



T.C
OSTİM TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YAZILIM MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS PROGRAMI

YAPAY ZEKA TABANLI AKILLI SERA SİSTEMİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZIRLAYAN
JAVİD RZAYEV

TEZ DANIŞMANI
Prof. Dr. Serdar MÜLDÜR
Dr. Öğr. Üyesi Cengiz SERTKAYA

ANKARA-2023

TEZ KABUL VE ONAY

Javid RZAYEV tarafından hazırlanan “YAPAY ZEKA TABANLI AKILLI SERA SİSTEMİ.” başlıklı bu çalışma, .././20.. tarihinde yapılan savunma sınavı sonucunda başarılı bulunarak jürimiz tarafından Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Kabul Tarihi:...../...../.....

Jüri Üyesi:

Unvanı Adı SOYADI

Ufuk Üniversitesi

**Prof. Dr.
Alaattin PARLAKKILIÇ**

Jüri Üyesi:

Unvanı Adı SOYADI

Ostim Teknik Üniversitesi

**Dr. Öğr. Üyesi
Yücel TEKİN**

Jüri Üyesi:

Unvanı Adı SOYADI

Ostim Teknik Üniversitesi

**Dr. Öğr. Üyesi
Mesut ÜNLÜ**

Tez Danışmanı:

Unvanı Adı SOYADI

Ostim Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Serdar MÜLDÜR

İkinci Danışman:

Unvanı Adı SOYADI

İstanbul Topkapı Üniversitesi

**Dr. Öğr. Üyesi
Cengiz SERTKAYA**

ONAY

Jüri tarafından kabul edilen bu çalışmanın Yüksek Lisans/Doktora Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

...../...../20....

Unvanı Adı SOYADI
Enstitü Müdürü Dr. Öğr. Üyesi Hikmet BAL

BİLDİRİM

Enstitü tarafından onaylanan Yüksek Lisans tezimin tamamını veya herhangi bir kısmını basılı veya dijital biçimde arşivleme ve aşağıda belirtilen koşullar dahilinde erişime açma iznini Ostim Teknik Üniversitesine verdiğimi bildiririm. Bu izinle, Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet haklarım bende kalacak ve gelecekteki çalışmalar (makale, kitap, lisans, patent vb.) için tezimin tamamının veya bir bölümünün kullanım hakları yalnızca bana ait olacaktır.

Tezimin bütünüyle kendi çalışmam olduğunu, başkalarının haklarını ihlal etmediğimi ve tezimin tek yetkili sahibi olduğumu beyan ve taahhüt ederim. Telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izinle kullanılması zorunlu olan kaynakları, yazılı izin alarak kullandığımı ve istenildiğinde izinlerin suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederim.

Yükseköğretim Kurulu tarafından yayımlanan “Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge” kapsamında, tezim, aşağıda belirtilen koşullar haricince, YÖK Ulusal Tez Merkezi ve Ostim Teknik Üniversitesi Açık Erişim Sisteminde erişime açılır.

☐ Enstitü / Fakülte Yönetim Kurulu kararı ile tezimin erişime açılması mezuniyet tarihimden itibaren 2 yıl ertelenmiştir.¹

☐ Enstitü / Fakülte Yönetim Kurulunun gerekçeli kararı ile tezimin erişime açılması mezuniyet tarihimden itibaren ... ay en fazla 6 ay ertelenmiştir.²

☐ Tezimle ilgili gizlilik kararı verilmiştir.³⁴

Tarih

İmza

¹ MADDE 6(1) Lisansüstü teze ilgili patent başvurusu yapılması veya patent alma sürecinin devam etmesi durumunda, tez danışmanının önerisi ve enstitü anabilim dalının uygun görüşü üzerine enstitü veya fakülte yönetim kurulu iki yıl süre ile tezin erişime açılmasının ertelenmesine karar verebilir.

² MADDE 6(2) Yeni teknik, materyal ve metotların kullanıldığı, henüz makaleye dönüşmemiş veya patent gibi yöntemlerle korunmamış ve internetten paylaşılması durumunda 3. şahıslara veya kurumlara haksız kazanç imkanı oluşturabilecek bilgi ve bulguları içeren tezler hakkında tez danışmanının önerisi ve enstitü anabilim dalının uygun görüşü üzerine enstitü veya fakülte yönetim kurulunun gerekçeli kararı ile altı ayı aşmamak üzere tezin erişime açılması engellenebilir.

³ MADDE 7(1) Ulusal çıkarları veya güvenliği ilgilendiren, emniyet, istihbarat, savunma ve güvenlik, sağlık vb. konulara ilişkin lisansüstü tezlerle ilgili gizlilik kararı, tezin yapıldığı kurum tarafından verilir. Kurum ve kuruluşlarla yapılan işbirliği protokolü çerçevesinde hazırlanan lisansüstü tezlere ilişkin gizlilik kararı ise, ilgili kurum ve kuruluşun önerisi ile enstitü veya fakültenin uygun görüşü üzerine üniversite yönetim kurulu tarafından verilir. Gizlilik kararı verilen tezler Yükseköğretim Kuruluna bildirilir.

⁴ MADDE 7(2) Gizlilik kararı verilen tezler gizlilik süresince enstitü veya fakülte tarafından gizlilik kuralları çerçevesinde muhafaza edilir, gizlilik kararının kaldırılması halinde Tez Otomasyon Sistemine yüklenir.

OSTİM TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ YÜKSEK LİSANS / DOKTORA TEZİ
ORİJİNALLİK RAPORU

Tezin Başlığı: YAPAY ZEKA TABANLI AKILLI SERA SİSTEMİ

Öğrencinin Adı, Soyadı: Javid RZAYEV

Tez Danışmanın Unvanı/Adı, Soyadı: Prof. Dr. Serdar MÜLDÜR

Anabilim Dalı: Yazılım Mühendisliği

Programı: Yüksek Lisans

Tarih: 21 / 06 / 2023

Yukarıda başlığı belirtilen Yüksek Lisans tez çalışmama ait Giriş, Ana Bölümler ve Sonuç kısmından oluşan ve toplam 89 sayfadan ibaret olan kısmı, 03 / 07/ 2023 tarihinde tez danışmanım tarafından Turnitin intihal tespit programında incelenmiştir. Orijinallik raporunda aşağıda ifade edilen filtrelemeler uygulanmıştır.

Orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 8'dir.

Uygulanan filtrelemeler:

1. Kaynakça (hariç)
2. Alıntılar (hariç)
3. Beş (5) kelimeden daha az örtüşme içeren metin kısımları (hariç)

Tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Öğrencinin İmzası:

ONAY

Tarih: 21 / 06/ 2023

Danışmanın Unvanı, Adı, Soyadı, İmzası

Prof. Dr. Serdar MÜLDÜR

ETİK BEYAN

Bu çalışmanın özgün bir çalışma olduğunu, çalışmanın hazırlık, veri toplama, analiz, bilgilerin sunumu ve diğer tüm aşamalarında bilimsel etik ve kurallara uygun davrandığımı, çalışmada bulunan tüm belge bilgileri akademik etik ve kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, görsel, işitsel ve yazılı bütün bilgileri ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu, kullanmış olduğum verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı, yararlandığım kaynaklara bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu, tezimin kaynak gösterdiğim durumlar dışında tarafımdan kaleme alındığını ve özgün olduğunu, 1. Tez danışmanım Prof. Dr. Serdar MÜLDÜR ve 2. Tez danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Cengiz SERTKAYA danışmanlığında ve tarafımdan üretildiğini ve OSTİM Teknik Üniversitesi Tez Yazım Kılavuzuna uygun olarak yazıldığını beyan ederim.

Öğrencinin İmzası

Öğrencinin Adı Soyadı: Javid RZAYEV

Tarih: 21 / 06 / 2023

TEŞEKKÜR

Başta, bu süreçte maddi ve manevi desteğini benden esirgemeyen canım aileme sonsuz teşekkür ve minnettarlığımı bildirmekteyim. Aynı zamanda tez sürecinde yardımlarını benden esirgemeyen değerli hocalarım, başta Dr. Öğr. Üyesi Cengiz SERTKAYA ve Prof. Dr. Serdar MÜLDÜR olmakla, destek veren tüm hocalara sonsuz teşekkür ve minnettarlığımı bildirmekteyim.

Tarih: 21 / 06 / 2023

Ad SOYAD Javid RZAYEV



ÖZ

Yazar Adı ve Soyadı : Javid RZAYEV
Üniversite : OSTİM Teknik Üniversitesi
Enstitü : Fen Bilimleri Enstitüsü
Program Adı : Yazılım Mühendisliği
Tezin Türü : Yüksek Lisans Tezi
Sayfa Sayısı : 89
Tarihi : 2023

YAPAY ZEKA TABANLI AKILLI SERA SİSTEMİ

Dünyada, insanların besin değerleri tarımsal ürünlerle sağlanmaktadır. İnsan nüfuzunun artımı, iklim şartlarının zorluğu tarımsal ürünlerin yetiştirilmesini zorlaştırmaktadır. Yaşanan problemler, dünyada tarımsal ürünlerin kıtlığına yol açmaktadır. Bu problemler sera tarımının gelişmesine olanak sağlamıştır. Seralar vasıtasıyla, farklı iklim mensubuna sahip olan tarımsal ürünlerin yetiştirilmesi mümkün olmuştur. Yayılmakta olan sera tarımının problemleri de artmaktaydı. Seralarda, tarımsal ürünler için gerekli olan iklimin doğru şekilde izlenilmesi ve sağlanması önemli problemlerden biri olmaktaydı. Bu problemlerin aradan kaldırılması için, akıllı sera sistemleri, akıllı iklim kontrolü ve yapay zeka ve tarım gibi teknolojik çalışmalar ortaya çıkmıştır.

Bu çalışmada, seralarda tarımsal ürünler için gerekli iklimin izlenmesi ve sağlanması için Yapay Zeka Tabanlı Akıllı Sera Sistemi yapılmıştır. Sistemin yapılışında ortam değerleri elde etmek için farklı sensörler ve gerekli ortamın sağlanması için bileşenler kullanılmıştır. Sensör ve bileşenlerin elektronik bağlantısı Arduino Mega 2560 mikrodenetleyicisi üzerine kurulmuştur. Sistemin yazılımı için Arduino IDE ve C# programlama dilleri kullanılmıştır. Yapay Zeka yazılımı için ise C# programlama dilinde bulunan ML.NET kütüphanesi kullanılmıştır. Veri seti eğitimleri, Averaged Perceptron Ova, Fast Forest Ova, Fast Tree Ova, LightGbmMulti ve SDCA Maximum Entropy Multi modelleri ile yapılmıştır. Isıtıcı veri seti için en başarılı başarı sonucu 100% oranla, SDCA Maximum Entropy Multi

modeliyle elde edilmiştir. Nem kontrolü veri seti için en başarılı başarı sonucu 100% oranla, Averaged Perceptron Ova modeliyle elde edilmiştir. Aydınlatma veri seti için en başarılı başarı sonucu 100% oranla, Averaged Perceptron Ova modeliyle elde edilmiştir. Sulama veri seti için en başarılı başarı sonucu 100% oranla, SDCA Maximum Entropy Multi modeliyle elde edilmiştir. CO₂ kontrolü veri seti için en başarılı başarı sonucu 100% oranla, SDCA Maximum Entropy Multi modeliyle elde edilmiştir. Havalandırma veri seti için ise en başarılı başarı sonucu 100% oranla, Fast Tree Ova modeliyle elde edilmiştir.

Anahtar Sözcükler: Yapay Zeka, Akıllı Sera, Otomasyon, Arduino, ML.NET



ABSTRACT

Thesis : Javid RZAYEV
University : OSTİM Technical University
Institute : Graduate School of Natural and Applied Sciences
Program's Name : Software Engineer
Thesis Type: : Master
Pages : 89
Year : 2023

ARTTIFICIAL INTELLIGENCE BASED SMART GREENHOUSE SYSTEM

In the world, the nutritional values of people are provided by agricultural products. The increase in human influence and the difficulty of climatic conditions make it difficult to grow agricultural products. The problems experienced cause the shortage of agricultural products in the world. These problems have allowed the development of greenhouse agriculture. It has been possible to grow agricultural products with different climate members through greenhouses. The problems of expanding greenhouse agriculture were also increasing. In greenhouses, the correct monitoring and provision of the climate required for agricultural products was one of the important problems. In order to eliminate these problems, technological studies such as smart greenhouse systems, smart climate control and artificial intelligence and agriculture have emerged.

In this study, an Artificial Intelligence-based Smart Greenhouse system was built to monitor and provide the necessary climate for agricultural products in greenhouses. In the construction of the system, different sensors were used to obtain ambient values and components to provide the necessary environment. The electronic connection of the sensor and its components is built on the Arduino Mega 2560 microcontroller. Arduio IDE and C# programming languages were used for the software of the system. For Artificial Intelligence software, ML.NET library in C# programming language was used. Data set trainings were made with Averaged Perceptron Ova, Fast Forest Ova, Fast Tree Ova, LightGbmMulti and SDCA Maximum Entropy Multi models. The most successful result for the heater data set

was obtained with the SDCA Maximum Entropy Multi model with 100% rate. The most successful result for the humidity control dataset was obtained with the Averaged Perceptron Ova model with a 100% ratio. The most successful result for the lighting dataset was obtained with the Averaged Perceptron Ova model with 100% ratio. The most successful result for the irrigation data set was obtained with the SDCA Maximum Entropy Multi model with 100% rate. The most successful result for the CO2 control dataset was obtained with the SDCA Maximum Entropy Multi model with 100% ratio. For the ventilation dataset, the most successful result was obtained with the Fast Tree Ova model with 100% rate.

Keywords: Artificial Intelligence, Smart Greenhouse, Automation, Arduino, ML.NET



İÇİNDEKİLER

TEZ KABUL VE ONAY	i
BİLDİRİM.....	ii
ETİK BEYAN	iv
TEŞEKKÜR	v
ÖZ.....	vi
ABSTRACT	viii
TABLolar DİZİNİ.....	xii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR	xv
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR İNCELEMESİ.....	5
2.1. Seralarda kullanılan, IOT ve diğer teknolojik mimariler.....	5
2.2. Yapay Zeka tabanlı yapılan çalışmalar.....	18
3. MATERYAL ve YÖNTEM	27
3.1. Problemin Tanımı	28
3.2. Veri Seti.....	28
3.3. Mikrodenetleyici Kart ve Elektronik Bileşenler.....	34
3.4.Yöntemler	42
3.4.1. Ortalamalı Algılayıcı (Averaged Perceptron Ova)	41
3.4.2.Fast Forest Ova.....	44
3.4.3. Fast Tree Ova	45
3.4.4. LightGbmMulti.....	46
3.4.5. Sdca Maximum Entropy Multi	49
3.5. Yapay zeka tabanlı akıllı sera sistemi	50

4. BULGULAR ve TARTIŞMA	54
4.1. Isıtıcı	54
4.2. Nem Kontrolü	55
4.3. Aydınlatma	55
4.4. Sulama	56
4.5. CO ₂ Kontrolü	56
4.6. Havalandırma	57
5. SONUÇ	58
KAYNAKLAR.....	61
ÖZGEÇMİŞ	72

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 3.1. Veri seti	28
Tablo 3.2. Niteliklerin açıklaması	29
Tablo 3.3. İdeal değerler.....	29
Tablo 3.4. Isıtıcı veri seti	30
Tablo 3.5. Nem kontrolü veri seti.....	30
Tablo 3.6. Aydınlatma veri seti	31
Tablo 3.7. Sulama veri seti	31
Tablo 3.8. CO ₂ kontrolü veri seti.....	32
Tablo 3.9. Havalandırma veri seti	32
Tablo 3.10. Arduino Mega özellikleri [73].....	34
Tablo 4.1. Isıtıcı modelleri ve eğitim sonuçları.....	55
Tablo 4.2. Nem modelleri ve eğitim sonuçları	55
Tablo 4.3. Aydınlatma modelleri ve eğitim sonuçları	55
Tablo 4.4. Sulama modelleri ve eğitim sonuçları.....	56
Tablo 4.5. CO ₂ modelleri ve eğitim sonuçları	56
Tablo 4.6. Havalandırma modelleri ve eğitim sonuçları	57

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Akıllı sera için önerilen sistemin katmanları [10].	6
Şekil 2.2. IOT tabanlı sera sisteminin çerçevesi [11].	6
Şekil 2.3. SGHM şeması [18].	8
Şekil 2.4. Akıllı sera içinde bilgi akışı [21].	10
Şekil 2.5. Akıllı bir serada anormallik algılama örneği [24].	12
Şekil 2.6. Klasik ısıtma ve kök ısıtma arasındaki fark [32].	14
Şekil 2.7. PID kontrollü aydınlatma sistemi [40].	16
Şekil 2.8. Akış diyagramı [42].	17
Şekil 2.9. PLC akış diyagramı [43].	18
Şekil 2.10. Görüntü işleme prosedürü [44].	18
Şekil 2.11. Pirinç Hastalığı Dedektörü [45].	19
Şekil 2.12. Arayüz programı [64].	23
Şekil 2.13. Akış diyagramı [66].	24
Şekil 2.14. Çalışma akış şeması [67].	25
Şekil 2.15. Sistemin blok diyagramı [68].	25
Şekil 2.16. Sıcaklık için PID kontrol [71].	26
Şekil 2.17. Çalışmanın akış diyagramı [72].	27
Şekil 3.1. Nitelikleringrafikleri.	33
Şekil 3.2. Arduino Mega [73].	34
Şekil 3.3. Toprak nem sensörü [74].	35
Şekil 3.4. DHT11 sıcaklık ven nem sensörü [75].	36
Şekil 3.5. LDR sensörü [76].	36
Şekil 3.6. MQ-135 sensörü [77].	37
Şekil 3.7. DS3231 saat modülü [78].	37
Şekil 3.8. HC05 bluetooth modülü [79].	38

