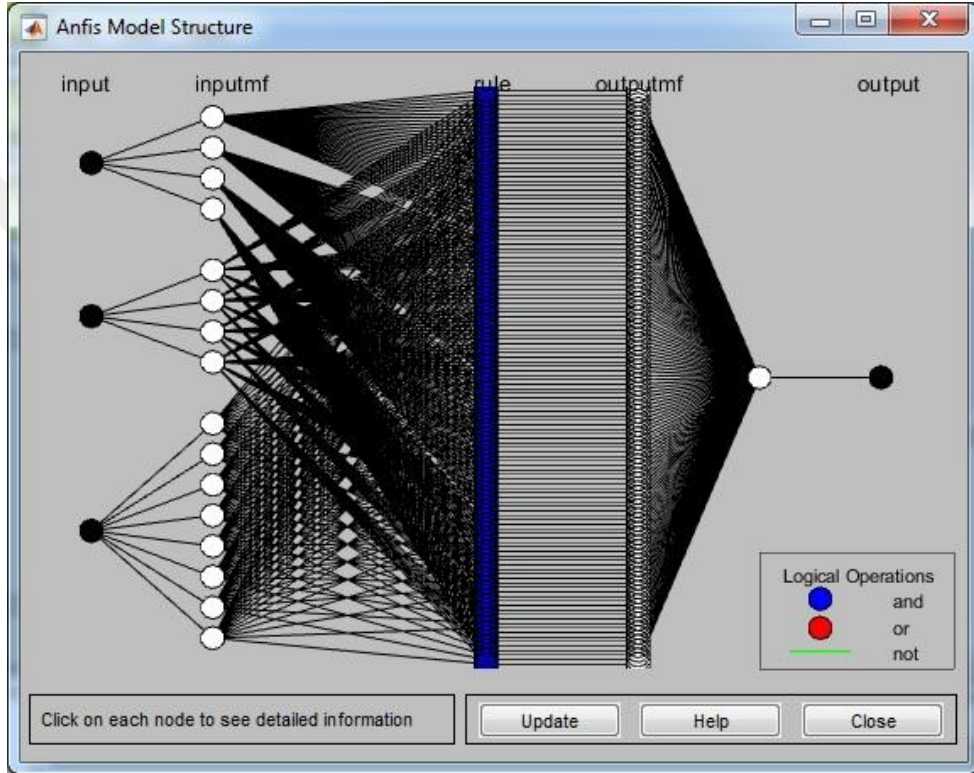
Çizelge 4.1. Sıcaklık, nem ve CO₂ girişleri ile yapılan test sonuçları



gbellmf (Çan şekilli Üyelik Fonksiyonu) Eğitim Sonucu

gbellmf (Çan şekilli Üyelik Fonksiyonu) Test Sonucu

Test sonuçlarına göre Çizelge 4.1.'de görüldüğü üzere en iyi sonuç gbellmf (Çan şekilli Üyelik Fonksiyonu) ile elde edilmiştir.. Elde edilen ANFIS modeli Şekil 4.1.' de gösterilmiştir.

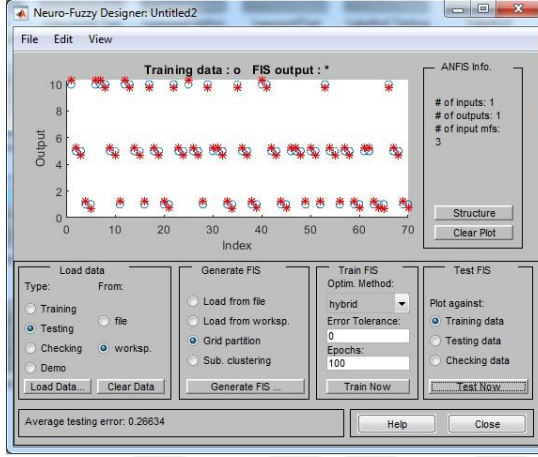


Şekil 4. 1 ANFIS Modeli

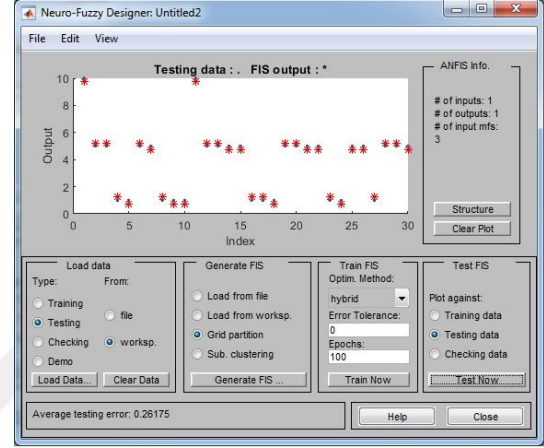
4.2. Ec Girişinden Matlab'de Elde Edilen Bulgular

EC ile ilgili oluşturulan veriler MATLAB'e yüklendikten sonra tüm üyelik fonksiyonlarına göre testler yapıp en uygun olan model seçilecektir. Yapılan testler donucunda en iyi sonucu veren testler gbellmf, gaussmf ve gauss2mf olmuştur. Test sonuçları evalfis komutu ile alınıp kıyaslandığında en iyi sonucu Çizelge 4.2.'de gösterilen gauss2mf vermiştir

Çizelge 4.2. EC girişi ile yapılan test sonuçları



Gauss2mf Fonksiyonu Eğitim Sonucu

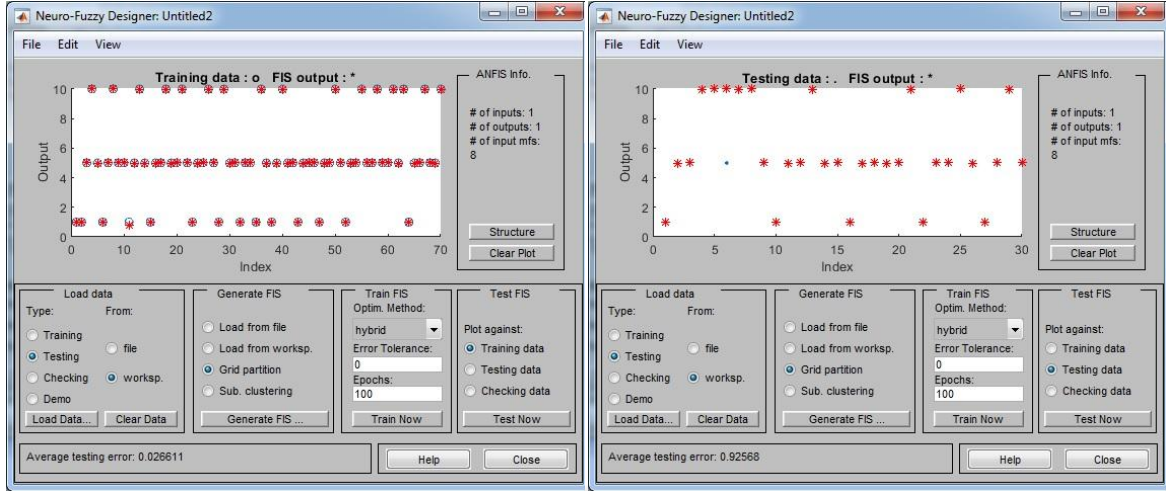


Gauss2mf Fonksiyonu Test Sonucu

4.3. pH Girişinden Matlab'de Elde Edilen Bulgular

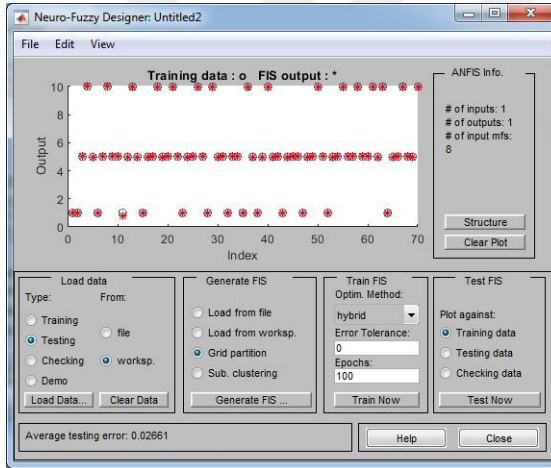
pH değerleri için yüklenen eğitim ve test verileri ile model trimf (Üçgen Üyelik Fonksiyonu), trapezmf (Yamuk Üyelik Fonksiyonu), gbellmf (Çan şekilli Üyelik Fonksiyonu), gaussmf (Gauss Üyelik Fonksiyonu Tam Simetrik), gauss2mf (Gauss Üyelik Fonksiyonu), pimf (Pİ Üyelik Fonksiyonu), dsigmf (Sigmoid Üyelik Fonksiyonu Tam Simetrik), psigmf (Sigmoid Üyelik Fonksiyonu) fonksiyonları ile eğitilmiş ve test yapılmıştır. Değerlendirmeler sonucunda gbellmf, gauss2mf, dsigmf ve psigmf çok iyi sonuçlar üretmiştir. Yapılan kıyaslamalar sonucunda Çizelge 4.3.'de gösterilen dsigmf ve psigmf birbirine çok yakın ve çok az hata değerine sahip sonuçlar üretmiştir.