Şekil 3.9. Dc fan [80].	38
Şekil 3.10. Buhar piezosu [81].	39
Şekil 3.11. Su motoru [82].	39
Şekil 3.12. Şerit led [83].	39
Şekil 3.13. L298N motor sürücü ve çevirici [84].	40
Şekil 3.14. Isıtıcı ped [85].	40
Şekil 3.15. SD kart modülü [86].	41
Şekil 3.16. Sistemin fritzing şeması	41
Şekil 3.17. Biyolojik nöronun şeması [87].	42
Şekil 3.18. İkili sınıflandırma için doğrusal karar sınırı örneği [88].	42
Şekil 3.19. Rosenblatt algılayıcısının şeması [88].	43
Şekil 3.20. Averaged Perceptron Ova örnek kod [91].	44
Şekil 3.21. Fast Forest Ova algoritmasının grafiği [94].	45
Şekil 3.22. LightGbmMulti örnek kod [98].	47
Şekil 3.23. Histogram tabanlı karar ağacı algoritması [99].	48
Şekil 3.24. Seviye-bilge ve yaprak-bilge ağaç yapısı [100].	48
Şekil 3.25. Auto ML çalışma şeması	51
Şekil 3.26. Arayüz Programı	52
Şekil 3.27. Sera sistemi	53

SİMGELER VE KISALTMALAR

IOT	Nesnelerin İnterneti
CO ₂	Karbondioksit
VTs	Veri Toplama Sistemi
MAY	Merkezi Aktüatör Yöneticisi
KDS	Karar Destek Sistemi
DLT	Dağıtılmış Defter Teknolojisi
SGHM	Akıllı Sera Entegre Mikro Şebeke
SMS	Kısa Mesaj Servisi
LCP	Hafif Akıllı Sera için Kontrol Protokolü
AUG	Otomatik Kentsel Sera
WSN	Kablosuz Sensör Ağı
WUD	Ekin Su Alma Derinliği
LoRa	Uzun Menzil
PID	Oransal-İntegral-Türev
CNN	Evrişimli Sinir Ağları
YSA	Yapay Sinir Ağı
COMAX	Pamuk Yönetim Uzmanı
MLFANN	Çok Katmanlı İleri Beslemeli Yapay Sinir Ağı
GDA	Gradyan İniş Algoritma
CGDA	Eşlenik Gradyan İniş Algoritması
MCA-NN	Sinir Ağı Tabanlı Çok Değişkenli Yazışma Analizi
LightGBM	Hafif Degrade Arttırma Makinesi
GBDT	Degrade Arttırma Karar Ağacı
BP	Geri Yayılma
RNN	Tekrarlayan Sinir Ağı
Xgboost	Aşırı Degrade Arttırma
SGB	Stokastik Degrade Yükseltme
KDE	Çekirdek Yoğunluk Tahmini
PCA	Temel Bileşen Analizi
MLP	Çok Katmanlı Algılayıcı
BPNN	Geri Yayımlı Sinir Ağı

ANFIS	Uyarlanabilir Bir Nöro Bulanık Çıkarım Sistemi
PSO	Parçacık Sürü Optimizasyonu
İDE	Entegre Geliştirme Ortamı
MART	Çoklu Eklemeli Regresyon Ağacı
GOSS	Gradyan Tabanlı Tek Taraflı Örneklem
EFB	Özel Özellik Gruplaması
SDCA	Stokastik İkili Koordinat Yükselme Algoritması
C#	Programlama dili
MAPE-K	Paylaşılan bir Bilgi üzerinden İzle–Analiz Et–Planla–Uygula
DDT	Dağıtılmış Defter Teknolojisi
MQTT	Message Queuing Telemetry Aktarımı
FIS	Bulanık Çıkarım Sistemi
CPU	Merkezi İşlem Birimi
PLC	Programlanabilir Mantık Denetleyicisi

1. GİRİŞ

Seralar, bitkilerin büyümesi için kontrollü bir ortam sağlayan, cam, plastik ve fiberglastan oluşan yapı olmaktadır. Seralarda mevsiminden kenar bitkilerin aşırı soğuktan veya aşırı sıcaktan korunarak yetiştirilmesi mümkün olmaktadır. Boyutlarına göre seralar, birkaç bitkinin bulunduğu barakadan ve aynı zamanda hektarları kaplayan büyük binalara kadar değişmektedir. Bitkiler için elverişli ortam sağlayan seralar vasıtasıyla, ekilebilir olmayan arazilerin ekilebilir arazilere dönüştürülmesi mümkün olmuştur [1].

İlk seralar, tropik bölgelerden getirilen egzotik bitkileri barındırmak için on altıncı yüzyılda İtalya'da inşa edilmiştir. Giardini Botanici olarak adlandırılan sera kavramı, kısa sürede Hollanda'ya ve ardından İngiltere'ye yayılmıştır. Jules Charles, tıbbi tropikal bitkileri yetiştirmek için Hollanda'nın Leiden kentinde ilk pratik ve modern serayı inşa etmesiyle tanınmıştır [1].

En büyük seralar, on dokuzuncu yüzyıldan inşa edilmeğe başlanmıştır. Hem bahçecilik hem de sergi için tasarlanmış İngiltere'deki Kew Gardens'taki konservatuar, Viktorya serasının en önemli örneği olmuştur. Bu seralar arasında, Londra'daki Crystal Palace, New York Crystal Palace ve Münih'teki Glaspalast yer almaktadır [1].

Sera tarımının en önemli faydalarından biri çiftçilerin üretim sezonlarını uzatmasına olanak sağlamasıdır. Bu, dışarıdaki hava nasıl olursa olsun yıl boyunca mahsul üretebilecekleri anlamına gelmektedir. Bu sadece gıda üretimini ve mevcudiyetini artırmakla kalmıyor, aynı zamanda çiftçilerin mahsullerini çeşitlendirmesine olanak tanıyarak, hava koşullarına veya haşerelere karşı savunmasız olabilecek tek bir mahsule olan bağımlılıklarını azaltmaktadır [2].

Sera tarımı, çöl bölgeleri veya kentsel alanlar gibi geleneksel tarımın zor olduğu bölgelerde giderek daha popüler hale gelmiştir. Seralar, arazinin kıt olduğu yerlere kurularak, daha önce tarıma uygun olmayan yerlerde gıda üretimine olanak sağlamaktadır. Kentsel alanlarda, yerel olarak taze ürünler yetiştirmek için seralar kullanılabilir, bu da ulaşım ihtiyacını ve karbon emisyonlarını azaltmaktadır [2].

Dünya ekonomisinin tarıma olan ilgisi, gün gittikçe artmaktaydı. Dünyanın birçok ülkelerinde tarım, ekonomik sektörün baskın parçası haline gelmekteydi. Dünya

nüfuzunun hızlı artımı, tarıma olan ilgi modern seraların yeterliğini eksik kılmaktaydı. Bu eksiklik, üretimi hızlandırmak amacıyla, sera tarımında teknolojinin kullanımına olanak sağlamıştır. "Tarım Zekası" adı altında Yapay Zeka, Nesnelerin İnterneti(IOT), kablosuz sensör ağları, yapay sinir ağı, genetik algoritmalar akıllı seraların geliştirilmesinde kullanılmıştır [2].

Sera tarımı, kontrollü bir ortamda yüksek kaliteli mahsul üretme kabiliyeti nedeniyle dünya çapında giderek daha popüler hale gelmiştir. Sera tarımında teknolojinin kullanılması, yetiştirme koşullarının optimize edilmesini mümkün kılarak daha sağlıklı, daha tutarlı ve daha karlı mahsuller elde edilmesini sağlamıştır [3].

Sera tarımının en önemli faydalarından biri, yetiştirme koşullarının hassas bir şekilde kontrol edilmesine izin vermesi olmuştur. Buna, sıcaklık, nem, ışık seviyeleri ve besinler dahil olmaktadır. Sensörlerin ve otomasyon teknolojisinin kullanımıyla, çiftçiler bu koşulları gerçek zamanlı olarak izleyip ayarlayarak büyümeyi optimize edebilir ve israfı azaltabilmektedir. Bu, kalite ve verim açısından daha tutarlı, daha az kusurlu ve daha uzun ömre sahip mahsullerle sonuçlanmaktadır [3].

Hassas tarım, toprak koşulları, nem seviyeleri ve ürün büyümesini etkileyen diğer faktörler hakkında veri toplamak için sensörlerin, GPS'in ve diğer teknolojilerin kullanılmasını içermektedir. Bu veriler daha sonra gübre, su ve böcek ilacı gibi kaynakların kullanımını optimize etmek için kullanılabilir, bu da daha yüksek verim ve daha az atık ile sonuçlanmaktadır. Örtü altı tarımda, sıcaklık, nem, ışık yoğunluğu ve CO₂ seviyeleri gibi faktörleri izlemek ve kontrol etmek için hassas tarım kullanılabilir ve bu da ürünlere ideal yetiştirme koşullarını sağlamaktadır [4].

Uzaktan izleme ve kontrol sistemleri, sera tarımında giderek daha fazla kullanılmakta ve yetiştiricilerin ürünlerini dünyanın her yerinden izlemelerine ve kontrol etmelerine olanak tanımaktadır. Örneğin yetiştiriciler, sıcaklık ve nem gibi çevresel faktörleri izlemek, aydınlatma ve sulama sistemlerini ayarlamak ve herhangi bir sorun çıkması durumunda uyarı almak için mobil uygulamaları kullanmaktadır. Uzaktan izleme ve kontrol sistemleri, yetiştiricilerin işçilik maliyetlerini düşürürken mahsulün büyümesini ve üretimini optimize etmelerine yardımcı olabilmektedir [5].

Gün geçtikçe sera tarımına olan ihtiyaçtan dolayı, seraları doğru bir şekilde kontrol eden teknolojik sistemler gerekmektedir. Seralarda, hasat zamanı kaliteli ve yüksek verim elde etmek için, dinamik yapıya sahip olan ortamın doğru sağlanması için, verimli teknolojik

sistemlerin yapılması gerekmektedir. Bu tür teknolojik çalışmalarda, Yapay Zeka Algoritmalarının kullanılması gerekmektedir.

Bu tez çalışması kapsamında, seralarda tarımsal ürünler için ortamı doğru bir şekilde kontrol eden Makina öğrenimi algoritmaları kullanılarak, Yapay Zeka Tabanlı Akıllı Sera Sisteminin yapılması planlaştırılmıştır.

Makine öğrenimi, bilgisayarlara büyük veri kümelerindeki kalıpları ve ilişkileri tanımlamayı ve ardından bu bilgileri tahminler veya kararlar almak için kullanmayı öğreten bir yol olmaktadır. Bir veri kümesi üzerinde bir model eğitmeyi, modelin performansını değerlendirmeyi ve ardından sonuçlara göre modeli iyileştirmeyi içermektedir. Makine öğreniminin bazı yaygın uygulamaları arasında görüntü ve konuşma tanıma, doğal dil işleme, tahmine dayalı analitik ve öneri sistemleri bulunmaktadır [6].

Makina öğrenimi algoritmaları, son yıllarda birçok teknolojinin geliştirilmesinde uygulanmış ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Seralarda ortam kontrolünün doğru şekilde sağlanması kapsamında bu tür çalışmalarda da kullanılabilir.

Bu tez çalışmasında, seralarla bağlı yapılmış teknolojik çalışmalar araştırılmıştır. Bu araştırmanın esası Yapay Zeka ve IOT teknolojilerinden oluşmaktadır. Bu araştırmalar zamanı, seralarda ortam kontrolüyle bağlı yapılmış çalışmaların azlığı göz önünde bulundurulmuştur. Bu çalışmadaki maksat, Makina öğrenimi algoritması kullanılarak bitkilerin sağlam bir şekilde büyümesi için doğru ortamın sağlanması olmuştur. Sistemin çalışması, sensörlerden okunan değerlerin Makina öğrenimi algoritmasıyla eğitilen değerlerle karşılaştırılarak, elde edilen çıkışlara göre cihazların zamansal olarak çalıştırılmasından oluşmaktadır.

Bu tez çalışmasında, bölümlerin organizasyonu aşağıdaki şekilde yapılmıştır.

Birinci bölüm, giriş bölümü olmaktadır. Giriş bölümünde, tezin gerekliliğinden, amaç ve kapsamından bahsedilmektedir.

İkinci bölüm, literatür incelemesi bölümü olmaktadır. Literatür incelemesi bölümünde, literatür araştırmasından bahsedilmektedir. Literatür araştırmasında, IOT ve diğer teknolojik mimarilerden ve Yapay Zeka tabanlı yapılan çalışmalardan bahsedilmektedir.

Üçüncü bölüm, materyal ve yöntem bölümü olmaktadır. Materyal ve Yöntem bölümü kendisinde, veri seti toplama, donanım, geliştirme ortamı ve Yapay Zeka yöntemlerini anlatan alt bölümleri birleştirmektedir.

Dördüncü bölüm, bulgular ve tartışma bölümü olmaktadır. Bulgular ve Tartışma kısmı kendisinde, kullanılan Makina Öğrenimi algoritmalarının başarı sonuçlarından bahseden alt bölümleri birleştirmektedir.

Beşinci bölümde ise, tezle bağlı sonuçlardan bahsedilmiştir.



2. LİTERATÜR İNCELEMESİ

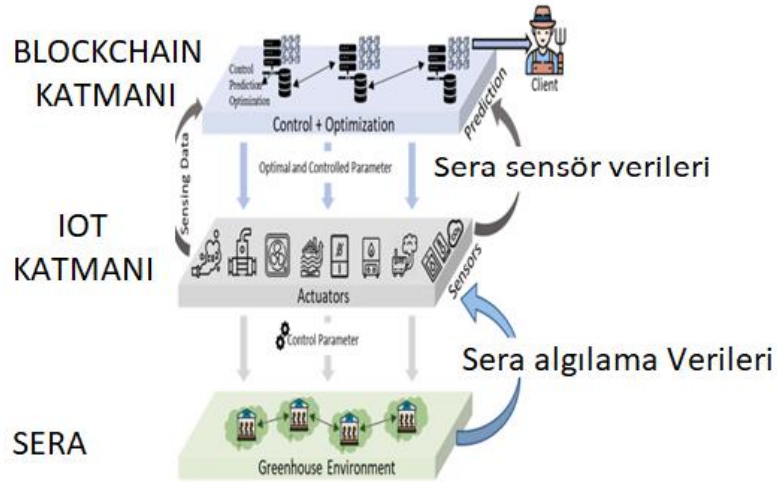
Bu bölümde sera tarımında yapılmış teknolojik çalışmalardan bahis edilmiştir. Araştırmalar, ağırlık olarak seralarda ortam kontrolünde kullanılan teknolojilerden, IOT mimarilerinden, Yapay Zeka çalışmalarından oluşmaktadır.

2.1. Seralarda Kullanılan, IOT ve Diğer Teknolojik Mimariler

IOT, şehirlerin geliştirilmesinde, sağlık bölümünde, endüstride kullanıldığı gibi tarımsal alanda da kullanılmaktadır. Bilindiği gibi bitkilerin ekin sürecini takip etmek, organik ürünlerin yetiştirilmesi zorlaşmıştır. Bu zorluğu aradan kaldırmak, harcanan enerji maliyetini düşürmek için IOT tabanlı seraların geliştirilmesine başlanmıştır. Seraların gelişmesindeki diğer maksat farklı iklimlerde sebze, meyve, bitki, gibi ürünlerin yetiştirilmesi olmuştur. Araştırmacılar tarafından IOT çerçevesi kullanılarak akıllı sera çalışması yapılmıştır. IOT çerçevesi ürünlerin yetiştirilmesini olumlu şekilde kolaylaştırmaktadır. Toprak izleme, uygun ortamın otomatik optimizasyonu, optimum sulama, gerçek zamanlı sorun teşhisi, azaltılmış hasat başarısızlığı, uzaktan kontrol ve yönetim ve işletme maliyetinde azalma sağlayarak büyüme ortamı, IOT teknolojisi ile daha iyi şekilde sağlanılmıştır. Araştırmacılar tarafından yapılan çalışmada, IOT çerçevesi üç bölümden oluşmaktadır:

- Veri Toplama Sistemi (VTS): Bir dizi sensörlerle, seralarda gerçek zamanlı veri toplamak içindir.
- Merkezi Aktüatör Yöneticisi (MAY): Seranın farklı görevlerini yerine getirmek için bir dizi ekipman ve bir dizi aktüatör tarafından idare edilmek içindir.
- Karar destek sistemi (KDS): Kaynakları izlemek ve yönetmek için kullanılmaktadır [7] [8] [9].