Çizelge 4.3. pH Sonuçları



Dsigmf Fonksiyonu Eğitim Sonucu

Dsigmf Fonksiyonu Test Sonucu



Psigmf Fonksiyonu Eğitim Sonucu

Psigmf Fonksiyonu Test Sonucu

4.4. Anfis Modeli Gradyan İniş Optimizasyon Algoritması (Optimizer) Karşılaştırılması

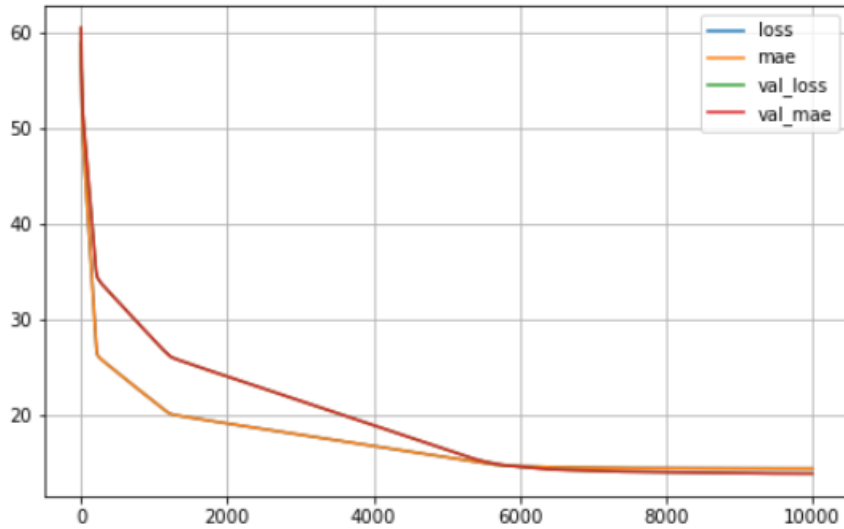
Tensorflow kütüphanesi kullanılarak oluşturulan ANFIS modelinin hiperparametrelerinden olan optimizasyon algoritmalarından SGD ve ADAM karşılaştırması bu bölümde yapılmıştır.

SGD (Olasılıksal gradyan iniş algoritması - Stochastic gradient descent)

SGD gradyan iniş algoritması hiperparametresi kullanılarak model oluşturulmuştur. Eğitim ve doğrulama hataları Şekil 4.2.'de gösterilmiştir. Her epoch'ta oluşan eğitim ve doğrulama hatalarının grafiksel gösterimi Şekil 4.3.'de yapılmıştır. Grafiklerden de görüldüğü gibi kayıp değerleri tedrici bir şekilde azalmaktadır ve aşırı öğrenme gibi sorunlar ortaya çıkmamıştır.

```
16/16 [=====] - 0s 7ms/step - loss: 14.4069 - mae: 14.4069 - val_loss: 13.8704 - val_mae: 13.8704
Epoch 9995/10000
16/16 [=====] - 0s 8ms/step - loss: 14.4083 - mae: 14.4083 - val_loss: 13.8702 - val_mae: 13.8702
Epoch 9996/10000
16/16 [=====] - 0s 7ms/step - loss: 14.4076 - mae: 14.4076 - val_loss: 13.8700 - val_mae: 13.8700
Epoch 9997/10000
16/16 [=====] - 0s 7ms/step - loss: 14.4078 - mae: 14.4078 - val_loss: 13.8702 - val_mae: 13.8702
Epoch 9998/10000
16/16 [=====] - 0s 7ms/step - loss: 14.4083 - mae: 14.4083 - val_loss: 13.8700 - val_mae: 13.8700
Epoch 9999/10000
16/16 [=====] - 0s 7ms/step - loss: 14.4070 - mae: 14.4070 - val_loss: 13.8702 - val_mae: 13.8702
Epoch 10000/10000
16/16 [=====] - 0s 8ms/step - loss: 14.4079 - mae: 14.4079 - val_loss: 13.8700 - val_mae: 13.8700
```

Şekil 4. 2 SGD optimizier ile her epoch'ta eğitim ve doğrulama hataları



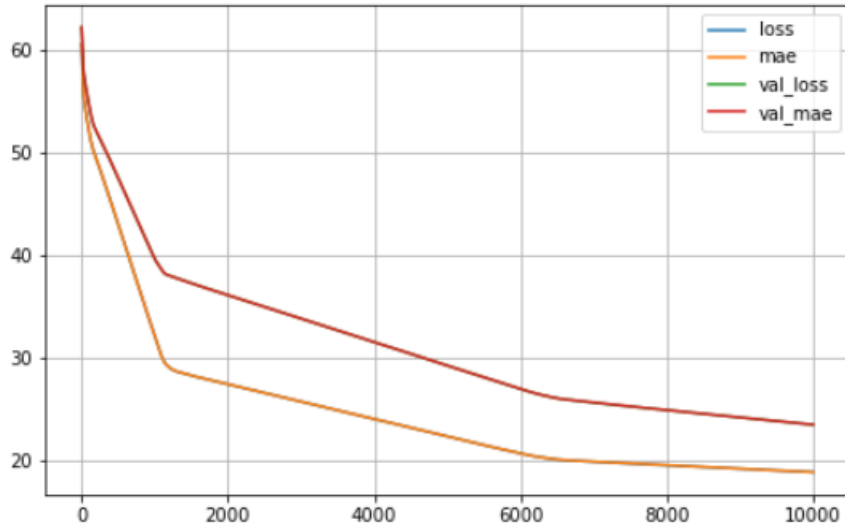
Şekil 4. 3 SGD optimizier ile her epoch'ta eğitim ve doğrulama hatalarının grafik gösterilmesi

ADAM (Adaptive Moment Estimation)

ADAM hiperparametresi kullanılarak model oluşturulmuştur. Oluşturulan modelin her epoch'ta oluşan eğitim ve hata değerleri Şekil 4.4.'de verilmiştir. Bu hata değerlerinin grafiksel gösterimi Şekil 4.5.'de verilmiştir. SGD gradyan iniş algoritması daha iyi sonuçlar vermiştir.

```
Epoch 9992/10000  
16/16 [=====] - 0s 2ms/step - loss: 18.8871 - mae: 18.8871 - val_loss: 23.5105 - val_mae: 23.5105  
Epoch 9993/10000  
16/16 [=====] - 0s 2ms/step - loss: 18.8863 - mae: 18.8863 - val_loss: 23.5097 - val_mae: 23.5097  
Epoch 9994/10000  
16/16 [=====] - 0s 3ms/step - loss: 18.8859 - mae: 18.8859 - val_loss: 23.5090 - val_mae: 23.5090  
Epoch 9995/10000  
16/16 [=====] - 0s 2ms/step - loss: 18.8855 - mae: 18.8855 - val_loss: 23.5083 - val_mae: 23.5083  
Epoch 9996/10000  
16/16 [=====] - 0s 2ms/step - loss: 18.8852 - mae: 18.8852 - val_loss: 23.5077 - val_mae: 23.5077  
Epoch 9997/10000  
16/16 [=====] - 0s 2ms/step - loss: 18.8849 - mae: 18.8849 - val_loss: 23.5071 - val_mae: 23.5071  
Epoch 9998/10000  
16/16 [=====] - 0s 2ms/step - loss: 18.8845 - mae: 18.8845 - val_loss: 23.5064 - val_mae: 23.5064  
Epoch 9999/10000  
16/16 [=====] - 0s 2ms/step - loss: 18.8845 - mae: 18.8845 - val_loss: 23.5055 - val_mae: 23.5055  
Epoch 10000/10000  
16/16 [=====] - 0s 2ms/step - loss: 18.8840 - mae: 18.8840 - val_loss: 23.5049 - val_mae: 23.5049
```

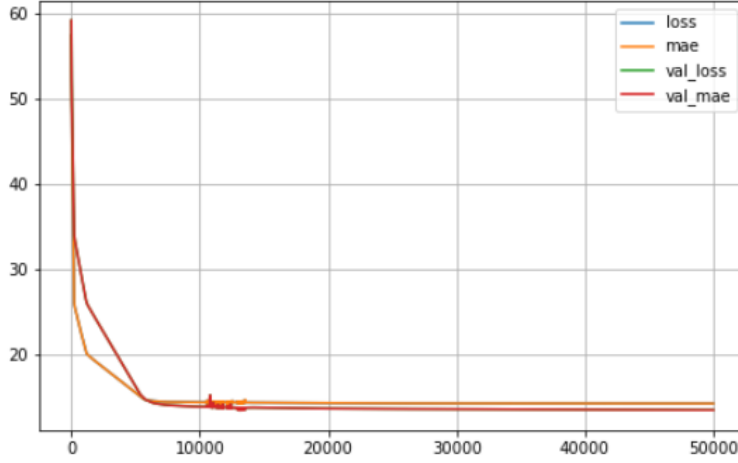
Şekil 4. 4 ADAM optimizer ile her epoch'ta eğitim ve doğrulama hataları



Şekil 4. 5 ADAM optimizer ile her epoch'ta eğitim ve doğrulama hatalarının grafik gösterilmesi

4.5. Anfis Modelinde Epoch Sayısının Artırılması

Oluşturulan ANFIS modelinin epoch sayısı artırılarak modelde iyileşme sağlanıp sağlanmayacağı test edilmiştir.