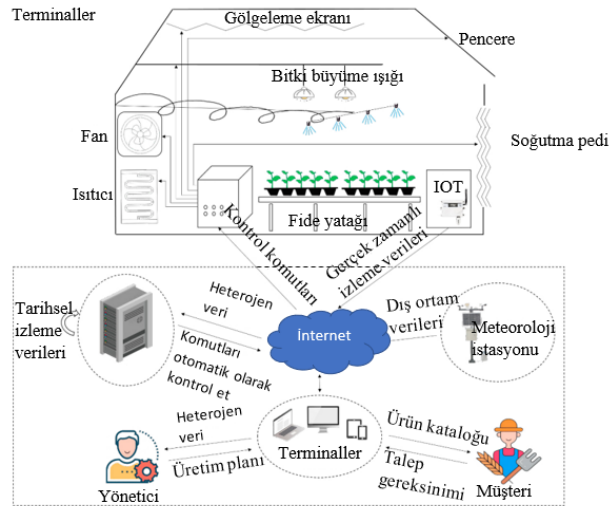
Literatürde IOT tabanlı akıllı seraların geliştirilmesinde farklı yaklaşım, sistemler, algoritmalar kullanılmaktadır. Faisal Jamil ve arkadaşları, Blockchain yaklaşımını sera kontrolünde kullanmıştır. Blockchain yaklaşımı, akıllı seraların kontrolünü sağlamak için yaklaşımlardan biri olmuştur. Blockchain, manipüle edilemeyen dağıtılmış bir defterde çok sayıda veri işlemini depolamak için kullanılan dağıtılmış bir defter teknolojisi olmaktadır (DDT). Otonom sera ortamı için önerilen optimal akıllı sözleşmenin katmanlı görünümü Şekil 2.1'de gösterilmiştir. Önerilen blok zinciri sistemi, blok zinciri katmanı, IOT katmanı ve sera katmanı olmak üzere üç katmandan oluşmaktadır [10].



Şekil 2.1. Akıllı sera için önerilen sistemin katmanları [10].

IOT ve sera katmanı, IOT katmanı, çeşitli sera sensörlerini kullanarak bağlamsal bilgiler sağlamaktadır. Bu bilgiler ile vantilatör, sisleme sistemi, ısıtıcı, soğutucu ve nemlendiricinin kontrolü sağlanılmaktadır [10].

Akıllı sera çalışmalarında, bitkilerin durumlarını uzaktan kontrol edilmesi için, İnternet, GPRS, GPS, Wifi gibi ağlar sera sistemlerinde kullanılmıştır [11]. Jingyuan Feng tarafından geliştirilen, IOT tabanlı sera sistemi Şekil 2.2’de gösterilmiştir.



Şekil 2.2. IOT tabanlı sera sisteminin çerçevesi [11].

Jingyuan Feng tarafından geliştirilen bu sistem, veri toplama modülü, kullanıcı etkileşimi modülü ve veri işleme ve IOT ekipman kontrol modülünden oluşmaktadır. Veri toplama modülü, sera içi ve çevresindeki bilgileri toplamak işlevini görmektedir. Kullanıcı etkileşimi modülü, yönetici ve tüketicinin IOT tabanlı sistemle etkileşime

girme işlevini sağlamaktadır. Veri işleme ve IOT ekipman kontrol modülü, elde edilen verilere göre sera ekipmanlarının otomatik çalıştırma işlevini görmektedir [11].

Seralarda yapay aydınlatma, CO₂ üretimi ve iklim kontrol sistemleri önemli ölçüde enerji tüketmektedir. Bu nedenle, Mohammad Chehreghani Bozchalui, mevcut sera kontrol sistemlerinde denetleyici kontrol olarak uygulanabilmesi için seraların optimum çalışmasına uygun bir matematiksel modeli üzerinde çalışma yapmıştır. Yapılan bu çalışmada, seraların önemli parametreleri göz önünde bulundurularak toplam enerji maliyetlerinin ve talep ücretlerinin en aza indirilmesi amaçlanmıştır. Özellikle iç sıcaklık ve nem, CO₂ konsantrasyonu ve aydınlatma seviyeleri kabul edilebilir aralıklarda tutulmuştur. Bu nedenle önerilen model kendisinde, seralardaki mevcut kontrol sistemlerini optimum şekilde çalıştırmak için hava durumu tahminlerini, elektrik fiyat bilgilerini ve son kullanıcı tercihini içermektedir. Elektrik fiyatındaki ve hava tahminindeki belirsizliğin, depolama tesislerinin optimum işletimi üzerindeki etkileri Monte Carlo simülasyonları ile incelenmiştir. Sunulan simülasyon sonuçları, gerekli operasyonel kısıtlamaları korurken toplam enerji maliyetlerini azaltmak için önerilen modelin etkinliğini göstermektedir [12].

Heri Andrianto ve arkadaşları tarafından yapılan IOT tabanlı akıllı sera ESP-01 ve Arduino Mega kontrol kartlarından ve birçok sensörden oluşmaktadır. Bu çalışmadaki amaç, uzaktan Wifi vasıtasıyla seraya bağlanarak gerçek zaman verilerine göre seranın kontrolünün sağlanması olmuştur. Bu çalışmada, ara yüz programı MIT App invertör ile yapılmıştır [13].

Seraların kontrolü denildiğinde, sensörlerden alınan verilere esasen bitkilerin büyümesi için gerekli ortamın sağlanması akla gelmektedir. Geleneksel seracılık tekniği ağırlıklı olarak meyve ve sebzelerin yetiştirilmesi için benimsenmiştir. Bu tür mahsul yetiştirme için birçok IOT mimarisi hazırlanmıştır. IOT'nin seracılıkta kullanılmasının ana hedeflerinden biri, çiftçiler için uzun vadeli sürdürülebilir bir çözüm sağlamaktır. 2014 yılında Kaewmard ve Saiyod tarafından, taşınabilir bir cihaz tasarlanmıştır. Bitkilerin durumunun izlenilmesinde, bu taşınabilir ve sensörlerden oluşan cihaz kullanılmıştır [14].

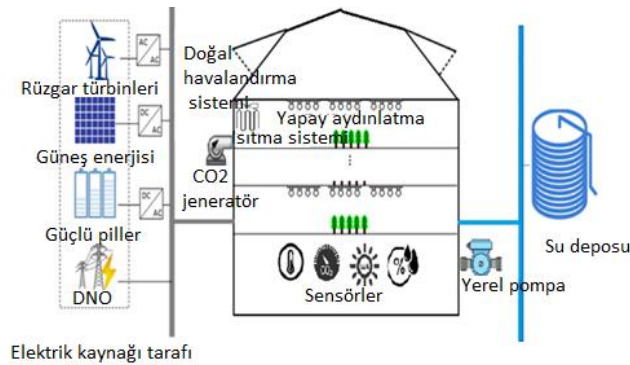
Endüstrilerdeki herhangi bir uygulama için ele alınması gereken birçok parametre vardır, aynı şekilde serada bile birçok parametrenin düzenli olarak izlenmesi gerekmektedir. Bu parametrelerin doğru bir şekilde izlenmesi ve gereken komutların verilmesi için

R.Geethamani ve S.Jaganathan tarafından Wifi modülü, ESP8266 ile bir sistem yapılmıştır. Bu sistem ile verilerin uzaktan izlenilmesi ve aynı zamanda gereken komutların verilmesi başarıyla sonuçlanmıştır [15].

IOT sistemlerin tarımda tatbiki hız kesmeden yapılmaktadır. Bu çalışmalar zamanı birçok problemler ortaya çıkmıştır. Bu problemlerin en başlıcası sera sistemlerine siber saldırılar yapılan zaman, verilerin analizinin doğru yapılmaması olmuştur. Sera sistemlerine yapılan siber saldırıdan korunmak ve verilerin analizi için çalışmalar yapılmıştır. Kalman filtresi kullanılarak seradaki verilerin analizi işleminde yüksek başarı oranı elde edilmiştir [16].

Akıllı seralarda verilerin sisteme doğru-düzgün iletilmesi önemli hususlardan biri olmuştur. Bununla ilgili birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmadan biri de Aghus Sofwan ve arkadaşları tarafından MQTT (Message Queuing Telemetry Aktarımı) protokolü ile ilgili yapılan çalışmadır. MQTT, basit ve hafif bir mesajlaşma protokolü olmaktadır. Bu çalışmada, verilerin MQTT protokolü ile iletilmesi başarılı şekilde sonuçlanmıştır [17].

Tarımsal sistemler, sosyal, ekonomik ve çevresel hususları dikkate alarak daha üretken ve daha sürdürülebilir hale getirilmektedir. Bu kapsamda korunan sera altı üretimler, ekonomik arazi kullanımı sağlamanın yanı sıra önemli enerji ve su tasarrufu sağlayan yeni bakış açıları açmıştır. Modern hassas tarımda seralar, talebe dayalı ekonomiyi karşılamada giderek artan bir rol oynamaktadır. Akıllı seraların optimum çalışmasıyla ilgili birden fazla çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalardan en etkilisi, Ahmed Ouammi ve arkadaşları tarafından seralara, akıllı sera mikro şebeke entegresinin (SGHM) tatbik edilmesi olmuştur. SGHM, optimum mahsul gelişimi için kendi kendini düzenleyen bir iklim olarak düşünülmüştür. Bir SGHM, Şekil 2.3'de gösterildiği gibi birçok cihazı içeren yerel bir elektrik şebekesi olarak kabul edilmiştir [18].



Şekil 2.3. SGHM şeması [18].

Şekil 2.3`de görüldüğü gibi SGHM birden fazla maddeleri kendinde birleştirmektedir:

- Enerji üretimi için fotovoltaik sistem ve rüzgar türbini kullanılmaktadır.
- Enerji depolama cihazı, kalite ve güç kararlılığının yanı sıra tedarik güvenilirliğini artırmak için kullanılmaktadır.
- Yükler.
- Pompalar ve su deposu.
- Ana merkezi denetleyiciyi ve alt sistemleri birbirine bağlayan enerji yönetim birimi.
- Ölçüm altyapısı.

Ayrıca SGHM, çift yönlü güç alışverişine izin vermek ve bir çalışma kararlılığı sağlamak için şebeke yardımcı programına da bağlanmıştır [18].

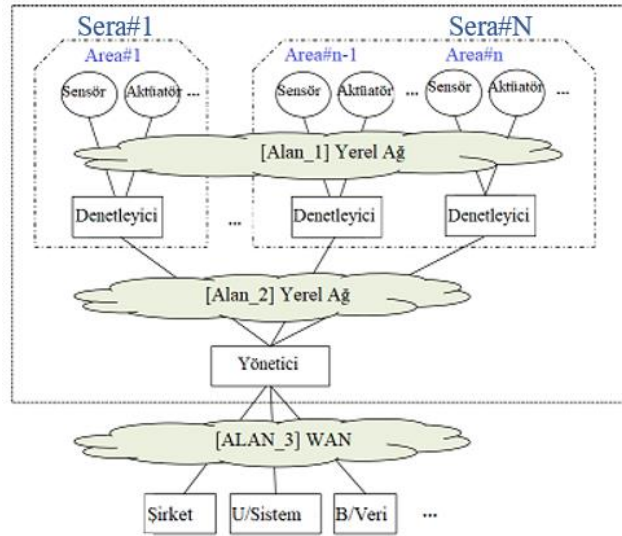
Young-Duk Seo ve arkadaşları tarafından, MAPE-K (Paylaşılan bir bilgi üzerinden İzle–Analiz Et–Planla–Uygula) modeline dayalı bir akıllı sera sistemi yapılmıştır. MAPE-K, kendini uyarlayan sorunları kendi başına teşhis edebilen ve sorunları çözebilen bir sistem olmaktadır. MAPE-K, adaptasyon süreciyle ilgili tüm bilgileri içeren K ve kontrol döngüsü fonksiyonlarını sağlayan MAPE`den oluşmaktadır. Araştırmacılar tarafından MAPE-K modeli ile bağlı yapılan çalışmada, MAPE-K modeli, izleme işlemi, plan işlemi, analiz işlemi ve uygulama işlemi gibi bu işlemler esasında çalışmaktadır. MAPE işlemi tekrar-tekrar yürütülmekte ve K`nın, MAPE işleminin yinelenmesi yoluyla değiştirilmesi mümkün olmaktadır [19].

Geleneksel tarım yönteminde, insan emeğinin belirli bir zamanda serayı ziyaret etmesi ve ortamı manuel olarak kontrol etmesi gerekmektedir. Bu geleneksel yöntem zaman alıcı olarak kabul edilir ve çok çalışma ve çaba gerektirmektedir. Bu nedenle, Izzat Dın Abdul Aziz ve arkadaşları, tarımsal seralarda sera ortamındaki değişiklikleri uzaktan izleyebilen ve tahmin edebilen bir sistem geliştirmiştir. Çalışmanın amacı, kablosuz sensör ve Kısa Mesaj Servisi (SMS) teknolojisi kullanılarak uzaktan sera ortamı izleme sistemi geliştirmek olmuştur. Önerilen sistem, sera ortamında doğru seviyeni tespit edebilen bir ölçüme sahip olmaktadır. Araştırmacılar tarafından yapılan sistem aynı zamanda çiftçileri seradaki ortam değişimleri konusunda uyararak ve erken önlem adımlarının atılmasını sağlayan bir mekanizmaya sahip olmaktadır. Bu çalışmada, sistemin uygulanabilirliğini kanıtlamak için çeşitli testler yapılmıştır. Test sonuçları,

sistemin çiftçilere doğrudan bilgi yayma konusundaki güvenilirliğinin çeşitli koşullarda mükemmel bir şekilde elde edilebileceğini göstermiştir [20].

LCP de (Hafif Akıllı Sera için Kontrol Protokolü) akıllı sera sistemlerinin geliştirilmesinde kullanılan protokoller sırasında olmaktadır. Araştırmacılar tarafından yapılan bu çalışmada, LCP, aşağıdaki Şekil 2.4'de gösterildiği gibi, üç katmanlı bir seviyede kurulan cihazları izleme ve kontrol etme yeteneğine sahip bir akıllı sera ortamında çalışmaktadır. Yönetici, akıllı seraları (bir veya daha fazla tek veya birbirine kenetlenmiş seradan oluşan) bağımsız olarak yönetmektedir ve akıllı seradan harici büyük veri sunucusuna çeşitli verilerin (çevre, büyüme vb.) gelmesini sağlamaktadır. Her seraya bir veya daha fazla sensör düğümü ve aktüatör düğümü kurulmuştur. Bir denetleyici, tek bir serayı veya birden fazla akıllı serayı izleyebilmiş ve kontrol edebilmiştir. Ayrıca LCP, akıllı seraya uygulanabilecek temel ağ teknolojilerini aşağıdaki gibi varsaymaktadır:

- Sensör/aktüatör düğümü ile kontrolör arasındaki bir iletişim ağı.
- Kontrolör ve yönetim sistemi arasında bir iletişim ağı.
- Harici büyük veri sunucusu için bir iletişim ağı [21].

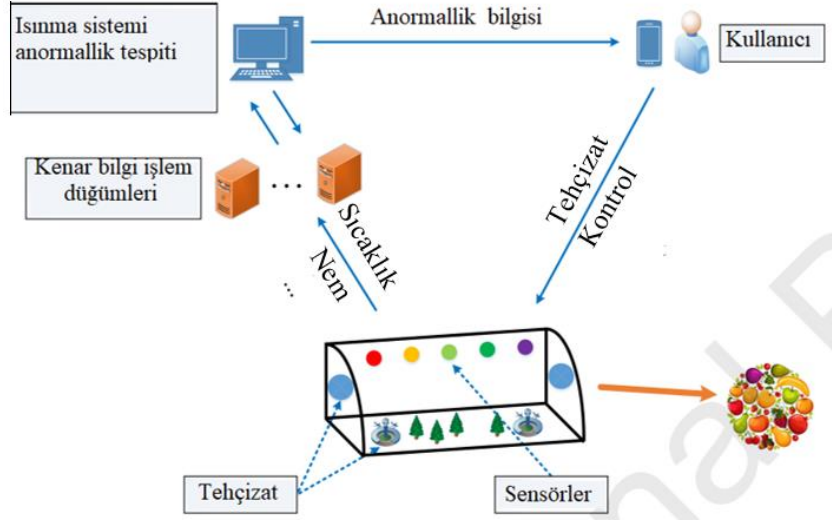


Şekil 2.4. Akıllı sera içinde bilgi akışı [21].

IOT tabanlı seralarda ekin ürünlerinin kontrolü sensörlerden alınan verilere göre yapılmaktadır. Sensörlerle serada verileri toplamak için farklı yöntemler üzerinde çalışılmıştır. Arduino tabanlı sensörlerden ibaret seralarda veriler okunarak, sulama, havalandırma, ısıtma gibi işlemler otonom olarak gerçekleştirilmiştir [22].

Bilgi füzyon teknolojisinin tatbik edildiği çok sensörlü sistemler, modern bir bilgi işleme teknolojilerinden biri olmuştur. Veri düzeyinde füzyon algoritması temel olarak aritmetik ortalama yöntemine, toplu tahmin algoritmasına, uyarlamalı ağırlıklandırma algoritmasına sahip olmaktadır. Ulaşılması en kolay yöntem aritmetik ortalama yöntemidir, ancak bu yöntemle füzyon çok düşüktür ve nispeten yüksek sistemin veri doğruluğu ve güvenilirlik gereksinimleri için uygun olmamıştır. Uyarlanabilir ağırlıklandırma algoritması, herhangi bir sensör ölçümü hakkında önceden bilgi sahibi olmadan ve veri füzyon değerlerini en küçük ortalama karesel hatayla birleştirmek için çoklu sensör veri ölçümlerine dayanarak basit ve yüksek hassasiyetle karakterize edilmektedir. Bu teknolojinin akıllı sera sistemlerinde kullanımı başarıyla sonuçlanmıştır [23].