Şekil 4. 6 ANFIS modelinde epoch sayısının artma grafiği

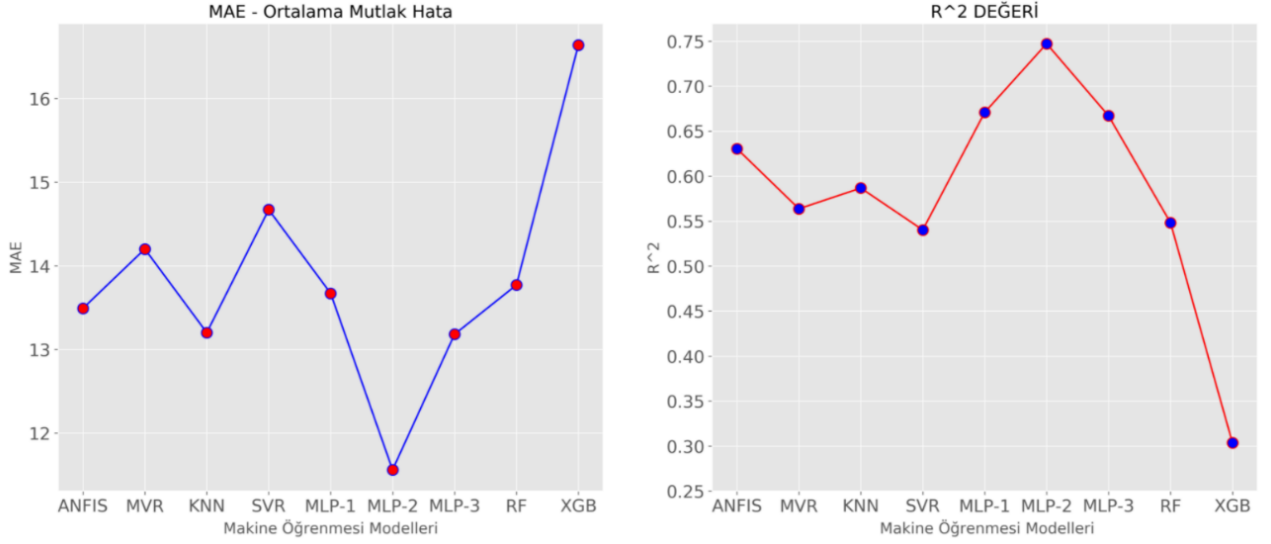
Şekil 4.6.'deki grafikte görüleceği gibi ANFIS modelinde epoch sayısının artırılması ile modelde iyileşme görülmediği anlaşılmaktadır. Model yaklaşık 9000 epochtan sonra önemli bir iyileşme gösterememiştir.

4.6. Modellerin Karşılaştırılması

Oluşturulan bütün modeller ortalama mutlak hata (MAE) ve R^2 değerlerine göre Çizelge 4.4.'de karşılaştırılmıştır. Şekil 4.8.'de bu karşılaştırmanın grafiksel modeli yapılmıştır. Ortalama mutlak hata değerlerine göre karşılaştırmalar yapıldığında en iyi yöntem geliştirdiğimiz MLP-2 olmaktadır. Bu modelin veri setini en iyi şekilde yansıttığından dolayı R^2 değeri de diğer yöntemlere göre daha yüksek çıkmaktadır. Fakat bulanık mantık yapısına daha uygun olduğundan ve karar setlerini daha iyi yansıttığı düşünüldüğü için ANFIS modeli geliştirilen prototipte çalıştırılmıştır.

Çizelge 4.4. Modellerin karşılaştırılması

MODEL İSMİ	MAE	R2-SCORE (%)
ANFIS	0.1349	0.6305
Çok değişkenli regresyon (MVR)	0.1420	0.5637
K en yakın komşu (KNN)	0.1320	0.5867
Destek Vektör Regresyonu (SVR)	0.1467	0.5402
Çok Katmanlı Algılayıcı (MLP-1) (5 gizli katmanlı)	0.1367	0.6708
Çok Katmanlı Algılayıcı (MLP-2) (7 gizli katmanlı)	0.1156	0.7472
Çok Katmanlı Algılayıcı (MLP-3) (8 gizli katmanlı)	0.1318	0.6670
RASTSAL ORMAN (RF)	0.1377	0.5482
XGBOOST (XGB)	0.1664	0.3037



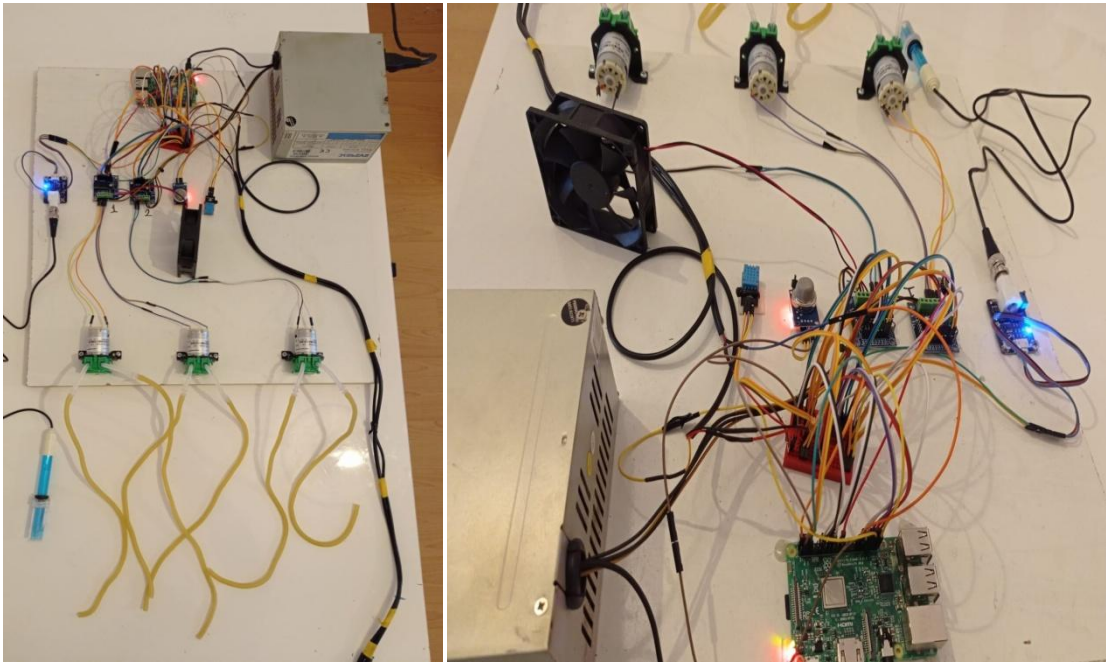
Şekil 4. 7 Modellerin karşılaştırılmasının grafiksel gösterimi

4.7. Prototipten Elde Edilen Bulgular

Hazırlanan prototip çeşitli koşullarda çalıştırılmaya başlanmıştır. Stok besinlerin hazırlanması, uygun sera şartlarının sağlanması, EC ve pH değerlerinin kontrolü sağlanmıştır. Şekil 4.8.'de prototipin test süreci verilmiştir. Şekil 4.9.'da prototipte kullanılan sensörlerin kurulmuş hali verilmiştir.



Şekil 4. 8 Prototip test süreci



Şekil 4. 9 Prototip için oluşturulan devreler

5. SONUÇLAR ve TARTIŞMA

Bulanık Mantık matematiksel modellerin dilsel ifadelerle dönüştürülüp insan düşünme sistemine yakın bir model elde edilmesini sağlaması ile özellikle karmaşık problemlerde tercih sebebi olmaktadır (Mohd Ali ve ark., 2022).. Matematiksel modellerde klasik mantık ile kesin sınırlar belirlenmesi modelin kapsamını sınırlandırırken aynı modelin dilsel ifadeler kullanılarak bulanıklaştırılması daha adaptif hale getirmektedir (Srivastava ve Kumar., 2022)..

Bulanık Mantık'ın bulanıklaştırma fonksiyonları ile yapay sinir ağlarının geri beslemeli öğrenme algoritmalarını birleştiren model ANFIS' tir (Japtag ve Pillai, 2014). Adaptif Ağ Tabanlı Bulanık Çıkarım Sistemi (ANFIS) uyarlanabilir öğrenme yeteneğini bulanık akıl yürütme ile bütünleştirir ve akış tahminleri gibi karmaşıklıklarla kolaylıkla başa çıkabilir (Zhou ve ark., 2019).

Bu çalışmada Adaptif Ağ Tabanlı Bulanık Çıkarım Sisteminin (ANFIS) Topraksız Tarım Seralarında Uygulanması yapılmıştır. Topraksız Tarım Seralarının istihdam sağlayarak ekonomiye katkısı, sanayi sektörüne hammadde sağlaması, verimsiz arazilerin değerlendirilmesi, birim alandan yüksek verim alınması gibi birçok nedenle ülkelerin sosyal-ekonomik alanlarına katkıları çok büyüktür. Değişen dünya düzeninde ülkelerde toprakların daha verimli daha ergonomik kullanılması ve küçük alanlardan büyük karlar elde edilmesi büyük önem taşımaktadır. Tüm bu yönleri ile topraksız tarım bugünün ve geleceğin en önemli ve en gelişen alanlarından biri haline gelmiştir (Trejo Téllez ve Gómez-Merino, 2012).

Bu çalışmada topraksız tarım seralarında ANFIS uygulanması için iklimlendirme ve besin değerlerinin kontrolü olarak ele alınmıştır. Seraların iklimlendirme sistemleri için en önemli unsurlar sıcaklık, nem ve CO₂'dir. Bu değerler giriş fonksiyonu olarak belirlenmiştir. Giriş fonksiyonlarının üyelik derecelerine göre üyelik fonksiyonları dilsel ifadelerle belirlenmiştir. Belirlenen üyelik fonksiyonları ve veri setleri ile MATLAB'de ANFIS modeli oluşturulmuştur ve en iyi sonucu veren fonksiyon belirlenmiştir.

Python’da oluşturulan ANFIS modeli ise yine Python’da oluşturulan diğer optimizasyon algoritmaları ile karşılaştırılmıştır. En iyi sonucu veren 7 katmanlı ağ yapısına sahip MLP-2 olmuştur. Buna karşın topraksız tarım uygulamasında kullanılacak en uygun model olarak ANFIS seçilmiştir. Bu model oluşturulan prototip üzerinde denenmiştir ve topraksız tarım sisteminde verimli çalıştığı görülmüştür.

ANFIS’in besin değerlerinde uygulanması için ilgili besinin ihtiyaçları belirlenmiştir. Çilek besini sanayi sektöründe ilgi gören bir besindir ve olgunlaşma dönemi nedeniyle yüksek fiyatlı alıcıya sunulması nedeniyle tercih edilmektedir (Eltez ve Tüzel, 2007). Topraksız Tarım Seralarında birim alanda alınan verimi ve yetiştirme döneminin uzunluğu nedeniyle çilek yetiştiriciliği oldukça yaygındır. Tüm bu sebeplerden besin olarak çilek seçilmiştir. Çilek besininin ihtiyaçları yapılan araştırmalar ve uzman görüşleri sonucunda belirlenmiştir. Buna göre giriş çıkış fonksiyonları, üyelik fonksiyonları belirlenip ANFIS’ de eğitim ve testleri yapılmıştır.

ANFIS tahmin problemlerinde oldukça gerçek değere yakın sonuçlar üretmesiyle tercih edilmektedir (Mohd Ali ve ark., 2022). Eğitim ve test aşamalarında her üyelik fonksiyonu tipi aynı sonuçları vermemekle birlikte eğitim sırasında bazı üyelik fonksiyonu tipleri oldukça yüksek hata değerlerine sahip çıkabilmektedir. Bu durumlarda kullanılan üyelik fonksiyonu tipini değiştirerek en uygun ve en adaptif model elde edilebilmektedir. Eğitim ve test sonuçlarına göre elde edilen sonucun gerçek değerden çok farklı olması durumunda veri setleri gözden geçirilmelidir. Uzman kişiler tarafından oluşturulan veri setleri arasında çelişki varsa bu elde edilmek istenilen modelin hatalı olmasına sebep olmaktadır.

Adaptif Ağ Tabanlı Bulanık Çıkarım Sistemi (ANFIS) uyarlanabilir olması ile ve bulanık mantık ve yapay sinir ağlarının olumlu özelliklerinin bir arada kullanılması ile matematiksel modellerin daha rahat ifade edilip bilimsel dile (özellikle bilgisayar diline)

daha rahat aktarılması, öğrenme modeli ve hızı nedenleriyle matematiksel modellemelerde tercih edilmektedir (Srivastava ve Kumar., 2022).

Gelecekteki çalışmalar olarak, geliştirilen model, sera iklim parametrelerinin dinamik bir modeli oluşturularak kontrol amacıyla kullanılabilir. Simüle edilen çalışmada elde edilen sonuçları doğrulamak için kontrolörün sera ikliminin gerçek zamanlı kontrolünde uygulanması planlanmıştır. Oluşturulan modeller arasında 7 katmanlı ağ yapısı en iyi tahmin sonucunu vermiştir, bu tahmin modelinin geliştirilerek hidroponik sistemlerde uygulanması planlanmıştır.

KAYNAKLAR

- Günay, H.F., 2017. Türkiye ve Avrupa Birliği'nde Tarımın Önemi ve Mali Destekler Bağlamında İncelenmesi. (Yüksek Lisans Tezi) Karadeniz Teknik Üniversitesi. Sosyal Bilimler Enstitüsü, Trabzon.
- Özkan, Ş., 2014. Topraksız Tarım Üretimi. (Yüksek Lisans Tezi) Giresun Üniversitesi. Sosyal Bilimler Enstitüsü İktisat Anabilim Dalı, Giresun.
- Gül, A., 2019. Topraksız Tarım. Hasad Yayıncılık, 146, İstanbul.
- Jensen, M. H., 1997. Hydroponics. Hort Science, Vol 32 (6).
- Anonim, 2022. Hydroponics. <https://www.britannica.com/topic/hydroponics>. (18.02.2022)
- Anonim-a, 2021. Topraksız Tarım. <https://www.gencziraat.com/Toprak-Bilgisi/Topraksiz-Tarim-8.html>. (07.05.2021)
- Başar, H., 2000. Bazı Topraksız Tarım Yetiştiricilik Yöntemlerinin Karşılaştırılması. Anadolu, J. Of Aarı. 10 (2), 169 – 182.
- Adak, A. ve Bekmezci, M., 2011. Farklı Fide Tipleri ve Yetiştirme Ortamlarının Topraksız Kültür Fide Yetiştiriciliği Üzerine Etkileri. Tarım Bilimleri Dergisi- Journal Of Agriculture Science, 1(17), S. 269-278.
- Hazar, D. ve Baktır, İ., 2013. Topraksız Tarım Kesme Gül Yetiştiriciliği. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi Suleyman Demirel University Journal of Natural and Applied Science 7(2), Özel Sayı 21-28.
- Vox, G., Teitel, M., Pardossi, A., Minuto, A., Tinivella, F., and Schettini, E., 2010. Sustainable greenhouse systems. Agriculture: Technology, Planning and Management, Nova Sci Publishers, New York, S. 1-79.
- Ibrahim, R.; Solahudin, M.;Widodo, S., 2015. Control system for nutrient solution of nutrient film technique using fuzzy logic. Telkomnika Indones. J. Electr. Eng. 13, 1281–1288.