Gelişmiş kablosuz sensör ağları, akıllı sera teknolojisinin gelişmesini hızlandırmaktadır. Böylece verilerin toplanması, analizi daha güvenilir hale gelmiştir. Anomali algoritması vasıtasıyla kablosuz sensör ağlarından toplanmış verilere anormallik testi yapılmaktadır. Makine öğrenimi araştırmalarındaki en sıcak konulardan biri olan topluluk öğrenimi, anormallik tespiti için yaygın olarak uygulanmaktadır. Bu yöntemler, güçlü algılama kabiliyetine sahip entegre bir model elde etmek için çoklu zayıf modelleri birleştirmiştir. Tek bir modelle karşılaştırıldığında, topluluk öğrenme modelinin algılama ve genelleme yetenekleri daha iyi olmuştur. Tipik entegrasyon yöntemleri iki kategoriye, seri topluluk ve paralel topluluk yöntemlerine ayrılmaktadır. Seri topluluk yöntemleri, birden çok sınıflandırıcıyı yinelemeli olarak seri olarak eğitmektedir. Her yinelemede, önceki yinelemede elde edilen topluluk sınıflandırıcısını iyileştirme ve güçlendirme işlemleri yapılmaktadır. İterasyon sonunda güçlü bir sınıflandırıcı elde edilmiştir. Paralel topluluk yöntemleri, çoklu zayıf sınıflandırıcıları bağımsız ve paralel olarak eğitmiş ve daha sonra güçlü bir sınıflandırıcı elde etmek için zayıf sınıflandırıcıların sonuçlarını birleştirmiştir. Bu işlem sayesinde sensörlerin iyi çalışıp-çalışmadığı öğrenilmiştir [24]. Bu yaklaşımın motivasyonunu açıklayan bir örnek Şekil 2.5'de gösterilmiştir.



Şekil 2.5. Akıllı bir serada anormallik algılama örneği [24].

Edge-computing özellikli akıllı seralar, IOT teknolojisinin tarımsal üretim alanında tipik bir uygulaması olmuştur. Uç bilgi işlem özellikli akıllı sera, uç bilgi işlem düğümleri aracılığıyla seradaki sıcaklık, nem, ışık, karbondioksit konsantrasyonu ve diğer bilgilerin gerçek zamanlı izlenmesini gerçekleştirmiştir. Bir uyarı sistemi tarafından desteklenen akıllı karar vermeye katkıda bulunmak için bu bilgileri kullanmaktadır. Ayrıca sera içerisindeki panjur, ışık, sulama ve diğer ekipmanlar otomatik olarak kontrol edilebilmekte ve serada bulunan ürünlerin uygun ortamda büyütülmesi mümkün olmuştur [24].

Etkili ve verimli bir sensör ağı, otomatik kentsel seranın (AUG) temel bir bileşeni olmuştur. Kala Meah ve arkadaşları tarafından yapılan akıllı sensör ağı, aydınlatma, ısıtma, sulama ve havalandırmanın otomatik olarak izlenmesini sağlamak için AUG'nin algılama, güç ve otomasyon ile görselleştirme ve kullanıcı arayüzü özellikleri arasında iletişim kurmuştur. Sensör ağıyla birlikte bu otomatik kentsel sera, Pensilvanya, York şehir merkezindeki yerel bir ilkokula kurulmuştur [25].

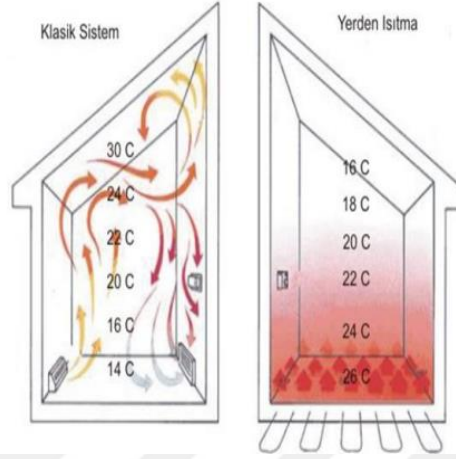
Sera uygulamaları için akıllı sensör ağları, son birkaç on yıldır aktif bir araştırma alanı olmuştur. Son çalışmalarında, Kannan ve Thilagavathi, seraların çevre koşullarını izlemek için ZigBee tabanlı bir kablosuz sensör ağı sunmuştur. Çalışmada, sensör verilerini toplamak için mikrodenetleyiciler ve tümü internet üzerinden erişilebilen canlı bir video akışı için kablosuz kameralar kullanılmıştır [26].

Satpute ve Theng, sera ortamında sıcaklık ve nemi izlemek için bir kablosuz sensör ağı uygulamıştır. Kablosuz sensör düğümleri, sensör verilerini bir LCD'de görüntüleyen merkezi bir düğüme iletmektedir [27].

CO₂ konsantrasyonu, serada önemli bir çevresel parametredir ve CO₂ konsantrasyonunun yeterli şekilde düzenlenmesi, serada ekin büyüme verimliliğinin iyileştirilmesi için kesinlikle faydalı olmaktadır. CO₂ ölçümü kaçınılmaz olarak çevresel parazitlere tabi olduğundan, belirli bir topolojiye sahip bir Kablosuz Sensör Ağı (WSN) üzerinden mevcut sensör ölçümleri yoluyla gerçek CO₂ konsantrasyonunun tahmin edilmesi hayati önem taşımaktadır. Araştırmacılar tarafından, Consensus-Kalman filtresine dayalı olarak, durum tahmin doğruluğunu iyileştirmek için dağıtılmış tahmin şeması sunulmuştur. Dağıtılmış izinler tahmininden sonra, baş düğüm, mevcut sensör düğümlerinden gelen veriler üzerinde füzyon tahminini yürütebilmiştir. Güvenilir olmayan iletişim bağlantılarının getirdiği paket kaybı olgusu, hatalı sensörlerin oranına yansımaktadır. Paket kayıplarından kaynaklanan etkileri daha da hafifletmek için, hem önceki hem de mevcut zaman noktalarında sensör düğümünden gelen tahminleri birleştiren ve böylece veri birleştirmenin doğruluğunu artıran, ana düğüm için değiştirilmiş bir tahmin şeması önerilmiştir [28] [29].

Farklı iklim bölgelerinde seranın iç iklim kontrolünün farklı yöntemleri var olmaktadır [30]. Kontrol tekniklerinin ve yönetim uygulamalarının geliştirilmesi, mikro şebekeye veya ağ bağlantılı mikro şebekelere odaklanan birkaç araştırmacının ilgisini çekmiştir. Sera mikro ikliminin kontrolü ve yönetimi başarılması zor işlerden biri olmuştur. Literatürde, kontrol algoritmalarının ve yönetim tekniklerinin uygulanmasında önemli çabalar sarf edilmiştir. Bilimsel araştırmacılar tarafından, IOT ve bulanık tabanlı hassas bir tarım serası tasarlanmıştır. Geliştirilen tasarımda, kablosuz iletişim için, bulanık kontrol ve ZigBee modülü kullanılmıştır. Tasarımda ısıtıcı ve piezoelektrik transdüser güçleri girdi olarak, sıcaklık ve nem ise çıktı olarak alınmıştır. Sera sisteminin izlenmesi için kablosuz sensör ağlarının veri birleştirme sorunu incelenmiştir. Ayrıca, araştırmacılar, seradaki bilginin yerel tutarlılığını ve yavaş değişimini göz önünde bulundurarak kablosuz algılayıcı ağların hiyerarşik bir yapısını önermiştir. Araştırmacılar, otonom şebekeye bağlı modları dikkate alan ve aydınlatmayı, nemi, iç sıcaklığı ve CO₂ oranını kontrol eden seralar için en uygun enerji yönetimi stratejisini sunmuştur. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kesintileriyle başa çıkmak için çok zaman ölçekli bir Markov karar sürecine dayalı enerji yönetimi ifade edilmiştir [31].

Uzaktan sıcaklık kontrolü için Android tabanlı sistemler de önerilen sistemler arasındadır. Isıtma sisteminin yeni türlerinden biri de Android tabanlı kök ısıtma sistemi olmuştur. Araştırmacılar tarafından yapılan bu sistem ile iç sıcaklığın kontrolü başarıyla sonuçlanmıştır [32]. Şekil 2.6' da kök ısıtma ve klasik ısıtma sistemi arasındaki fark gösterilmiştir.



Şekil 2.6. Klasik ısıtma ve kök ısıtma arasındaki fark [32].

Bu sistemde çeşitli yöntemlerle ısıtılan sıcak su, seranın zeminine yerleştirilen borularla sirküle edilmiştir. Isıtma boruları yerden 40 cm altına yerleştirilmiştir. Seradaki sıcaklık, otomatik olarak sensör ile sürekli kontrol altında tutularak sistemin doğru şekilde çalışması mümkün olmuştur. Seranın toprak altı sıcaklığı 5-45 °C arasında ayarlanabilmektedir [32].

Ekin su alma derinliğinin (WUD) makul bir tahmini, bilimsel sulama planlamasının belirlenmesi için hayati önkoşul sağlamaktadır. Mevcut çalışmada, gerçek zamanlı toprak nemi verilerine dayanan akıllı bir sulama sistemi geliştirildi ve burada dinamik mahsul WUD, toprak nemi dağılımlarının uzay-zamansal özellikleri kullanılarak tahmin edilmiştir. Daha sonra, her sulama olayında kesin bir sulama derinliği elde etmek için merkezi bir sulama kontrolörü kullanılarak mahsul WUD verileri elde edilmiştir. Bu verilere göre düzgün bir sulama sistemi tasarlanmıştır [33].

Yazılım arayüzü ile gerekli kullanıcı etkileşimini hızlandırmak ve harekete geçirmek için, kullanıcıların toprak nemi açığını, hava durumu ölçümlerini ve uygulanan sulama miktarlarını WISE'a girmelerini hızlı bir şekilde görmelerine olanak tanıyan, araştırmacılar tarafından bir akıllı telefon uygulaması geliştirilmiştir. Araştırmacılar, bulut tabanlı bir WSN iletişim sistemini gerçek bir dağıtım üzerinde önermektedir ve değerlendirmektedir. Bu çözüm, bitkilerin su ihtiyaçlarını değerlendirmek için sırasıyla

bir dizi sensör ve aktüatörü izlemiş ve kontrol etmiştir. Sistemi, hava durumu bilgisi ile optimize etmek için uzak bir web hizmeti kullanılmıştır [34].

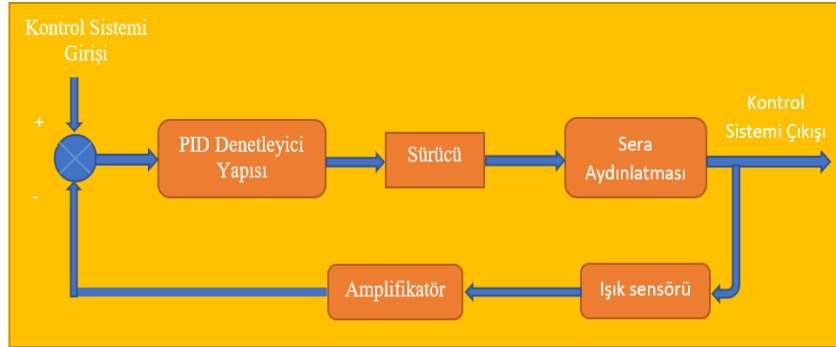
Hassas dokulu ekin ürünleri için sulamada bulut tabanlı sulama sistemleri kullanılmaktadır [35]. Tatlı su bitki sulaması için önemli faktörlerden biri olmaktadır. IOT tabanlı bir sulama sistemi yalnız toprak nem sensörleriyle donatılmamıştır, aynı zamanda API'den gelen hava durumuna göre sulama işlemi gerçekleştirilmektedir. Eğer yağmur yağıyorsa, otonom sulama sistemi durduruluyor ve böylece tatlı su tasarrufu sağlanılmaktadır [36].

Araştırmacılar tarafından, iletim aralığı ve güç tüketimi açısından olağanüstü avantajlara sahip Uzun Menzil (LoRa) teknolojisine dayalı sera tarımı için otomatik sulama sisteminin tasarımı sunulmuştur. Sistem, toprak nemi, sıcaklık ve nem verilerini toplayan sensör düğümlerinden oluşturulmuştur. Bu veriler, Yoğunlaştırıcı adlı bir merkezi istasyona iletiliyor, Yoğunlaştırıcı da bunu tarla düzeyinde bulunan kontrol düğümleri aracılığıyla sulama sürecini kontrol etmek için kullanmıştır. Veriler ayrıca ileride analiz edilmesi ve saklanması üzere gözetmen bilgisayarına ve web sunucusuna gönderilmiştir. Kullanıcılar, hem bilgisayar arabirimi hem de web arabirimi aracılığıyla durumu izleyebilmiş, sulama modunu ayarlayabilmiş, sistemi yapılandırabilmiş, verilere erişebilmiş ve mahsulleri yönetebilmiştir. Güvenilirliği artırmak için, bu sistemdeki LoRa ağı için, orta erişim kontrol yöntemi Master/Slave uygulaması da önerilmiştir [37].

Aydınlatmanın doğru düzgün tatbik edilmesi seralarda önemli hususlardan biri olmaktadır. Aydınlatma sistemi, bitki büyümesine büyük katkıda bulunmaktadır. Aydınlatma sistemleri hem seralarda bitkilerde fotosentez prosedürünün olması için, hem de enerji tasarrufu için doğru tasarlanıp seçilmelidir. Seralarda yapay aydınlatma sistemlerinin kullanılmasına üstünlük verilmektedir [38]. Araştırmacılar tarafından yapılan Dar Bant IOT tabanlı sistem, 12 ay içinde alınmış ışık verileri esasında tasarlanmıştır. Dar Bant IOT tabanlı aydınlatma sistemlerinde de öncelik enerji tasarrufunun sağlanması olmuştur. Bu sistem vasıtasıyla seradaki aydınlatma durumunun uzaktan kontrolü mümkün olmuştur [39].

Mehdi Mahdavian ve Naruemon Wattanapongsakorn tarafından, Oransal-İntegral-Türev (PID) denetleyici kullanılarak sera elektrikli aydınlatmasının kontrol sistemi incelenmiştir. Onlar yaptıkları simülasyon çalışmasıyla akıllı seralarda aydınlatmanın

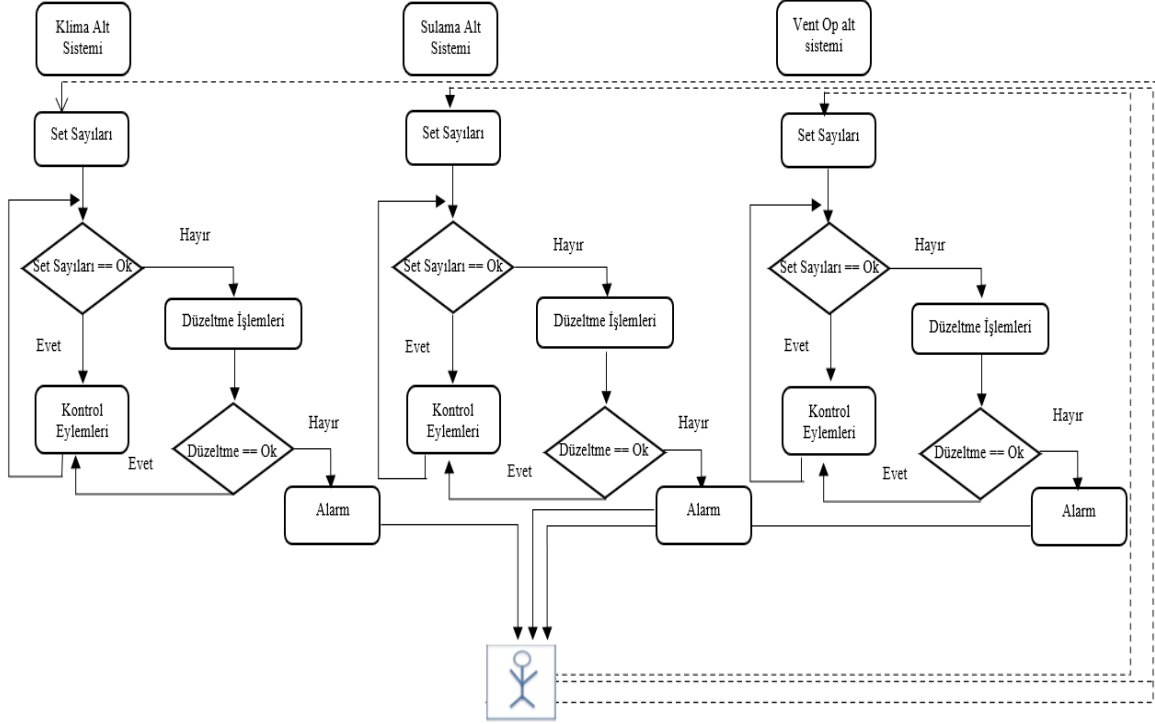
verimli çalıştığını kanıtlamıştır [40]. PID kontrollü aydınlatma sistemi Şekil 2.7 'de gösterilmiştir.



Şekil 2.7. PID kontrollü aydınlatma sistemi [40].

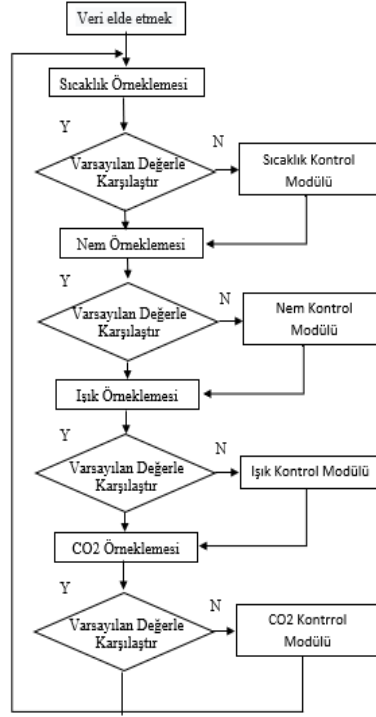
Seralarda, ortam kontrolünün sağlanması birden fazla değişkenlerin birbirine bağımlı olması nedeniyle zor konulardan biri olmuştur. M. Azaza, Tanougast ve arkadaşları, kablosuz veri izleme platformu vasıtasıyla elde ettikleri sıcaklık ve nem değerlerinden oluşan veri setiyle bulanık mantık kullanarak bir çalışma yapmıştır. Onlar yaptıkları çalışma gerçek bir serada test edilmiş ve bu çalışma sayesinde enerji ve su kaynaklarından tasarruf edilerek seranın ortam kontrolü başarıyla sonuçlanmıştır [41].