- Kesenler, M. F., Kesenler, E. F., 2017. Bulanık Mantığın Tarihi Gelişimi. Takvim-i Vekayi, 5 (1), S. 1-10.
- Vigyan, J., 2020. Optimizing Crop Yield Using Hydroponic Farm On Tomato Plants By Applying Deep Neural Networks. Researchgate, 9 (1). S. 264-269.
- Altaş, İ.H., 1999. Bulanık Mantık: Bulanıklık Kavramı. Enerji, Elektrik, Elektromekanik-3e, 62 (1), S. 80-85.
- Altaş, İ.H., 1999. Bulanık Mantık: Bulanıklık Denetleyici. Enerji, Elektrik, Elektromekanik-3e, 64 (1), S. 76-81.
- Akın, B., 2021. Açılı Derin Çekme Kalıplarında Çekme Parametrelerinin Bulanık Mantık İle Modellenmesi. (Yüksek Lisans Tezi) Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Şenol, A., Orhan, E., Şahin, S., 2021. Güneş Takip Sistemlerinde Bulanık Mantık Kontrolü. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi Özel Sayı 24, S. 268-273.
- Öztürk, K., Şahin, E.M., 2018. Yapay Sinir Ağları ve Yapay Zekaya Genel Bir Bakış. Takvim-i Vekayi, 6 (2), S. 25-36.
- Talukder, R. M., Asaduzzaman, M., Tanaka, H., Asao, T., 2018. Light-emitting diodes and exogenous amino acids application improve growth and yield of strawberry plants cultivated in recycled hydroponics. Scientia Horticulturae, S. 93-103.
- Japtag, P., Pillai, G. N. Comparison of Extreme-ANFIS and ANFIS Networks for Regression Problems. 2014 IEEE International Advance Computing Conference (IACC), 21-22 February, Gurgaon, India.
- Saaïd, M.F.; Sanuddin, A.; Ali, M.; Yassin, M.S.A.I.M, 2015. Automated pH controller system for hydroponic cultivation. In Proceedings of the 2015 IEEE Symposium on Computer Applications & Industrial Electronics (ISCAIE), Kedah, Malaysia, 12–14April 2015; pp. 186–190.
- Stanghellini, C., Jong, T., 1995. A Model of Humidity and Its Applications in a Greenhouse. Agricultural and Forest Meteorology, Vol. 76, No. 2, pp. 129-148.

- A. P. Papadoupoulos, 1991. Growing Greenhouse Tomatoes in Soil and in Soil Less Media. Agriculture Canada Publication, pp. 56-64.
- Seginer, I., Zlochin, I., 1997. Night-Time Greenhouse Humidity Control with a Cooled Wetness Sensor. Agricultural and Forest Meteorology, Vol. 85, pp. 269-277.
- Shahkar, A., 2020. Anfis ve Popülasyona Dayalı Optimizasyon Algoritması Kullanılarak İzole Bir Kavşağın Sinyal Zamanının Tahmini. (Doktora Tezi) Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Gökçe, N., 2019. Isı Yalıtımı ile Verimli Enerji Kullanımı Modelinin ANFIS ile Oluşturulması: Cumhuriyet Üniversitesi Uygulaması. (Yüksek Lisans Tezi) Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sivas.
- Doğan, O., 2016. Uyarlamalı Sinirsel Bulanık Çıkarım Sisteminin (ANFIS) Talep Tahmini İçin Kullanımı ve Bir Uygulama. Dokuz Eylül Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi, 31 (1), S. 257-288.
- Vanegas-Ayala, S.C., Baron-Valendina, J., Leal-Larar, D.D., 2022. A Systematic Review of Greenhouse Humidity Prediction and Control Models Using Fuzzy Inference Systems. Hindawi, Advances in Human-Computer Interaction, S. 16.
- Arora, U., Shetty, S., Shah, R., Sinha, D. K., 2021. Automated Dosing System in Hydroponics with Machine Learning. IEEE International Conference on Communication information and Computing Technology, 978-1-6654-0430-3.
- Thalwatte, A. M., Ranasinghe U. G. K. L.P. S., Sakee, M. F. A., Ikram, M. M. M, Mahaadikar, H., Wellalage, S., 2021. Fully Automatic Hydroponic Cultivation Growth System. 2021 3rd International Conference on Advancements in Computing (ICAC), 9-11 Dec. Colombo, Sri Lanka.
- Chen, C.H., Jeng, S.Y., Lin, C.J., 2021. Fuzzy Logic Controller for Automating Electrical Conductivity and pH in Hydroponic Cultivation. MDPI, 12, 405.

- Mehra, M., Saxena, S., Sankaranarayanan, S., Tom, R. J., Veeramanikandan, M., 2018. IoT based hydroponics system using Deep Neural Networks. *Computers and Electronics in Agriculture*, 155, S. 473–486.
- Wongpatikaseree, K., Hnoohom, N., Yuenyong, S., 2018. Machine Learning Methods for Assessing Freshness in Hydroponic Produce. 2018 International Joint Symposium on Artificial Intelligence and Natural Language Processing (iSAI-NLP), 15-17 Nov., Pattaya, Thailand.
- Verma, S., Gawade, D. S., 2021. A machine learning approach for prediction system and analysis of nutrients uptake for better crop growth in the Hydroponics system. *International Conference on Artificial Intelligence and Smart Systems (ICAIS)*, 25-27 March, Coimbatore, India.
- Pakzad, A. E., Pakzad, A.A., 2018. Fuzzy Ponics: a Fuzzy Based System to Control Temperature, Relative Humidity, Electrical Conductivity and PH of Hydroponics. *International Journal of Engineering & Technology*, S. 308-312.
- Punya, P. V., Sarala, S. M., Sharmila, S. C., 2020. Robust Smart Irrigation System using Hydroponic Farming based on Data Science and IoT. *IEEE Bangalore Humanitarian Technology Conference (B-HTC)*, 8-10 Oct., Vijiyapur, India.
- Zadeh, L. A., 1965. Fuzzy Sets. *Information and Control*, 8 (1), S. 338-353.
- Elmas, Ç., 2018. *Yapay Zeka Uygulamaları*. Seçkin Yayıncılık, 479, Ankara.
- Elmas, Ç., 2018. *Yapay Zeka Uygulamaları*. Seçkin Yayıncılık, 267, Ankara.
- Zadeh, L. A., 1973. Outline Of A New Approach To The Analysis Of Complex Systems And Decision Processes. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 1 (3), S. 28-44.
- Zadeh, L. A., 1975. The Concept Of Linguistic Variable And Its Application To Approximate Reasoning. *Information Science*, 1, S. 199-249.
- Mamdani, E. H., 1974. Application of fuzzy algorithms for control of simple dynamic plant. *Proc. IEE*, 21 (12), S 1585-1588.

- Mamdani, E. H., 1976. Advances in The Linguistic Synthesis of Fuzzy Controllers. Int. J. Man-Machine Studies, 8, S. 669-678.
- Mamdani, E. H., Assilian, S., 1975. An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller. Int. J. Man-Machine Studies 7, 1-13.
- Jang, J. S. R., 1993. ANFIS: Adaptive-network-based fuzzy inference system. IEEE Trans. Syst., Man, And Cybernetics, 23, S. 665-684.
- Yücel, A., Güneri, A. F., 2010. Tedarikçi Seçimi Problemine Adaptif Ağ Yapısına Dayalı Bulanık Çıkarım Sisteminin Uygulanması. Journal of Engineering and Natural Sciences Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, Sigma 28, S. 224-234.
- Demir, Ö., 2006. Matlab Gereçleri İle Görüntü İşleme Uygulamaları. (Yüksek Lisans Tezi) Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektronik Bilgisayar Eğitimi Anabilim Dalı, Bilgisayar Ve Kontrol Eğitimi Programı, İstanbul.
- Görgülü, Ö., Şahinler, S., Bek, Y., 2006. Bulanık Mantık Uygulamalarının Matlab Aracılığıyla Çözümlemesi. IX. Ulusal Biyoistatistik Kongresi, Zonguldak.
- Adak, N., Pekmezci M., 2012. Topraksız Çilek Yetiştiriciliğinde Fide Tipi ve Yetiştirme Ortamının Meyve Kalitesi Üzerine Etkileri, Ege Üniv. Ziraat Fak. Derg., 49 (2): 135-142 ISSN 1018 – 8851
- Anonim-b, 2021. Topraksız Çilek Yetiştiriciliği. <http://www.topraksizcilek.com/cilek> (06.07.2021)
- Anonim-c, 2021. Bulanık Mantık Nedir. <https://www.aliosmangokcan.com/index.php/8-bilgisayar/82-bulanik-mantik-nedir>. (14.06.2021)
- Adak, N. 2010. Camarosa Çilek Çeşidinde Değişik EC Düzeylerinin Verim Ve Kalite Üzerine Etkileri. Batı Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Derim Dergisi 27(2):22-33).

- Zhang, G., Patuwo, B. E., Hu, M. Y., 1998. Forecasting With Artificial Neural Networks: The State Of The Art”, International Journal of Forecasting, 14, 35-62.
- Lapedes, A., Farber, R., 1988. How neural nets work. In: Anderson, D.Z., (Ed.), Neural Information Processing Systems American Institute of Physics, S.442–456, New York,.
- Anonim-d, 2021. Automated Hydroponic System Build. <https://kylegabriel.com/projects/2020/06/automated-hydroponic-system-build.html>. (13.08.2021)
- Zhou, G., Gou, Y., Chang, F., 2019. Explore an evolutionary recurrent ANFIS for modelling multi-step-ahead flood forecasts. Journal of Hydrology 570, S. 343–355.
- Eltez, R. Z, Tüzel, Y., 2007. Merdiven Tipi Sistemde Farklı Topraksız Tarım Tekniklerinin Sera Çilek Yetiştiriciliğinde Verim ve Kaliteye Etkileri. Ege Üniv. Ziraat Fak. Derg., 44 (1), S. 15-27.
- Ayan, M., Şenol, R., 2016. Bulanık Mantık Tabanlı Uzaktan Erişimli Sera. Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 4, S. 734-746.
- Kansu Ateş, E., 2018. Bulanık Mantık Tabanlı İklimlendirme Sistemi. (Yüksek Lisans Tezi) Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Yılmaz, C., 2021. Seralar İçin Çok Fonksiyonlu Akıllı Kontrol Sistemleri. https://www.emo.org.tr/ekler/2552c6d6039b35c_ek.pdf (16.08.2021)
- Kayaalp, K., Süzen, A. A., 2018. Raspberry Pı İle Sunucu Tabanlı Laboratuvar Tasarımı. International Academic Research Congress.
- Trejo Téllez LI, Gómez-Merino, FC, 2012. Nutrient Solutions for Hydroponic Systems, Hydroponics. A Standard Methodology for Plant Biological Researches. Rijeka: Croatia.
- Mohd Ali, N., Hamzah, K., Idris, F., Basri, N., Sarkawi, M. S., Sazali, M. A., Rabir, H., Minhat, M. S., Zainal, J., 2022. Power Peaking Factor Prediction Using ANFIS Method. Nuclear Engineering and Technology 54, S. 608-616.

Vujović, V., Maksimović, M. (2015). Raspberry Pi as a Sensor Web node for home automation. *Computers & Electrical Engineering*, 44, 153-171.

Srivastava, R., Kumar, B., 2022. Design Of Anfis Based Pacemaker Controller Having Improved Transient Response And Its FPGA Implementation. *Biomedical Signal Processing and Control*, 71, 103186.



EKLER

KURALLAR

SICAKLIK, NEM VE CO₂ KURALLARI

If Sıcaklık is Çok Yetersiz AND Nem is Çok Yetersiz AND CO₂ is Çok Yetersiz then Fan Çalışma Hızı is Hızlı

If Sıcaklık is Çok Yetersiz AND Nem is Çok Yetersiz AND CO₂ is Yetersiz then Fan Çalışma Hızı is Hızlı

If Sıcaklık is Çok Yetersiz AND Nem is Çok Yetersiz AND CO₂ is Normal then Fan Çalışma Hızı is Orta

If Sıcaklık is Çok Yetersiz AND Nem is Çok Yetersiz AND CO₂ is Fazla then Fan Çalışma Hızı is Orta

If Sıcaklık is Çok Yetersiz AND Nem is Çok Yetersiz AND CO₂ is Çok Fazla then Fan Çalışma Hızı is Yavaş

If Sıcaklık is Çok Yetersiz AND Nem is Yetersiz AND CO₂ is Çok Yetersiz then Fan Çalışma Hızı is Hızlı

If Sıcaklık is Çok Yetersiz AND Nem is Yetersiz AND CO₂ is Yetersiz then Fan Çalışma Hızı is Hızlı

If Sıcaklık is Çok Yetersiz AND Nem is Yetersiz AND CO₂ is Normal then Fan Çalışma Hızı is Orta

If Sıcaklık is Çok Yetersiz AND Nem is Yetersiz AND CO₂ is Fazla then Fan Çalışma Hızı is Orta

If Sıcaklık is Çok Yetersiz AND Nem is Yetersiz AND CO₂ is Çok Fazla then Fan Çalışma Hızı is Yavaş

If Sıcaklık is Çok Yetersiz AND Nem is Normal AND CO₂ is Çok Yetersiz then Fan Çalışma Hızı is Hızlı

If Sıcaklık is Çok Yetersiz AND Nem is Normal AND CO₂ is Yetersiz then Fan Çalışma Hızı is Hızlı

If Sıcaklık is Çok Yetersiz AND Nem is Normal AND CO₂ is Normal then Fan Çalışma Hızı is Orta

If Sıcaklık is Çok Yetersiz AND Nem is Normal AND CO₂ is Fazla then Fan Çalışma Hızı is Orta

If Sıcaklık is Çok Yetersiz AND Nem is Normal AND CO₂ is Çok Fazla then Fan Çalışma Hızı is Yavaş

If Sıcaklık is Çok Yetersiz AND Nem is Fazla AND CO₂ is Çok Yetersiz then Fan Çalışma Hızı is Hızlı

If Sıcaklık is Çok Yetersiz AND Nem is Fazla AND CO₂ is Yetersiz then Fan Çalışma Hızı is Hızlı

If Sıcaklık is Çok Yetersiz AND Nem is Fazla AND CO₂ is Normal then Fan Çalışma Hızı is Orta

If Sıcaklık is Çok Yetersiz AND Nem is Fazla AND CO₂ is Fazla then Fan Çalışma Hızı is Orta

If Sıcaklık is Çok Yetersiz AND Nem is Fazla AND CO₂ is Çok Fazla then Fan Çalışma Hızı is Yavaş

If Sıcaklık is Çok Yetersiz AND Nem is Çok Fazla AND CO₂ is Çok Yetersiz then Fan Çalışma Hızı is Hızlı

If Sıcaklık is Çok Yetersiz AND Nem is Çok Fazla AND CO₂ is Yetersiz then Fan Çalışma Hızı is Hızlı

If Sıcaklık is Çok Yetersiz AND Nem is Çok Fazla AND CO₂ is Normal then Fan Çalışma Hızı is Orta

If Sıcaklık is Çok Yetersiz AND Nem is Çok Fazla AND CO₂ is Fazla then Fan Çalışma Hızı is Orta

If Sıcaklık is Çok Yetersiz AND Nem is Çok Fazla AND CO₂ is Çok Fazla then Fan Çalışma Hızı is Yavaş

If Sıcaklık is Yetersiz AND Nem is Çok Yetersiz AND CO₂ is Çok Yetersiz then Fan Çalışma Hızı is Hızlı

If Sıcaklık is Yetersiz AND Nem is Çok Yetersiz AND CO₂ is Yetersiz then Fan Çalışma Hızı is Hızlı

If Sıcaklık is Yetersiz AND Nem is Çok Yetersiz AND CO₂ is Normal then Fan Çalışma Hızı is Orta

If Sıcaklık is Yetersiz AND Nem is Çok Yetersiz AND CO₂ is Fazla then Fan Çalışma Hızı is Orta

If Sıcaklık is Yetersiz AND Nem is Çok Yetersiz AND CO₂ is Çok Fazla then Fan Çalışma Hızı is Yavaş

If Sıcaklık is Yetersiz AND Nem is Yetersiz AND CO₂ is Çok Yetersiz then Fan Çalışma Hızı is Hızlı

If Sıcaklık is Yetersiz AND Nem is Yetersiz AND CO₂ is Yetersiz then Fan Çalışma Hızı is Hızlı

If Sıcaklık is Yetersiz AND Nem is Yetersiz AND CO₂ is Normal then Fan Çalışma Hızı is Orta

If Sıcaklık is Yetersiz AND Nem is Yetersiz AND CO₂ is Fazla then Fan Çalışma Hızı is Orta

If Sıcaklık is Yetersiz AND Nem is Yetersiz AND CO₂ is Çok Fazla then Fan Çalışma Hızı is Yavaş

If Sıcaklık is Yetersiz AND Nem is Normal AND CO₂ is Çok Yetersiz then Fan Çalışma Hızı is Hızlı

If Sıcaklık is Yetersiz AND Nem is Normal AND CO₂ is Yetersiz then Fan Çalışma Hızı is Hızlı

If Sıcaklık is Yetersiz AND Nem is Normal AND CO₂ is Normal then Fan Çalışma Hızı is Orta

If Sıcaklık is Yetersiz AND Nem is Normal AND CO₂ is Fazla then Fan Çalışma Hızı is Orta

If Sıcaklık is Yetersiz AND Nem is Normal AND CO₂ is Çok Fazla then Fan Çalışma Hızı is Yavaş

If Sıcaklık is Yetersiz AND Nem is Fazla AND CO₂ is Çok Yetersiz then Fan Çalışma Hızı is Hızlı