Francisco Javier Ferrández-Pastor ve diğer araştırmacılar, Alicante Üniversitesinde bir sera entegrasyon modeli geliştirmiştir. Bu sera iklimlendirmeyi, toprak koşullarını ve sulamayı kontrol eden sistem, otomatikleştirilmiş bir alt sisteme sahip olmaktadır. Bu çalışma, yeni algılama, tahmin ve optimizasyon hizmetlerini yapan entegre veriye sahip yeni işleme düğümlerinden oluşmaktadır. Bu hizmetler seranın performansını artırmıştır [42]. Akış diyagramı Şekil 2.8'de gösterilmiştir.



Şekil 2.8. Akış diyagramı [42].

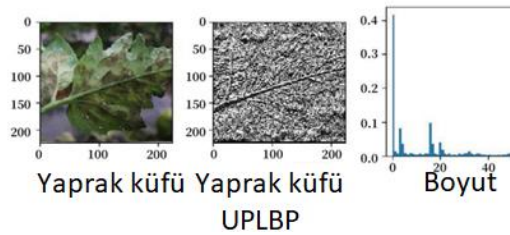
Programlanabilir mantık denetleyicisi (PLC) ve Kingview tabanlı akıllı bir sera kontrol sistemi Li. L ve diğer araştırmacılar tarafından, mahsul seralarının ihtiyaçlarını karşılamak için tasarlanmıştır. Kesin bir kontrol performansı elde etmenin zor olduğu sera kontrol sistemi problemini hedefleyen bu çalışmada, doğru bir tahmin kontrolü elde etmek için bulanık mantık algoritmasına odaklanmıştır. Mitsubishi PLC, bir sera senaryosunda gerçek zamanlı veri toplama ve otomasyon işlevini yerine getirmek için alt bilgisayar olarak uygulanmıştır. Yapılan çalışma gerçek ticari serada test edilmiş ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir [43]. PLC akış diyagram Şekil 2.9'da gösterilmiştir.



Şekil 2.9. PLC akış diyagramı [43].

2.2. Yapay Zeka Tabanlı Yapılan Çalışmalar

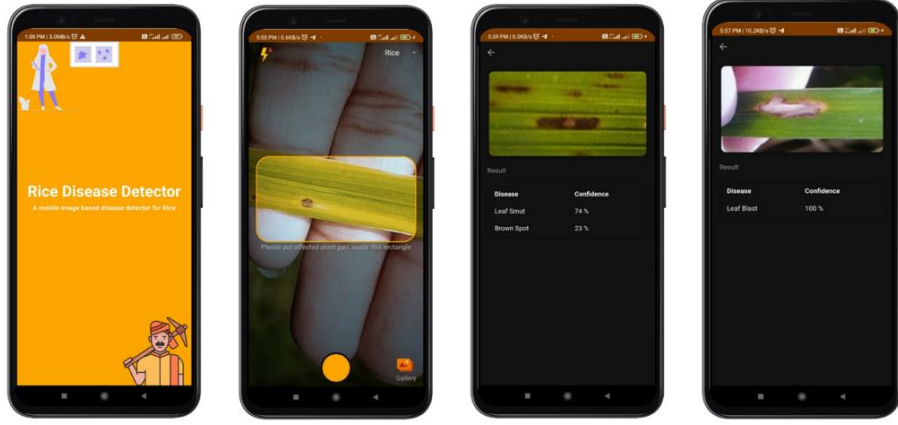
Seralarda, zararlı durumları aradan kaldırmak ve önlemek için, Muhammad Hanif Jumat ve arkadaşları tarafından Yapay Zeka tabanlı görüntü işleme sistemleri geliştirilmiştir. Şekil 2.10`da zararlı böceğin mahv ettiği bir bitkinin görüntü işleme prosedürü gösterilmiştir. Hastalık bitkinin yaprak, gövde ve meyveleri içeren tüm kısımlarını etkilemektedir. Ancak bu çalışma için bitkinin yaprak kısımlarına odaklanmıştır [44].



Şekil 2.10. Görüntü işleme prosedürü [44].

Bitki hastalığının en erken tespiti, çiftçi topluluğunun birincil endişesi olmaktadır. Kullanılabilirliği gelişmiş görüntü alma modları ve derin öğrenme yöntemleri ile gelişmiş dijital kameralar ve akıllı telefonlar evrişimli sinir ağları (CNN) gibi bitki hastalıklarını yüksek doğrulukla tespit edebilmektedir. Araştırmacılar, 2259 resimden oluşan veri seti ile Yapay Zeka tabanlı mobil uygulama geliştirmiştir. Geliştirilen bu uygulama vasıtasıyla 12 pirinç hastalığının bulunması mümkün olmuştur.

Araştırmacılar, bu projede DenseNet201, Xception, MobileNetV2 ve ResNet50 modellerini kullanmıştır. Bu modellerle yapılan eğitimden sırasıyla, 0.9803, 0.9778, 0.9756 ve 0.9718 başarıları elde edilmiştir. Yapılan bu çalışmaya, “Pirinç Hastalığı Dedektörü” ismi verilmiştir [45]. Çalışmanın görseli Şekil 2.11 'de gösterilmiştir.



Şekil 2.11. Pirinç Hastalığı Dedektörü [45].

Yapay sinir ağları, geleneksel sistemlere göre avantajlarından dolayı tarım sektöründe birçok kez kullanılmaya başlanmıştır. Sinir ağlarının ana yararı, paralel akıl yürütme temelinde tahmin yapabilmeleridir. Kapsamlı programlama yerine, sinir ağları eğitile bilinmektedir. Gliever ve Slaughter, yabancı otları ekinlerden ayırmak için YSA'yı kullanmıştır. Maier ve Dandy de, seralar için su kaynakları değişkenlerini tahmin etmek için sinir ağlarını kullanmıştır [46] [47].

Araştırmacılar, çiftçilere böceklerden ve atmosferden kaynaklanan zararı önlemek için elma meyvesine böcek ilacı ne zaman püskürtmeleri gerektiği konusunda yardımcı olan, POMME adlı bir uzman sistem geliştirmiştir. Enfeksiyon tablosundaki teorik değerler yerine, burada POMME'de elma kabuğu hastalık döngüsü modeli kullanılmıştır. Sistemin sonuçları tatmin ediciydi ve sistem, deneme bazında kullanan uzmanlar tarafından onaylanmıştır [48].

Hindistan'ın Rajasthan şehrinde, Prakash ve arkadaşları tarafından bulanık mantığa dayalı bir uzman sistem PRITHVI, geliştirilmiştir. Sistem özellikle, sera ortamında ekilen soya fasulyesi mahsulü için tasarlanmıştır. Bu sistem için, bilgi tabanı ziraat memurlarından, yayınlanmış literatürden ve soya fasulyesi ekin uzmanlarından toplanmıştır. Tüm sistemin incelenmesinde ve çiftçiye bir uzman olarak tavsiyelerde bulunulmasında bulanık mantık dikkate alınmıştır. Bu uzman sistemi geliştirmenin temel

amacı, bölgedeki çiftçilerin soya fasulyesi üretimlerini artırmalarına yardımcı olması olmuştur. Sistemde kullanıcı arayüzü modülü olarak MATLAB kullanılmıştır [49].

1986'da Lemmon, Pamuk Yönetim Uzmanı (Comax) adlı bir uzman sistem geliştirmiştir. Tarım sektöründe yapay zekanın öncüsü olan Lemmon, mikrobilgisayar dostu olan ve Comax kullanımını destekleyen Gossym adlı bir program geliştirmiştir. Uzman sistem Comax bir bilgisayar modeli Gossym ile başarıyla entegre edilmiştir. Bu uzman sistem, pamuk serasında yıl boyunca kesintisiz çalışabilmek için geliştirilmiştir. Comax, alanın üç parametresini, sulamanın programlanmasını, tarlada nitrojen içeriğinin korunmasını ve pamuk mahsulünün büyümesini dikkate almaktadır [50].

Arif ve arkadaşları, daha az meteorolojik veri kullanarak çeltik serasındaki toprak nemini tahmin etmek için YSA modeli geliştirmiştir. YSA modelinin geliştirilmesinde, güneş radyasyonu, yağış ve hava sıcaklığı verileri kullanılmıştır. YSA modeli en az meteorolojik veri kullanarak, daha az iş gücü ve zaman tüketimi ile çeltik seralarında toprak neminin doğru ve güvenilir bir şekilde tahmin edilmesini sağlamıştır [51].

Araştırmacılar mısır serasında mahsulün verimini incelemek için bir model geliştirmiştir. Bu modelde çok katmanlı bir ileri beslemeli YSA (MLFANN) kullanılmıştır. Bu çalışmanı beslemek için, gradyan iniş algoritmaları (GDA) ve eşlenik gradyan iniş algoritması (CGDA) algoritmaları kullanılmıştır. Her iki algoritmada yapay ağ araç kutusu kullanılarak MATLAB'da yazılmış ve simüle edilmiştir [52].

Araştırmacılar, serada sıcaklığı ve nemi doğru bir şekilde kontrol edebilmek için YSA modelinden oluşan bir çalışma yapmıştır. Bu çalışmada, eğitim için %50, doğrulama için %25 ve test için %25 olmak üzere 14.490 adet veriden oluşan veri seti kullanılmıştır. Geliştirilen YSA, her iki değişken için de son derece doğru bir tahmin göstermiştir [53].

Seralarda Sensörlerden alınan verilere göre Derin öğrenmeye dayalı sera ortamı tahmini veya erken uyarı modelleri son yıllarda popüler hale gelmiştir. Araştırmacılar tarafından, sera ortamı izleme için bir sinir ağı tabanlı çok değişkenli yazışma analizi modeli (MCA-NN) sunulmuştur. MCA-NN modeli ile, çok değişkenli yüzeysel öğrenme modellerinin özelliklerini birleştirerek tespit sonuçlarını iyileştirmeyi amaçlanmıştır. Başka bir yazar, Seraların yerleştirilmesi ve kurulması için arazi çölleşme derecesini tahmin etmek için hücrel sinir ağlarını kullanmıştır. Ruoqiang Havzası, 2000'den 2011'e kadar olan arazi çölleşme eğilimini tahmin etmek için, MCA-NN'ni bir örnek olarak kullanmış ve hücrel sinir ağı modelinin diğerlerinden daha iyi olduğunu göstermiştir [54][55].

Doğru bir çevre modeli, enerji tüketimi verimliliğini iyileştirmek ve mahsul verimini artırmak için sera kontrolünde temel bir konu olmuştur. IOT tarafından üretilen tarımsal verilerin artmasıyla birlikte, bu tür bilgilerin tam olarak kullanılmasını sağlamak için daha uygun modellere ihtiyaç duyulmaktadır. Araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalarda, bir seranın iç sıcaklığını modellemek için yeni geliştirilen hafif degrade arttırma makinesi algoritmasına (LightGbm veya LGBM) dayalı bir degrade artışı karar ağacı (GBDT) modeli önerilmiştir. İklim değişkenleri, kontrol değişkenleri ve beş yıl içinde toplanan ek zamansal bilgileri içeren özellikler, LightGbm modelini eğitmek ve doğrulamak için uygun bir veri seti oluşturmak için kullanılmıştır. LightGbm model performansını ve kendini uyarlama yeteneğini geliştirmek için bir yenilik olarak uyarlanabilir bir çapraz doğrulama yöntemi geliştirilmiştir. Öngörü doğruluğunun karşılaştırılması için, aynı süreç altında bir geri yayılma (BP) sinir ağı modeli ve tekrarlayan sinir ağı (RNN) modeli oluşturulmuştur. Öngörü doğruluğunu LGBM modeliyle karşılaştırmak için başka iki GBDT algoritması olan aşırı degrade arttırma (Xgboost) ve stokastik degrade yükseltme (SGB) de tanıtılmıştır [56].

Katar gibi yerlerde CO₂ konsantrasyonunu, çevre sıcaklığını dengelemek için çekirdek yoğunluk tahmini (KDE) ve temel bileşen analizi (PCA) yöntemleri vasıtasıyla toplanan veriler analiz edilmiştir. Yapılan analize esas olarak çevre sıcaklığını ve CO₂ konsantrasyonunu sağlamak için model hazırlanmıştır [57].

Seralarda termal konfor, ısıtma, havalandırma ve tarımsal iklimlendirme için aşırı enerji talebi nedeniyle üretkenliği artırmak için önemli bir olgu olmaktadır. Özellikle don, mahsulün sürdürülebilirliğinin sağlanmasında ciddi bir teknolojik zorluğu temsil etmektedir. Levenberg-Marquardt geri yayılım algoritması tarafından eğitilen Çok Katmanlı Perceptron yapay sinir ağı, Meksika'nın orta bölgesindeki seralarda dış hava sıcaklığı, dış hava bağıl nemi ile akıllı donma kontrolü için tasarlanmış ve uygulanmıştır. Bu çalışmada, girdi değişkenleri olarak, rüzgar hızı, küresel güneş radyasyonu akışı ve iç hava bağıl nemi kullanılmıştır. Bu çalışmada %95 oranında sıcaklık tahmini elde edilmiştir [58].

V. Mamatha ve arkadaşları, hidroponik tarımda Yapay Zeka KNN algoritması kullanarak bitkinin büyüme hızını tahmin eden bir çalışma yapmıştır. Onlar bu çalışmada hindistan cevizine ait PH, sıcaklık, bağıl nem, sulama sıcaklığı değerlerini kullanmıştır. Bilindiği gibi hidroponik tarım yani topraksız tarım günümüzde seralarda kullanılan başarılı bitki yetiştirme türlerinden biri olmaktadır. Normal hidroponik tarımda bitki üretiminde

değerlerin doğru izlenilmesi mümkün olmadığından hasat zamanı az verim elde edilmektedir. V. Mamatha ve arkadaşları yaptıkları bu çalışmada %93 doğruluk elde etmiştir [59].

Seralarda bitki üretiminde ortamının doğru sağlanması ve analiz edilmesi önemli hususlardan biridir. Jennifer P. Albarico, Glaiza Rein F. La Rosa ve diğerleri gül serasından elde edilen veriler ile farklı Yapay Zeka modelleri ile çalışma yapmışlar. Onlar ortamı dört hisseye ayırarak değerlendirmişler. Araştırmacılar, susuz toprak, doğru ortam, ortam çok sıcak, ortam çok soğuk değerlendirmesini yaparken dört Yapay Zeka modeli kullanmıştır. Kullandıkları Yapay Zeka modellerinde dört farklı sonuç elde etmişlerdir. Arkadaşların yaptığı bu çalışmada doğruluk sonuçları SVM-%94, ANN-%98, MLR-%94, RF-%94 elde edilmiştir [60].

Ilham Ihoume ve arkadaşları, TinyML de MLP modeliyle akıllı serayla bağlı bir çalışma yapmışlar. Çalışmada, seradan elde edilen sıcaklık, nem, güneş ışığı, CO₂, toprak nemi verilerinden kullanılmıştır. Arkadaşların bu çalışmadaki maksatı, bu değerlerle seradaki bileşenlerin bir birinden bağımsız şekilde çalışması olmuştur [61].

Seralarda iç ortam ikliminin kontrolü doğru yapılmadığı zaman büyük miktarda enerji israfı yapılmaktadır. Araştırmacılar bu israfı göz önünde bulundurarak Yapay Zeka tabanlı iç ortam kontrolü modeli tasarlamıştır. Yapılan kontrol sistemi, öğrenme tabanlı olup, bitki büyümesine, sera iç ve dış iklim değerlerine göre seradaki iklimi kontrol etmektedir. Araştırmacıların yaptıkları bu çalışma, enerji tüketiminde %57'lik azalmayla sonuçlanmıştır [62].

Seralarda, nem seviyesinin dengesiz bir şekilde artması, bitkilerin çürümmesine, mahvına olanak sağlamaktadır. Her bir bitki türü için nemlik oranı değişmektedir. Bitkilerin çoğu için nemlik oranı %80 civarında değişmektedir. Araştırmacılar tarafından, seralarda nem dengesinin doğru bir şekilde sağlanması için bulanık mantık ve PID kontrolünden ibaret bir çalışma yapılmıştır. Onlar yaptıkları çalışmanı bahçelerinde kurdukları serada test etmiş, çalışmanın nem kontrolü için başarılı bir çalışma olduğunu kanıtlamıştır [63].

Su kıtlığı ve zayıf toprak verimliliği, çiftçilerin ürün yetiştirmesine mâni olmaktadır. Şiddetli yağışlar, nakit mahsulleri mahvettiği için çiftçiler için büyük bir tehdit olmaktadır. Bitkileri hem kuru hem de yağışlı mevsimlerde yetiştirmek ve korumak, yoğun insan görevlerini azaltmak ve günlük bitki durumuna ilişkin yaygın veri analitiğini otomatikleştirmek için yapay zekaya sahip akıllı bir seranın kullanılması, şaşırtıcı bir

şekilde gıda güvenliğini artırabilmektedir. Nafees Akhter Farooqui ve diğer araştırmacılar, gerçek zamanlı kararlar alarak, her türlü hastalığı tespit ederek ve ilginç bir şekilde meyve verme aşamasını bildirerek bitkileri optimum atmosferik koşullar altında besleyen, içinde yaklaşık 10.000 bitki görüntüsü, bağıl nem, sıcaklık ve toprak nemi bilgisi kullanan Yapay Zekaya sahip tam otomatik bir sera sistemi yapmıştır. Araştırmacılar bu çalışmada Makina öğrenimi algoritmaları kullanmıştır. Bu çalışma gerçek bir serada test edilmiş ve başarılı sonuç elde edilmiştir [64]. Çalışmanın arayüz program Şekil 2.12 'de gösterilmiştir.

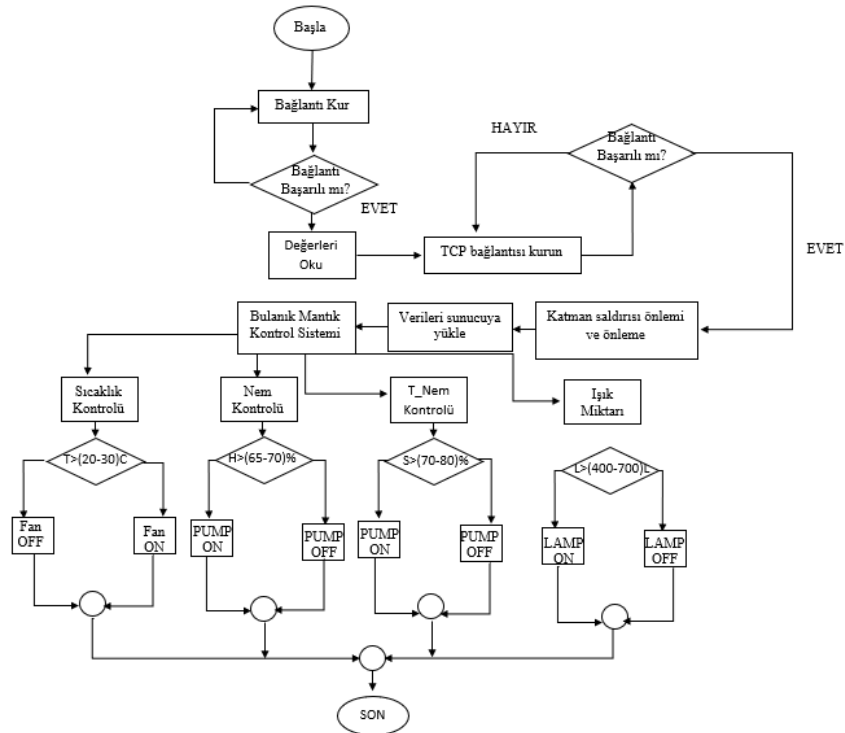


Şekil 2.12. Arayüz programı [64].

Fen He ve Chengwei Ma tarafından Kuzey Çin kışında iç sera nemini modellemek için PCA `ya dayalı bir geri yayımlı sinir ağı (BPNN) kullanmıştır. İçerideki nemi etkileyen çevre faktörleri, tümü veri örnekleri olarak toplanan dış hava sıcaklığı ve nemi, rüzgar hızı, güneş radyasyonu, iç hava sıcaklığı, üst havalandırma ve yan havalandırma açıklığı ve güneşlik perdesinin açık oranını içermektedir. Bu veri örneklerinden PCA aracılığıyla 4 ana faktör çıkarılmış ve ana faktörler ile orijinal veriler arasındaki ilişki tartışılmıştır. Temel bileşen değerleri BPNN'nin girdisi olarak alındığında, model iyi bir performans göstermiştir. PCA'ya dayalı BPNN'nin performansları ile NN modelini oluşturmak için kullanılmamış 20 veri örneği ile adım adım regresyon yöntemi arasında bir karşılaştırma yapılmış ve adım adım regresyon yönteminin tahmini, PCA'ya dayalı BPNN'den daha az doğru olmuştur [65].

Sultana Jahan Soheli ve diğer araştırmacılar, uyarlanabilir bir nöro bulanık çıkarım sistemi (ANFIS) ve IOT tabanlı otomatik bir akıllı sera sistemi yapmıştır. Yapılan

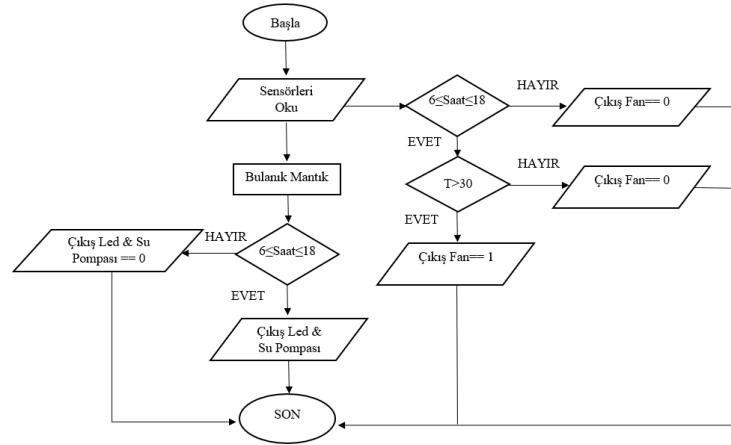
çalışmada, sıcaklık, nem, güneş ışığı ve toprak-nem gibi dört çeşit hava durumu verileri sensörler kullanılarak gerçek zamanlı olarak toplanmıştır. Toplanan bu veriler daha sonra bulanık kontrol sistemine giriş değişkenleri olarak dahil edilmiştir. Veri aktarımı için GSM kullanılmıştır. Bulanık Çıkarım Sistemi (FIS) düğümü, IOT algılama katmanını verileri uygulama katmanına aktarmak için aynı ağları kullanmıştır. Veri güvenliğini sağlamak için, dört tür potansiyel IOT algılayıcı katmanını saldırısı ele alınmış ve karışıklık matrisi aracılığıyla gerçekleştirme olasılıkları gösterilmiştir. Yapılan çalışma gerçek ticari serada test edilmiş ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir [66]. Çalışmanın akış diyagramı Şekil 2.13'de gösterilmiştir.



Şekil 2.13. Akış diyagramı [66].

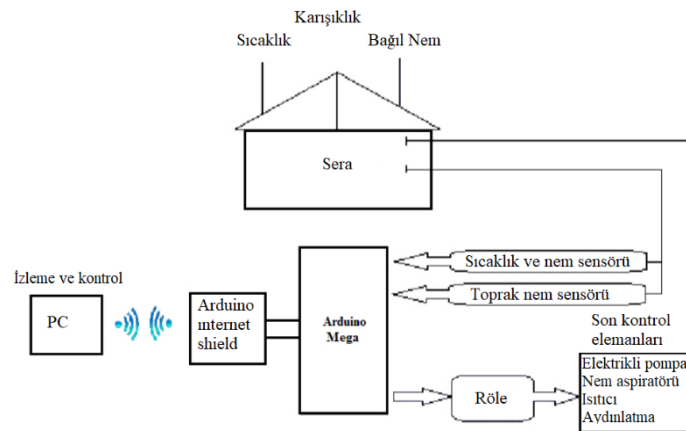
D.Kurniawan ve A.Witanti, IOT konsepti ile Blynk uygulaması üzerinden sera koşullarının gerçek zamanlı olarak her yerden izlenebileceği ve ayrıca bulanık mantık yöntemi ile çıktıların otomatik olarak kontrol edilebileceği bir sistem kurmuştur. Bu araştırmadaki kontrolün odak noktası, mini su pompası kullanılarak sulamanın süresi ve şerit led kullanılarak ışık şiddeti ayarı olmuştur. Bu sistem aynı zamanda sıcaklık 31°C ve üzerine çıktığında devreye girecek olan fan ile donatılmıştır. Bu sistemde, DHT22 sensörü (hava sıcaklığı ve nem), toprak nem sensörü, su seviyesi sensörü, LDR sensörü (ışık şiddeti) ve Arduino Mega 2560 mikrodenetleyici ve DS3231 saat modülü kullanılmıştır. Test sonuçları, bulanık mantık su pompasının doğruluğunu %98,3 ve

bulanık mantık şerit led doğruluğunu %99,6 göstermiştir [67]. Çalışmanın akış şeması Şekil 2.14'de gösterilmiştir.



Şekil 2.14. Çalışma akış şeması [67].

Carlos Robles Algarin ve diğer araştırmacılar tarafından, bulanık mantık kullanılarak bir seranın izlenmesi ve uzaktan kontrolü için düşük maliyetli bir sistemin tasarımı ve uygulaması yapılmıştır. Kontrol sistemi için, çevre sıcaklığı, toprak nemi, bağıl nem ve aydınlatma için kontrol eylemlerini izlemek ve gerçekleştirmek üzere bulanık bir algoritma ile bir Arduino Mega kartı programlanmıştır. Tarımsal ilginin ana göstergelerini görselleştirmek ve havalandırma, sisleme sistemleri ve yağmurlama sulama gibi araçlara erişim sağlamak için bir web sitesi tasarlanmıştır. Web sayfasına bağlantı için bir Arduino Ethernet Shield kullanılmıştır. Böylece yerel alan ağı kurularak sera iklim değişkenlerinin manuel veya otomatik olarak izlenmesi ve kontrolü mümkün olmuştur. Tasarlanan uygulama ile sera içerisindeki iklim koşullarının konfigürasyonuna, izlenmesine ve kontrolüne erişim sağlanmıştır [68]. Çalışmanın blok diyagramı Şekil 2.15'de gösterilmektedir.

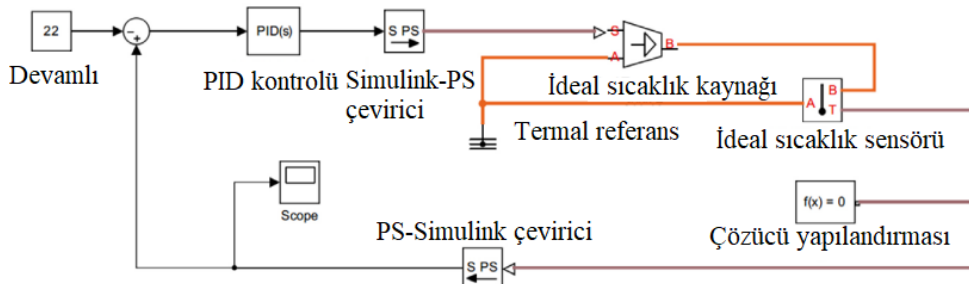


Şekil 2.15. Sistemin blok diyagramı [68].

Medhat A. Tawfeek ve diğer araştırmacılar, Uyarlanabilir parçacık sürü optimizasyonu (PSO) ve Yapay Sinir Ağları kullanarak sürdürülebilir sera sistemi yapmıştır. Önerilen uyarlanabilir PSO-ANN ile bilinen ve kullanılan diğer yöntemler arasında farklı veri kümeleri üzerinde karşılaştırmalı bir çalışma uygulanmıştır. Sonuçlar, önerilen Uyarlanabilir PSO-ANN'nin kalitesini çeşitli standart ölçümlerden kanıtlamaktadır. Önerilen PSO-ANN ile, %94.8 doğruluk, %91.15 kesinlik, %97.93 geri çağırma ve %94.42 F1 skoru elde edilmiştir. Akıllı serada zeytin yetiştirme vaka çalışması, önerilen uyarlanabilir PSO-ANN ve IOT'tan teknolojik araçlarla gerçekleştirilmiştir. IOT teknolojisinin gelişmiş araçları, zeytin yetiştiriciliğinin gerekli tüm prosedürlerini kontrol etmek için analiz etmektedir. Bu çalışmanın amacı, iklimdeki değişikliklere uyum sağlamak için gerekli gübreleri ve sulama suyunu ele almaktır. Elde edilen sonuçlar, önerilen uyarlanabilir PSO-ANN ve IOT kullanılarak akıllı zeytin yetiştiriciliğinin yüksek kalite ve verimliliğe sahip olduğunu göstermektedir [69].

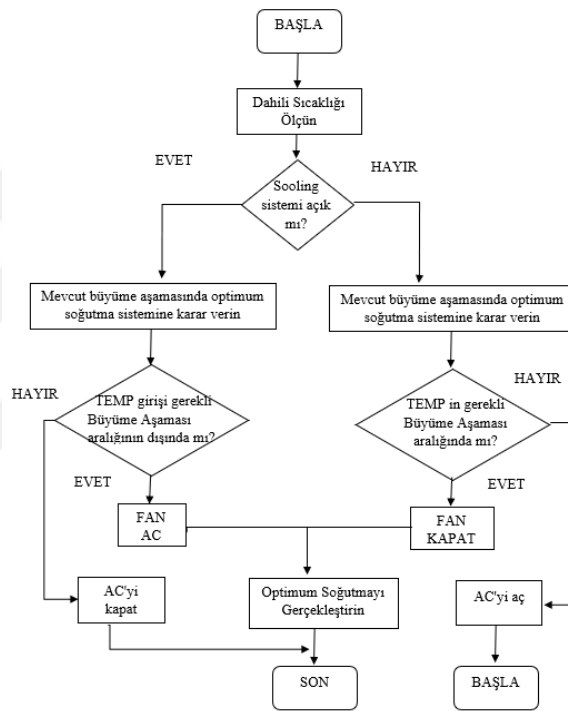
Aghus Sofwan ve diğer araştırmacılar, Levenberg-Marquardt'ın yapay sinir ağları yöntemi kullanılarak sera içi sıcaklığın 30 dakika sonrasını tahmin etmek için bir çalışma yapmıştır. Sistemde girdi olarak seranın iç-dış nemi, ışık şiddeti ve dış sıcaklığı kullanılmıştır. Bu çalışmada, eğitimde %99 oranında başarı elde edilmiştir. Ayrıca LevenbergMarquardt'ın yöntemi sıcaklığı bastırma açısından bulanık yöntem ile karşılaştırılmıştır. Sera içindeki sıcaklık aralığının sonucu, birincisi ve ikincisi için sırasıyla $25 \pm 1,48^{\circ}\text{C}$ ile $30 \pm 0,16^{\circ}\text{C}$ ve $25 \pm 2,5^{\circ}\text{C}$ ile $30 \pm 8,7^{\circ}\text{C}$ olmuştur [70].

Gopal Chaudhary ve diğer araştırmacılar, PID ve bulanık mantık denetleyicilerinin uygulanmasıyla akıllı sera sistemi hazırlamıştır. Bu çalışmanın amacı, gözlemci sistemin seranın farklı parametrelerini kontrol etmesi olmuştur. Sistem, seralarda verimi artıracak parametreler üzerine kurulmuştur. Bu çalışma Matlab simulinkte simülasyon olarak yapılmıştır [71]. Çalışmanın sıcaklık diyagramı Şekil 2.16'da gösterilmiştir.



Şekil 2.16. Sıcaklık için PID kontrol [71].

Jo-Ann V. Magsumbol ve diğer araştırmacılar, mikroklimatik bir durumda sıcaklık dalgalanmalarını çözmek için, dış sıcaklık faktörünü de göz önünde bulundurarak sera içinde gerekli sıcaklığı sağlayacak soğutma sistemini tetiklemek için ileri beslemeli bir sinir ağı kullanmıştır. Bu akıllı soğutma sistemi, optimum mahsul büyümesi için dahili sıcaklığı ayarlama sürecinin tamamını otomatik hale getirmiştir. Yapılan çalışmada kullanılan toplam verinin %70'i eğitimde, doğrulama ve test için ise %30'u kullanılmıştır. Sonuçlar, gizli katmanda 10 nöron bulunan ileri beslemeli bir sinir ağıının en iyi performansı verdiğini göstermektedir [72]. Sistemin akış diyagramı Şekil 2.17'de gösterilmiştir.



Şekil 2.17. Çalışmanın akış diyagramı [72].

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Problemin Tanımı

Bu çalışma, Arduinodan, çeşitli sensörlerden ve bileşenlerden oluşan, Yapay Zeka Tabanlı Akıllı Sera Sistemi çalışmasıdır. Sıcaklık, bağıl nem, ışık şiddeti, CO₂ ve toprak nem bilgilerini kendinde birleştiren Yapay Zeka Tabanlı Akıllı Sera Sistemi, zamanlama prensibine dayalı olarak çalışmaktadır. Bu sistemin zamana dayalı olarak yapmakta maksadımız yukarıda belirtilen değerlerin bir-birine karşı etkisinin olmasıdır.

3.2. Veri Seti

Seralarda, ortam kontrolü denildiğinde iç sıcaklık, bağıl nem, toprak nem, ışık şiddeti, CO₂ miktarı değerlerinin doğru şekilde izlenmesi ve sağlanması olmaktadır. Bu parametrelerin, seralarda ortam kontrolü için önemliliği literatür kısmında bahsedilen çalışmalarda da kendi yansımasını bulmuştur. Çalışmada, bu parametrelerin önemliliği göz önünde bulundurularak veri toplanılması için 0.24m²'lik bitki serasında testler yapılmıştır. Testlerin yapımı aşamasında, parametrelerin birbirine karşı olan etkisi görülmüştür. Bu etkinin minimize edilmesi ve ortamın doğru bir şekilde kontrol edilmesi amacıyla cihazların belirli bir süre kapsamında çalıştırılması kararı alınmıştır. Tümü bu değerlerden oluşan veri setinin bir kısmı Tablo 3.1'de gösterilmiştir.