If Sıcaklık is Yetersiz AND Nem is Fazla AND CO₂ is Yetersiz then Fan Çalışma Hızı is Hızlı

If Sıcaklık is Yetersiz AND Nem is Fazla AND CO₂ is Normal then Fan Çalışma Hızı is Orta

If Sıcaklık is Yetersiz AND Nem is Fazla AND CO₂ is Fazla then Fan Çalışma Hızı is Orta

If Sıcaklık is Yetersiz AND Nem is Fazla AND CO₂ is Çok Fazla then Fan Çalışma Hızı is Yavaş

If Sıcaklık is Yetersiz AND Nem is Çok Fazla AND CO₂ is Çok Yetersiz then Fan Çalışma Hızı is Hızlı

If Sıcaklık is Yetersiz AND Nem is Çok Fazla AND CO₂ is Yetersiz then Fan Çalışma Hızı is Hızlı

If Sıcaklık is Yetersiz AND Nem is Çok Fazla AND CO₂ is Normal then Fan Çalışma Hızı is Orta

If Sıcaklık is Yetersiz AND Nem is Çok Fazla AND CO₂ is Fazla then Fan Çalışma Hızı is Orta

If Sıcaklık is Yetersiz AND Nem is Çok Fazla AND CO₂ is Çok Fazla then Fan Çalışma Hızı is Yavaş

If Sıcaklık is Normal AND Nem is Çok Yetersiz AND CO₂ is Çok Yetersiz then Fan Çalışma Hızı is Hızlı

If Sıcaklık is Normal AND Nem is Çok Yetersiz AND CO₂ is Yetersiz then Fan Çalışma Hızı is Hızlı

If Sıcaklık is Normal AND Nem is Çok Yetersiz AND CO₂ is Normal then Fan Çalışma Hızı is Orta

If Sıcaklık is Normal AND Nem is Çok Yetersiz AND CO₂ is Fazla then Fan Çalışma Hızı is Orta

If Sıcaklık is Normal AND Nem is Çok Yetersiz AND CO₂ is Çok Fazla then Fan Çalışma Hızı is Yavaş

If Sıcaklık is Normal AND Nem is Yetersiz AND CO₂ is Çok Yetersiz then Fan Çalışma Hızı is Hızlı

If Sıcaklık is Normal AND Nem is Yetersiz AND CO₂ is Yetersiz then Fan Çalışma Hızı is Hızlı

If Sıcaklık is Normal AND Nem is Yetersiz AND CO₂ is Normal then Fan Çalışma Hızı is Orta

If Sıcaklık is Normal AND Nem is Yetersiz AND CO₂ is Fazla then Fan Çalışma Hızı is Orta

If Sıcaklık is Normal AND Nem is Yetersiz AND CO₂ is Çok Fazla then Fan Çalışma Hızı is Yavaş

If Sıcaklık is Normal AND Nem is Normal AND CO₂ is Çok Yetersiz then Fan Çalışma Hızı is Hızlı

If Sıcaklık is Normal AND Nem is Normal AND CO₂ is Yetersiz then Fan Çalışma Hızı is Hızlı

If Sıcaklık is Normal AND Nem is Normal AND CO₂ is Normal then Fan Çalışma Hızı is Orta

If Sıcaklık is Normal AND Nem is Normal AND CO₂ is Fazla then Fan Çalışma Hızı is Orta

If Sıcaklık is Normal AND Nem is Normal AND CO₂ is Çok Fazla then Fan Çalışma Hızı is Yavaş

If Sıcaklık is Normal AND Nem is Fazla AND CO₂ is Çok Yetersiz then Fan Çalışma Hızı is Hızlı

If Sıcaklık is Normal AND Nem is Fazla AND CO₂ is Yetersiz then Fan Çalışma Hızı is Hızlı

If Sıcaklık is Normal AND Nem is Fazla AND CO₂ is Normal then Fan Çalışma Hızı is Orta

If Sıcaklık is Normal AND Nem is Fazla AND CO₂ is Fazla then Fan Çalışma Hızı is Orta

If Sıcaklık is Normal AND Nem is Fazla AND CO₂ is Çok Fazla then Fan Çalışma Hızı is Yavaş

If Sıcaklık is Normal AND Nem is Çok Fazla AND CO₂ is Çok Yetersiz then Fan Çalışma Hızı is Hızlı

If Sıcaklık is Normal AND Nem is Çok Fazla AND CO₂ is Yetersiz then Fan Çalışma Hızı is Hızlı

If Sıcaklık is Normal AND Nem is Çok Fazla AND CO₂ is Normal then Fan Çalışma Hızı is Orta

If Sıcaklık is Normal AND Nem is Çok Fazla AND CO₂ is Fazla then Fan Çalışma Hızı is Orta

If Sıcaklık is Normal AND Nem is Çok Fazla AND CO₂ is Çok Fazla then Fan Çalışma Hızı is Yavaş

If Sıcaklık is Fazla AND Nem is Çok Yetersiz AND CO₂ is Çok Yetersiz then Fan Çalışma Hızı is Hızlı

If Sıcaklık is Fazla AND Nem is Çok Yetersiz AND CO₂ is Yetersiz then Fan Çalışma Hızı is Hızlı

If Sıcaklık is Fazla AND Nem is Çok Yetersiz AND CO₂ is Normal then Fan Çalışma Hızı is Orta

If Sıcaklık is Fazla AND Nem is Çok Yetersiz AND CO₂ is Fazla then Fan Çalışma Hızı is Orta

If Sıcaklık is Fazla AND Nem is Çok Yetersiz AND CO₂ is Çok Fazla then Fan Çalışma Hızı is Yavaş

If Sıcaklık is Fazla AND Nem is Yetersiz AND CO₂ is Çok Yetersiz then Fan Çalışma Hızı is Hızlı

If Sıcaklık is Fazla AND Nem is Yetersiz AND CO₂ is Yetersiz then Fan Çalışma Hızı is Hızlı

If Sıcaklık is Fazla AND Nem is Yetersiz AND CO₂ is Normal then Fan Çalışma Hızı is Orta

If Sıcaklık is Fazla AND Nem is Yetersiz AND CO₂ is Fazla then Fan Çalışma Hızı is Orta

If Sıcaklık is Fazla AND Nem is Yetersiz AND CO₂ is Çok Fazla then Fan Çalışma Hızı is Yavaş

If Sıcaklık is Fazla AND Nem is Normal AND CO₂ is Çok Yetersiz then Fan Çalışma Hızı is Hızlı

If Sıcaklık is Fazla AND Nem is Normal AND CO₂ is Yetersiz then Fan Çalışma Hızı is Hızlı

If Sıcaklık is Fazla AND Nem is Normal AND CO₂ is Normal then Fan Çalışma Hızı is Orta

If Sıcaklık is Fazla AND Nem is Normal AND CO₂ is Fazla then Fan Çalışma Hızı is Orta

If Sıcaklık is Fazla AND Nem is Normal AND CO₂ is Çok Fazla then Fan Çalışma Hızı is Yavaş

If Sıcaklık is Fazla AND Nem is Fazla AND CO₂ is Çok Yetersiz then Fan Çalışma Hızı is Hızlı

If Sıcaklık is Fazla AND Nem is Fazla AND CO₂ is Yetersiz then Fan Çalışma Hızı is Hızlı

If Sıcaklık is Fazla AND Nem is Fazla AND CO₂ is Normal then Fan Çalışma Hızı is Orta

If Sıcaklık is Fazla AND Nem is Fazla AND CO₂ is Fazla then Fan Çalışma Hızı is Orta

If Sıcaklık is Fazla AND Nem is Fazla AND CO₂ is Çok Fazla then Fan Çalışma Hızı is Yavaş

If Sıcaklık is Fazla AND Nem is Çok Fazla AND CO₂ is Çok Yetersiz then Fan Çalışma Hızı is Hızlı

If Sıcaklık is Fazla AND Nem is Çok Fazla AND CO₂ is Yetersiz then Fan Çalışma Hızı is Hızlı

If Sıcaklık is Fazla AND Nem is Çok Fazla AND CO₂ is Normal then Fan Çalışma Hızı is Orta

If Sıcaklık is Fazla AND Nem is Çok Fazla AND CO₂ is Fazla then Fan Çalışma Hızı is Orta

If Sıcaklık is Fazla AND Nem is Çok Fazla AND CO₂ is Çok Fazla then Fan Çalışma Hızı is Yavaş

If Sıcaklık is Çok Fazla AND Nem is Çok Yetersiz AND CO₂ is Çok Yetersiz then Fan Çalışma Hızı is Hızlı

If Sıcaklık is Çok Fazla AND Nem is Çok Yetersiz AND CO₂ is Yetersiz then Fan Çalışma Hızı is Hızlı

If Sıcaklık is Çok Fazla AND Nem is Çok Yetersiz AND CO₂ is Normal then Fan Çalışma Hızı is Orta

If Sıcaklık is Çok Fazla AND Nem is Çok Yetersiz AND CO₂ is Fazla then Fan Çalışma Hızı is Orta

If Sıcaklık is Çok Fazla AND Nem is Çok Yetersiz AND CO₂ is Çok Fazla then Fan Çalışma Hızı is Yavaş

If Sıcaklık is Çok Fazla AND Nem is Yetersiz AND CO₂ is Çok Yetersiz then Fan Çalışma Hızı is Hızlı

If Sıcaklık is Çok Fazla AND Nem is Yetersiz AND CO₂ is Yetersiz then Fan Çalışma Hızı is Hızlı

If Sıcaklık is Çok Fazla AND Nem is Yetersiz AND CO₂ is Normal then Fan Çalışma Hızı is Orta

If Sıcaklık is Çok Fazla AND Nem is Yetersiz AND CO₂ is Fazla then Fan Çalışma Hızı is Orta

If Sıcaklık is Çok Fazla AND Nem is Yetersiz AND CO₂ is Çok Fazla then Fan Çalışma Hızı is Yavaş

If Sıcaklık is Çok Fazla AND Nem is Normal AND CO₂ is Çok Yetersiz then Fan Çalışma Hızı is Hızlı

If Sıcaklık is Çok Fazla AND Nem is Normal AND CO₂ is Yetersiz then Fan Çalışma Hızı is Hızlı

If Sıcaklık is Çok Fazla AND Nem is Normal AND CO₂ is Normal then Fan Çalışma Hızı is Orta

If Sıcaklık is Çok Fazla AND Nem is Normal AND CO₂ is Fazla then Fan Çalışma Hızı is Orta

If Sıcaklık is Çok Fazla AND Nem is Normal AND CO₂ is Çok Fazla then Fan Çalışma Hızı is Yavaş

If Sıcaklık is Çok Fazla AND Nem is Fazla AND CO₂ is Çok Yetersiz then Fan Çalışma Hızı is Hızlı

If Sıcaklık is Çok Fazla AND Nem is Fazla AND CO₂ is Yetersiz then Fan Çalışma Hızı is Hızlı

If Sıcaklık is Çok Fazla AND Nem is Fazla AND CO₂ is Normal then Fan Çalışma Hızı is Orta

If Sıcaklık is Çok Fazla AND Nem is Fazla AND CO₂ is Fazla then Fan Çalışma Hızı is Orta

If Sıcaklık is Çok Fazla AND Nem is Fazla AND CO₂ is Çok Fazla then Fan Çalışma Hızı is Yavaş

If Sıcaklık is Çok Fazla AND Nem is Çok Fazla AND CO₂ is Çok Yetersiz then Fan Çalışma Hızı is Hızlı

If Sıcaklık is Çok Fazla AND Nem is Çok Fazla AND CO₂ is Yetersiz then Fan Çalışma Hızı is Hızlı

If Sıcaklık is Çok Fazla AND Nem is Çok Fazla AND CO₂ is Normal then Fan Çalışma Hızı is Orta

If Sıcaklık is Çok Fazla AND Nem is Çok Fazla AND CO₂ is Fazla then Fan Çalışma Hızı is Orta

If Sıcaklık is Çok Fazla AND Nem is Çok Fazla AND CO₂ is Çok Fazla then Fan Çalışma Hızı is Yavaş

EC KURALLARI

If E.C. is Çok Yetersiz AND pH Çok Yetersiz THAN Motor Çalışma Hızı is Hızlı

If E.C. is Çok Yetersiz AND pH Yetersiz THAN Motor Çalışma Hızı is Orta

If E.C. is Çok Yetersiz AND pH Normal THAN Motor Çalışma Hızı is Orta

If E.C. is Çok Yetersiz AND pH Fazla THAN Motor Çalışma Hızı is Yavaş

If E.C. is Çok Yetersiz AND pH Çok Fazla THAN Motor Çalışma Hızı is Yavaş

If E.C. is Yetersiz AND pH Çok Yetersiz THAN Motor Çalışma Hızı is Hızlı

If E.C. is Yetersiz AND pH Yetersiz THAN Motor Çalışma Hızı is Orta

If E.C. is Yetersiz AND pH Normal THAN Motor Çalışma Hızı is Orta

If E.C. is Yetersiz AND pH Fazla THAN Motor Çalışma Hızı is Yavaş

If E.C. is Yetersiz AND pH Çok Fazla THAN Motor Çalışma Hızı is Yavaş

If E.C. is Normal AND pH Çok Yetersiz THAN Motor Çalışma Hızı is Hızlı

If E.C. is Normal AND pH Yetersiz THAN Motor Çalışma Hızı is Orta

If E.C. is Normal AND pH Normal THAN Motor Çalışma Hızı is Orta

If E.C. is Normal AND pH Fazla THAN Motor Çalışma Hızı is Yavaş

If E.C. is Normal AND pH Çok Fazla THAN Motor Çalışma Hızı is Yavaş

If E.C. is Fazla AND pH Çok Yetersiz THAN Motor Çalışma Hızı is Hızlı

If E.C. is Fazla AND pH Yetersiz THAN Motor Çalışma Hızı is Orta

If E.C. is Fazla AND pH Normal THAN Motor Çalışma Hızı is Orta

If E.C. is Fazla AND pH Fazla THAN Motor Çalışma Hızı is Yavaş

If E.C. is Fazla AND pH Çok Fazla THAN Motor Çalışma Hızı is Yavaş

If E.C. is Çok Fazla AND pH Çok Yetersiz THAN Motor Çalışma Hızı is Hızlı

If E.C. is Çok Fazla AND pH Yetersiz THAN Motor Çalışma Hızı is Orta

If E.C. is Çok Fazla AND pH Normal THAN Motor Çalışma Hızı is Orta

If E.C. is Çok Fazla AND pH Fazla THAN Motor Çalışma Hızı is Yavaş

If E.C. is Çok Fazla AND pH Çok Fazla THAN Motor Çalışma Hızı is Yavaş

PH KURALLARI

If pH is Çok Yetersiz AND EC Çok Yetersiz THAN Motor Çalışma Hızı is Hızlı

If pH is Çok Yetersiz AND EC Yetersiz THAN Motor Çalışma Hızı is Orta

If pH is Çok Yetersiz AND EC Normal THAN Motor Çalışma Hızı is Orta

If pH is Çok Yetersiz AND EC Fazla THAN Motor Çalışma Hızı is Yavaş

If pH is Çok Yetersiz AND EC Çok Fazla THAN Motor Çalışma Hızı is Yavaş

If pH. is Yetersiz AND EC Çok Yetersiz THAN Motor Çalışma Hızı is Hızlı

If pH is Yetersiz AND EC Yetersiz THAN Motor Çalışma Hızı is Orta

If pH is Yetersiz AND EC Normal THAN Motor Çalışma Hızı is Orta

If pH is Yetersiz AND EC Fazla THAN Motor Çalışma Hızı is Yavaş

If pH is Yetersiz AND EC Çok Fazla THAN Motor Çalışma Hızı is Yavaş

If pH. is Normal AND EC Çok Yetersiz THAN Motor Çalışma Hızı is Hızlı

If pH is Normal AND EC Yetersiz THAN Motor Çalışma Hızı is Orta

If pH is Normal AND EC Normal THAN Motor Çalışma Hızı is Orta

If pH is Normal AND EC Fazla THAN Motor Çalışma Hızı is Yavaş

If pH is Normal AND EC Çok Fazla THAN Motor Çalışma Hızı is Yavaş

If pH is Fazla AND EC Çok Yetersiz THAN Motor Çalışma Hızı is Hızlı

If pH is Fazla AND EC Yetersiz THAN Motor Çalışma Hızı is Orta

If pH is Fazla AND EC Normal THAN Motor Çalışma Hızı is Orta

If pH is Fazla AND EC Fazla THAN Motor Çalışma Hızı is Yavaş

If pH is Fazla AND EC Çok Fazla THAN Motor Çalışma Hızı is Yavaş

If pH is Çok Fazla AND EC Çok Yetersiz THAN Motor Çalışma Hızı is Hızlı

If pH is Çok Fazla AND EC Yetersiz THAN Motor Çalışma Hızı is Orta

If pH is Çok Fazla AND EC Normal THAN Motor Çalışma Hızı is Orta

If pH is Çok Fazla AND EC Fazla THAN Motor Çalışma Hızı is Yavaş

If pH is Çok Fazla AND EC Çok Fazla THAN Motor Çalışma Hızı is Yavaş