Tablo 3.1. Veri seti

Giriş Nitelikleri					Çıkış Nitelikleri					
°C	%	IM	TN	PPM	I. Ped	N. Piezo	Led	S. Motoru	C. Piezo	Fan
16	60	5	130	300	100	30	20	0	45	0
17	65	10	135	350	80	15	10	0	30	0
18	70	15	140	400	60	0	0	0	15	0
19	75	20	145	450	40	0	0	0	0	50
20	80	25	150	500	20	0	0	15	0	60
21	60	5	155	550	0	30	20	30	0	50
22	65	10	160	600	0	15	10	45	0	50
23	70	15	130	300	0	0	0	0	45	50
24	75	20	135	350	0	0	0	0	30	60
25	80	25	140	400	0	0	0	0	15	60

Tablo 3.1`de gösterilen veri seti örneğinin tamamı, 11 nitelik ve 99 satır veriden oluşmaktadır. Veri setinde, °C, %, IM, TN ve PPM nitelikleri ile iklim kontrolü için gerekli sensörlerden elde edilen değerler, I. Ped, N. Piezo, Led, S. Motoru, C. Piezo ve Fan nitelikleri ile ise cihazların çalışma süreleri gösterilmiştir. Bu niteliklerle bağlı detaylı açıklama Tablo 3.2`de gösterilmiştir.

Tablo 3.2. Niteliklerin açıklaması

Simgeler	Açıklama
°C	Sıcaklık Miktarı
%	Bağıl Nem
IM	Işık Miktarı
TN	Toprak Nemi
PPM	CO ₂ Miktarı
I.Ped	Isıtıcı Ped
N. Piezo	Nem Oluşturucu
Led	Aydınlatma
S. Motoru	Sulama
C.Piezo	CO ₂ miktarı sağlayan
Fan	Havalandırma

Ortamının doğru sağlanması için, sıcaklık, bağıl nem, ışık miktarı, toprak nem ve CO₂ miktarı giriş niteliklerinin olması gereken ideal değerleri Tablo 3.3` de gösterilmektedir.

Tablo 3.3. İdeal değerler

Giriş Nitelikleri	İdeal Değerleri
Sıcaklık Miktarı	21°C
Bağıl Nem	70 %
Işık Miktarı	15 IM
Toprak Nemi	145 TN
CO ₂ Miktarı	450 PPM

Burada, I. Ped, N. Piezo, Led, S. Motoru, C. Piezo ve Fan nitelikleri çıkış oldukları için veri seti 6 nitelikten oluşan 6 eşit veri setine ayrılmıştır. Bu veri setleri, Isıtıcı, Nem kontrolü, Aydınlatma, Sulama, CO₂ kontrolü ve Havalandırma başlıklarından oluşmaktadır. Isıtıcı veri seti, sıcaklık miktarı, bağıl nem, ışık miktarı, toprak nem, CO₂

miktarı ve ısıtıcı ped niteliklerinden oluşmaktadır. Isıtıcı veri seti örneği, Tablo 3.4`de gösterilmiştir.

Tablo 3.4. Isıtıcı veri seti

°C	%	IM	TN	PPM	I. Ped
16	60	5	130	300	100
17	65	10	135	350	80
18	70	15	140	400	60
19	75	20	145	450	40
20	80	25	150	500	20
21	60	5	155	550	0
22	65	10	160	600	0
23	70	15	130	300	0
24	75	20	135	350	0
25	80	25	140	400	0
26	60	5	145	450	0

Serada, bağıl nemin kontrolü için oluşturulan Nem kontrolü veri seti, sıcaklık miktarı, bağıl nem, ışık miktarı, toprak nem, CO₂ miktarı ve nem oluşturu değelerinden ibaret niteliklerden oluşmaktadır. Nem Kontrolü veri seti için örnek, Tablo 3.5 `de gösterilmiştir.

Tablo 3.5. Nem kontrolü veri seti

°C	%	IM	TN	PPM	N. Piezo
16	60	5	130	300	30
17	65	10	135	350	15
18	70	15	140	400	0
19	75	20	145	450	0
20	80	25	150	500	0
21	60	5	155	550	30
22	65	10	160	600	15
23	70	15	130	300	0
24	75	20	135	350	0
25	80	25	140	400	0
26	60	5	145	450	30

Serada, aydınlatma için oluşturulan Aydınlatma veri seti, sıcaklık miktarı, bağıl nem, ışık miktarı, toprak nem, CO₂ miktarı ve aydınlatma değerlerinden ibaret niteliklerden oluşmaktadır. Aydınlatma veri seti için örnek, Tablo 3.6 `da gösterilmiştir.

Tablo 3.6. Aydınlatma veri seti

°C	%	IM	TN	PPM	Led
16	60	5	130	300	20
17	65	10	135	350	10
18	70	15	140	400	0
19	75	20	145	450	0
20	80	25	150	500	0
21	60	5	155	550	20
22	65	10	160	600	10
23	70	15	130	300	0
24	75	20	135	350	0
25	80	25	140	400	0
26	60	5	145	450	20

Serada, sulama kontrolü için oluşturulan Sulama veri seti, sıcaklık miktarı, bağıl nem, ışık miktarı, toprak nem, CO₂ miktarı ve su motorunun çalışma süresi değerlerinden ibaret niteliklerden oluşmaktadır. Sulama veri seti için örnek, Tablo 3.7 `de gösterilmiştir.

Tablo 3.7. Sulama veri seti

°C	%	IM	TN	PPM	S. Motoru
16	60	5	130	300	0
17	65	10	135	350	0
18	70	15	140	400	0
19	75	20	145	450	0
20	80	25	150	500	15
21	60	5	155	550	30
22	65	10	160	600	45
23	70	15	130	300	0
24	75	20	135	350	0

25	80	25	140	400	0
26	60	5	145	450	0

Serada, CO₂ miktarının kontrolü için oluşturulan CO₂ veri seti, sıcaklık miktarı, bağıl nem, ışık miktarı, toprak nem, CO₂ miktarı ve CO₂ miktarını sağlayan cihazın çalışma süresi değerlerinden ibaret niteliklerden oluşmaktadır. CO₂ kontrolü veri seti için örnek, Tablo 3.8`de gösterilmiştir.

Tablo 3.8. CO₂ kontrolü veri seti

°C	%	IM	TN	PPM	C. Piezo
16	60	5	130	300	45
17	65	10	135	350	30
18	70	15	140	400	15
19	75	20	145	450	0
20	80	25	150	500	0
21	60	5	155	550	0
22	65	10	160	600	0
23	70	15	130	300	45
24	75	20	135	350	30
25	80	25	140	400	15
26	60	5	145	450	0

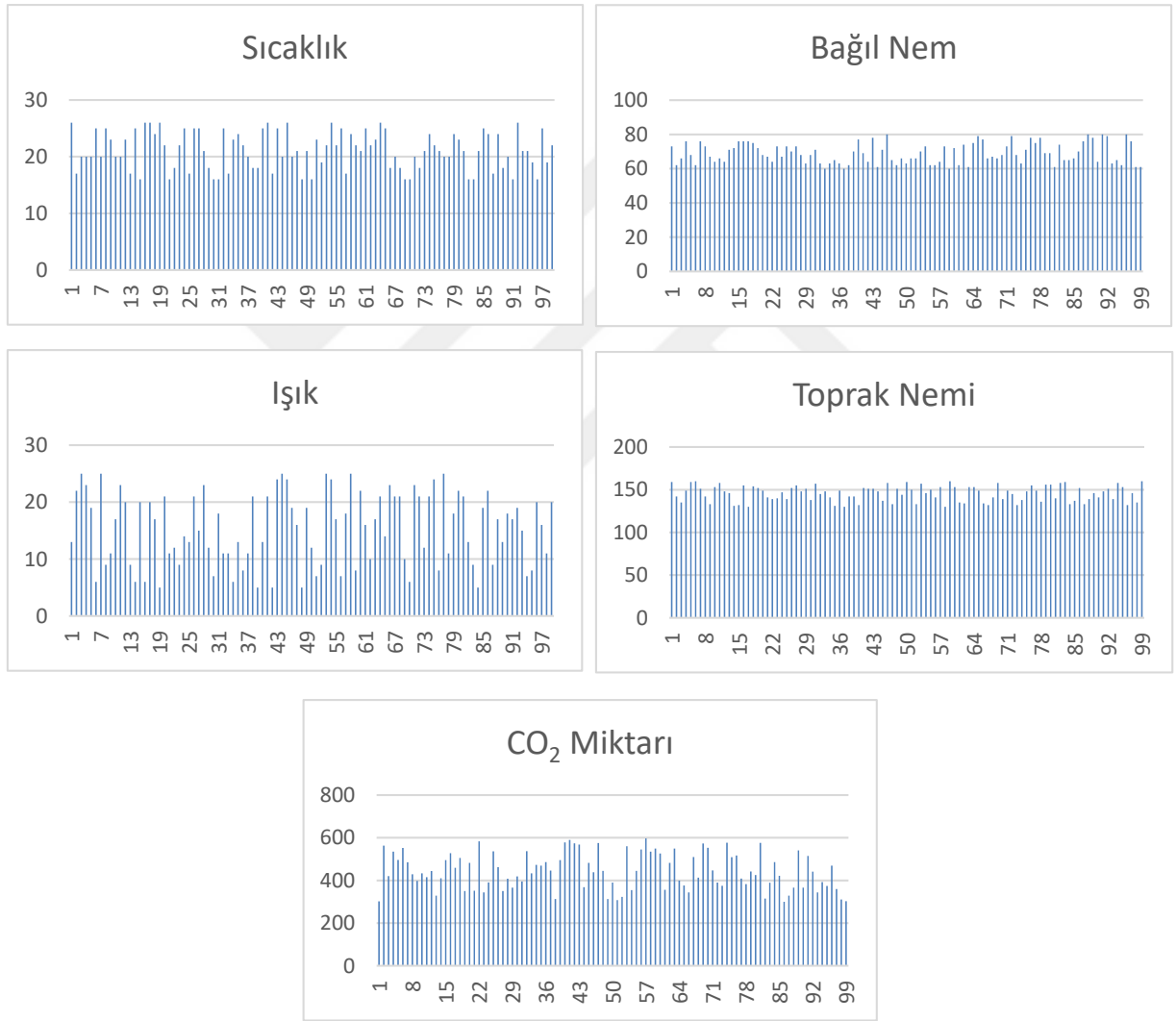
Serada, havalandırma kontrolü için oluşturulan Havalandırma veri seti, sıcaklık miktarı, bağıl nem, ışık miktarı, toprak nem, CO₂ miktarı ve fanların çalışma süresi değerlerinden ibaret niteliklerden oluşmaktadır. Havalandırma veri seti için örnek, Tablo 3.9 `da gösterilmiştir.

Tablo 3.9. Havalandırma veri seti

°C	%	IM	TN	PPM	Fan
16	60	5	130	300	0
17	65	10	135	350	0
18	70	15	140	400	0
19	75	20	145	450	50
20	80	25	150	500	60
21	60	5	155	550	50
22	65	10	160	600	50

23	70	15	130	300	50
24	75	20	135	350	60
25	80	25	140	400	60
26	60	5	145	450	0

Veri setinde, sıcaklık değeri, bağıl nem, ışık değeri, toprak nem ve CO₂ değerlerinin izlenmesi ve bu değerlerde herhangi bir sapmanın olduğunun görülmesi için niteliklerin grafikleri oluşturulmuştur. Oluşturulan grafiklerin görselleri, Şekil 3.1`de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Niteliklerin grafikleri

Sonraki adım ise, verileri 0-1 değerleri arasında ölçeklendirmek için Normalizasyon formülü ile normalleştirilmiştir. Normalizasyon formülü, Denklem 3.1`de gösterilmiştir.

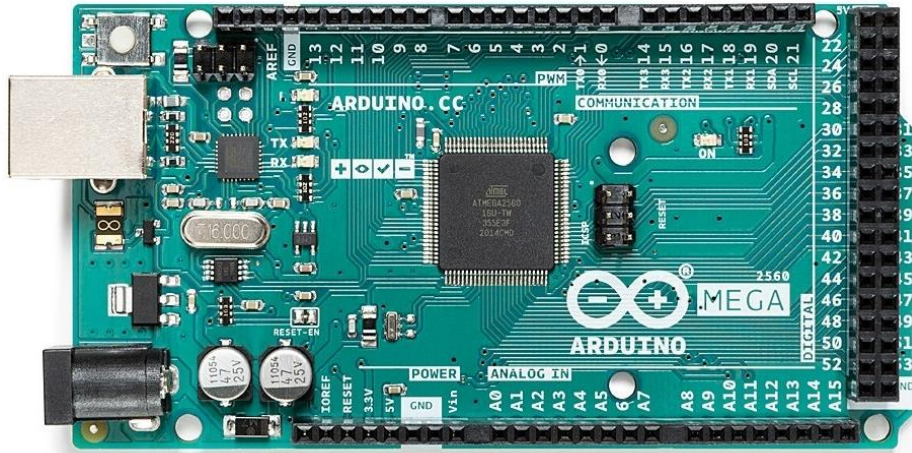
$$N(x_i) = \frac{x_i - x_{min}}{x_{max} - x_{min}} \quad (3.1)$$

Formülde, $N(x_i)$ normalizasyon sonucunu, x_i hakiki değeri, x_{max} maximum değeri, x_{min} ise minimum değeri göstermektedir. Makina Öğrenimi algoritmaları ile yapılan eğitim zamanı, veri setlerine 5 katlı çapraz doğrulama işlemi uygulanmıştır.

3.3. Mikrodenetleyici Kart ve Elektronik Bileşenler

Bu, tez çalışmasında Arduino kullanılmıştır. Arduino kullanılmasıdaki maksat, maliyetinin ucuz olması olmuştur. Sensörlerle değerlerin okunması ve bileşenlerin çalıştırılması Arduino vasıtasıyla yapılmıştır. Arduino, elektronik projeler oluşturmak için kullanılan açık kaynaklı bir çalışma alanıdır. Arduino, hem fiziksel programlanabilir bir devre kartından hem de bilgisayar kodunu yazmak ve yazılan kodu devre kartına yüklemek için kullanılan bir IDE `den oluşmaktadır.

Arduino'nun 1'den fazla kartları bulunmaktadır. Bu çalışmada, Arduino Mega 2560 kartı kullanılmıştır. Bu kartı seçmekte maksadım dijital pinlerin çok olması ve sensör ve bileşenlerin çalışması için gerekli kapasiteye sahip olmasıdır. Arduino Mega 2560'ın görseli Şekil 3.2 `de gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Arduino Mega [73].

ATmega2560 mikro denetleyicisine sahip olan ve 54 giriş çıkış pini, 16 analog pini ve 4 serial bağlantıdan oluşan Arduino Mega 2560, karmaşık projelerde kullanılmaktadır. AVR RISC kontrollü, tek bir saat döngüsünde güçlü blokları yürüten bir mikro denetleyicidir [73]. Daha geniş şekilde Arduino Meganın özellikleri Tablo 3.10`da gösterilmiştir.

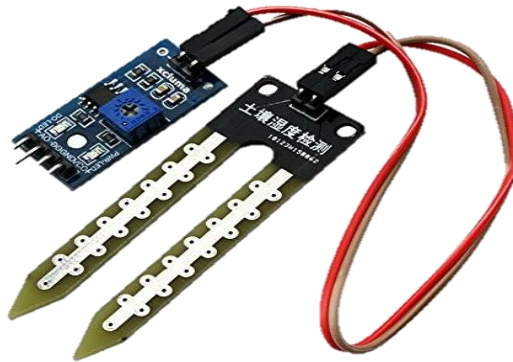
Tablo 3.10. Arduino Mega özellikleri [73].

Mikrodenetleyici	Atmega2560
Çalışma gerilimi	5 V

Giriş Voltajı (önerilir)	7-12V
Giriş Voltajı (limit)	6-20V
Dijital G/Ç Pimleri	54 (bunlardan 15'i PWM çıkışı sağlar)
Analog Giriş Pimleri	16
G/Ç Pimi Başına DC Akımı	20 mA
3.3V Pim için DC Akımı	50 mA
Flash Bellek	256 KB, bunun 8 KB'si önyükleyici tarafından kullanılır
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Saat hızı	16 MHz
LED_BUILTIN	13
Uzunluk	101.52 mm
Genişlik	53.3 mm
Ağırlık	37 g

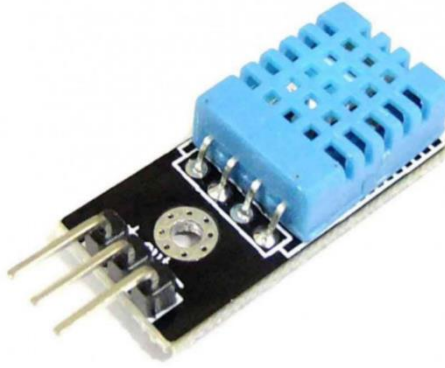
Serada, doğru ortamın sağlanması için farklı sensörler ve cihazlar kullanılmıştır. Verileri zamansal takip etmek ve sera ve arayüz arasında veri alış-verişi için ise bluetooth modülü kullanılmıştır.

Serada bitki için gerekli olan toprak nem değerinin ölçülmesi için toprak nem sensörü kullanılmıştır. Toprak nemini ölçmek için sensör toprağa batırılmalıdır. Proplar arasında yaranan fark toprak nemini göstermektedir. Sensör, GND, VCC, A0, D0 pinlerinden oluşmaktadır. Bu sensör hem dijital pine hem de analog pine bağlanılarak kullanılmaktadır [74]. Sensör 3.3V ve 5V gerilimle çalışmaktadır. Sensörün görseli Şekil 3.3`de gösterilmiştir.



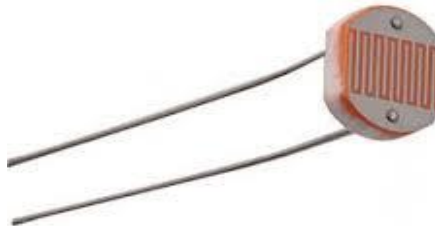
Şekil 3.3. Toprak nem sensörü [74].

Sıcaklık ve Bağıl nem değerlerinin ölçülmesi için DHT-11 sıcaklık ve nem sensörü kullanılmıştır. Sensörün sıcaklık ölçümü 0 C° -50 C° aralığında, bağıl nem ölçümü ise 20%-95% aralığındadır. DHT-11 sensörünün hata oranı $\pm 5\%$ ve ± 5 C°`dir. Sensor 5V gerilimle çalışmaktadır [75]. Sensörün görseli Şekil 3.4`de gösterilmiştir.



Şekil 3.4. DHT11 sıcaklık ven nem sensörü [75].

Işık miktarını ölçmek için LDR kullanılmıştır. LDR, ışığa dayalı direnç olup, ışık miktarını ölçmek için kullanılmaktadır. Aynı zamanda LDR foto direnç olarakta adlandırılmaktadır. LDR pasif sensördür. LDR`ler bulundukları devrelerde, değişen dirence göre çıkış sağlamaktadır. Dışarıdan yapılan fiziksel müdahaleler neticesinde ışık miktarı değer olarak elde edilmektedir [76]. LDR sensörünün görseli Şekil 3.5`de gösterilmiştir.



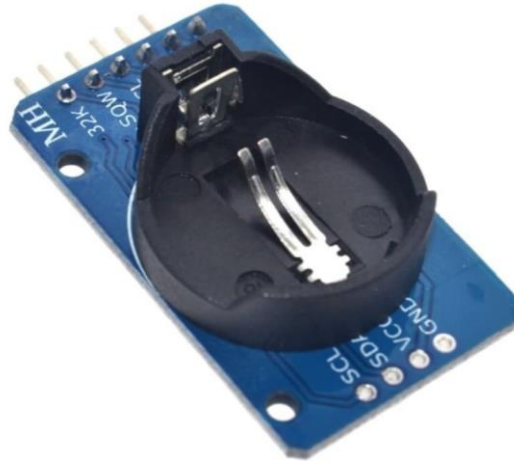
Şekil 3.5. LDR sensörü [76].

CO₂ değerini ölçülmesi için MQ-135 sensörü kullanılmıştır. MQ-135 sensörüyle, NH₃, NO_x, alkol, benzen, ve duman gibi gazların ölçülmesi mümkündür. MQ-135`in CO<sub>2</sub> ölçüm miktarı 0-10000 ppm arasında değişmektedir. Sensörün hem analog pinine hem de dijital pinine bağlanılarak çalıştırılması mümkün olmaktadır. MQ-135 sensörü 5V gerilimle çalışmaktadır [77]. MQ-135`in görseli Şekil 3.6`da gösterilmiştir.



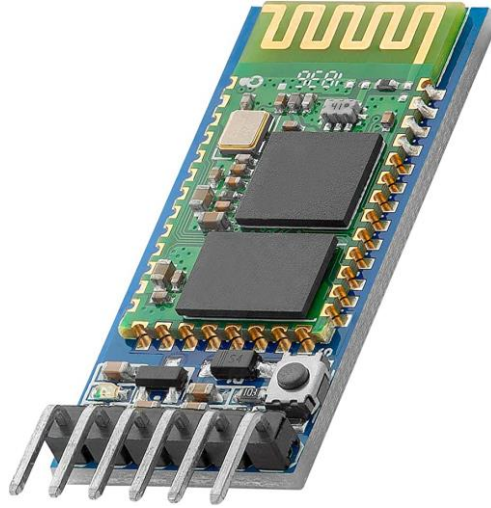
Şekil 3.6. MQ-135 sensörü [77].

Serada değerleri eş zamanlı okumak ve yapılan çalışmaların zamana göre izlenilebilmesi için DS3231 saat modülü kullanılmıştır. Bu modül I2C arayüzüne sahiptir. 5V gerilimle çalışan modül yılda 1 dakika sapma göstermektedir [78]. DS 3231 saat modülünün görseli Şekil 3.7’de gösterilmiştir.



Şekil 3.7. DS3231 saat modülü [78].

Sistemde veri alış-verişi için HC-05 bluetooth modülü kullanılmıştır. Bluetooth 2.0`ı destekleyen modül, açık alanlarda 10 m mesafeye kadar iletişim sağlamaktadır. HC-05 modülü, 2.4GHz frekansla haberleşmektedir. Modül kendisi 5V gerilimle, RX ve TX pini ise 3.3 V gerilimle çalışmaktadır [79]. Bluetooth Modülün görseli Şekil 3.8`de gösterilmiştir.



Şekil 3.8. HC05 bluetooth modülü [79].

Serada hava sirkülasyonunun sağlanması için 12V gerilimle çalışan dc fanlar kullanılmıştır. Dc fanı Arduino Megaya bağlayıp ve çalıştırmak için motor sürücüler kullanılmaktadır [80]. Fan görseli, Şekil 3.9`da gösterilmiştir.



Şekil 3.9. Dc fan [80].

CO₂ gübresin ve bağıl nemin sağlanması için serada piezolar kullanılmıştır. 5V gerilimle çalışan bu piezolar vasıtasıyla sera için gerekli olan CO₂ gübresi ve nemi buhar halinde püskürtülerek sağlanmaktadır [81]. Piezonun görseli Şekil 3.10`da gösterilmiştir.



Şekil 3.10. Buhar piezosu [81].

Bitki için gerekli toprak neminin sağlanması için R385 mini su pompası kullanılmıştır. Bu su pompası 6V-12V aralıklı gerilimle çalışmaktadır. Bu su pompası dakikada 1.5-2 l su pompalama kapasitesine sahiptir. Su pompasını çalıştırmak için motor sürücüler kullanılmaktadır [82]. Su pompasının görseli Şekil 3.11’de gösterilmiştir.



Şekil 3.11. Su motoru [82].

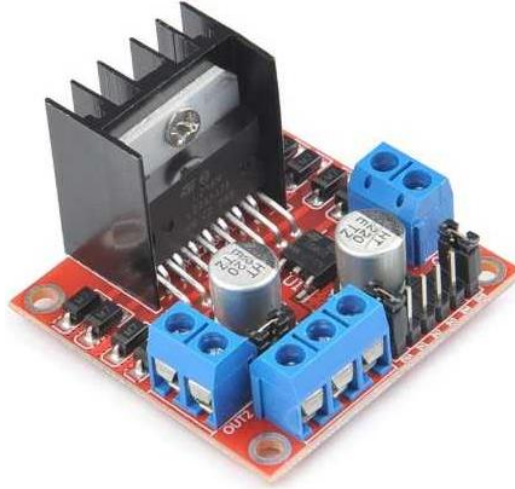
Serada aydınlatma için 12 V gerilimle çalışan 3 çipli güneş sarısı renginde şerit led kullanılmıştır [83]. Şerit ledin görseli Şekil 3.12’de gösterilmiştir.



Şekil 3.12. Şerit led [83].

Su pompasını, şerit ledi, vantilatörleri, ısıtıcı pedi, piezoları çalıştırmak için L298N motor sürücüsü kullanılmıştır. L298N DC çevirici olduğu için motorlardan başka, bu

türlü cihazların çalıştırılmasında kullanılması mümkündür [84]. L298N 'nin görseli Şekil 3.13`de gösterilmiştir.



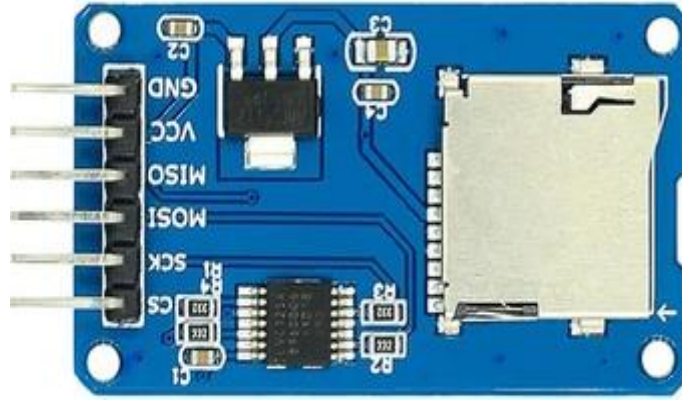
Şekil 3.13. L298N motor sürücü ve çevirici [84].

Isıtma problemini çözmek için ise rezistans tellerden oluşan 5V gerilimle çalışan ısıtıcı ped kullanılmıştır [85]. Isıtıcı pedin görseli Şekil 3.14`de gösterilmiştir.



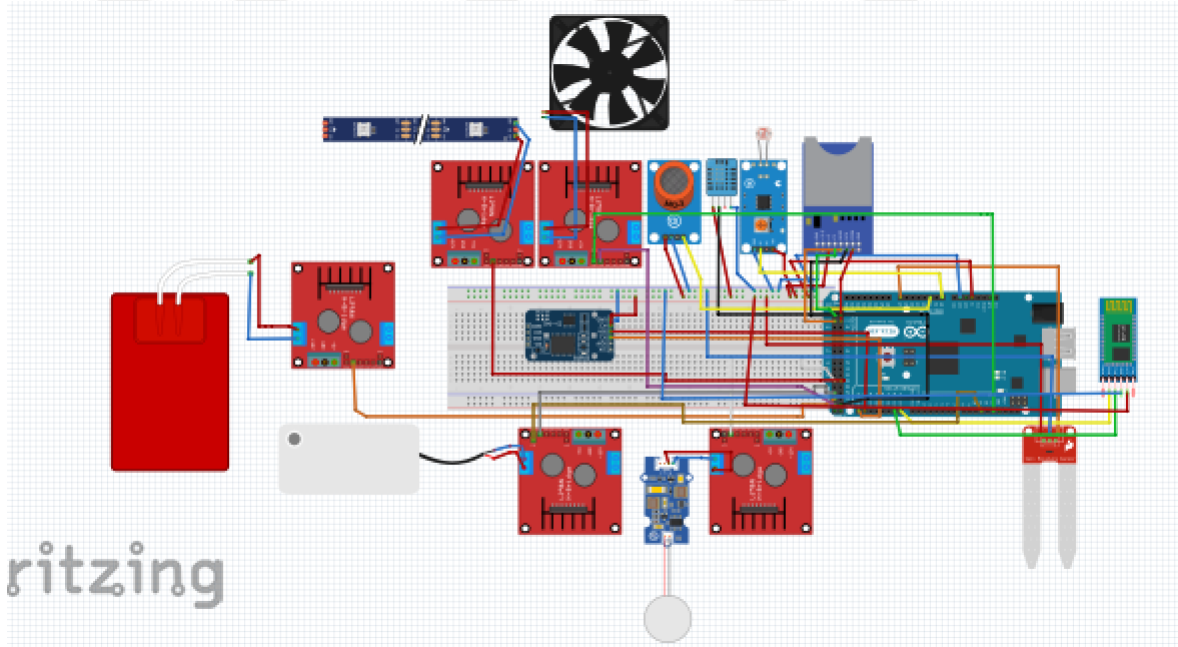
Şekil 3.14. Isıtıcı ped [85].

Sera sisteminde verileri ve çalışma sürelerini kaydetmek için ise SD kart modülü kullanılmıştır. Bunun yapılmasındaki maksat, serada herhangi bir bağlantı problemi yaşandığı zaman yapılan işlemlerin izlenmesi olmaktadır. Şekil 3.15`de SD kart modelinin resmi gösterilmektedir [86].



Şekil 3.15. SD kart modülü [86].

Tüm bu bileşen ve sensörlerin toplandığı elektronik sistemin şeması fritzing programında çizilmiştir. Bileşen ve sensörler Arduino Mega 2560 mikro işlemcisine bağlanmıştır. Sistemin görseli Şekil 3.16'da gösterilmiştir.



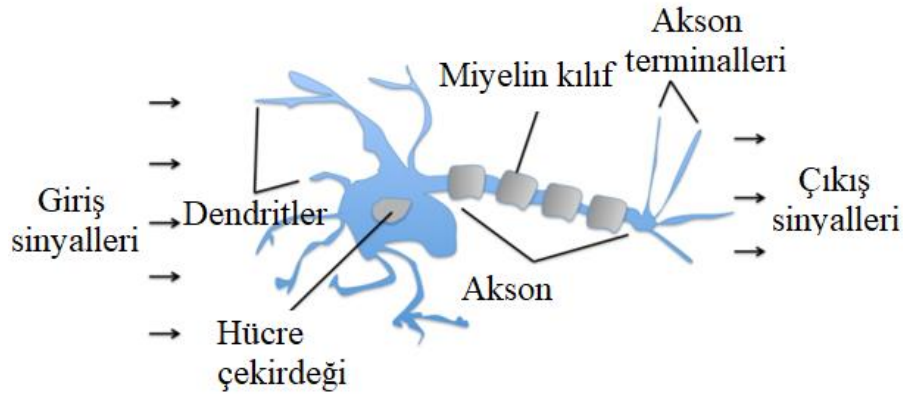
Şekil 3.16. Sistemin fritzing şeması

3.4.Yöntemler

3.4.1. Ortalamalı Algılayıcı (Averaged Perceptron Ova)

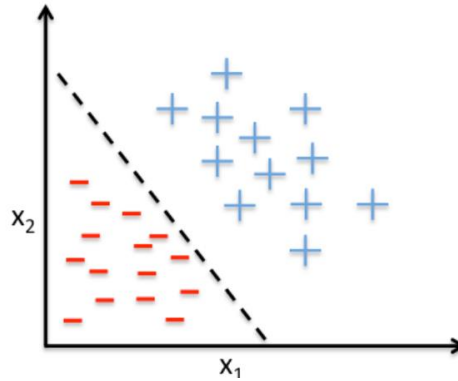
Algılayıcıya ilişkin ilk fikir, biyolojik nöronlar ile ikili çıkışlı basit mantık kapıları arasında bir analogi çizen Warren McCulloch ve Walter Pitts'in 1943'teki çalışmasına dayanmaktadır. Daha sezgisel bir ifadeyle nöronlar, biyolojik bir beyindeki bir sinir ağının alt birimleri olarak anlaşılabilir. Burada, değişken büyüklükteki sinyaller dendritlere ulaşmaktadır. Bu giriş sinyalleri daha sonra nöronun hücre gövdesinde

toplanır ve biriken sinyal belirli bir eşiği aşarsa akson tarafından iletilecek bir çıkış sinyali üretmektedir [87]. Biyolojik nöronun şeması, Şekil 3.17’de gösterilmiştir.



Şekil 3.17. Biyolojik nöronun şeması [87].

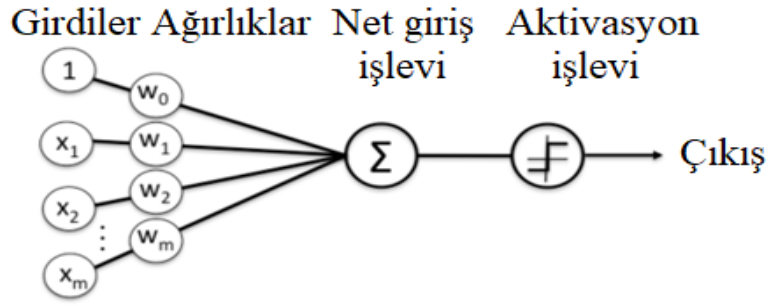
McCulloch ve Walter Pitt'ten birkaç yıl sonra, Frank Rosenblatt Perceptron öğrenme kuralının ilk konseptini yayınlamıştır. Ana fikir, bir nöronun ateşlenip ateşlenmeyeceğine karar vermek için girdi özellikleriyle çarpılan ağırlıkların değerlerini öğrenmek için bir algoritma tanımlamaktır. Örüntü sınıflandırması bağlamında, böyle bir algoritma, bir örneğin bir sınıfa mı yoksa diğerine mi ait olduğunu belirlemek için yararlı olabilir [88]. İkili sınıflandırma için doğrusal karar sınırı örneği, Şekil 3.18’de gösterilmiştir.



Şekil 3.18. İkili sınıflandırma için doğrusal karar sınırı örneği [88].

Algılayıcı algoritmasını daha geniş makine öğrenimi bağlamına yerleştirmek için, Algılayıcı, denetimli öğrenme algoritmaları kategorisine aittir, tek katmanlı ikili doğrusal sınıflandırıcılar daha spesifikler. Kısaca görev, bir dizi girdi değişkenine dayalı olarak belirli bir veri noktasının iki olası kategoriden hangisine ait olduğunu tahmin etmektir [88].

İndirgemeci bir yaklaşımın aşırı bir örneği gibi gelebilir, ancak bu "eşikli" algılayıcının arkasındaki fikir, beyindeki tek bir nöronun nasıl çalıştığını taklit etmektir: "Ateşler" veya "ateşlemez". Bunu bir "makine öğrenimi" algoritması yapan şey, Frank Rosenblatt'ın algılayıcı öğrenme kuralı fikri olmaktadır. Algılayıcı algoritması, doğrusal olarak ayrılabilir iki sınıf arasında ayırım yapmamıza izin veren doğrusal karar sınırı çizmek için giriş sinyallerinin ağırlıklarını öğrenmekle ilgilidir [88]. Rosenblatt algılayıcısının şeması, Şekil 3.19'da gösterilmiştir.



Şekil 3.19. Rosenblatt algılayıcısının şeması [88].

Averaged Perceptron Ova algoritması, ikili sınıflandırma görevleri için kullanılan bir makine öğrenimi algoritmasıdır. Girdi özelliklerinin ağırlıklı toplamına dayalı olarak tahminler yapan doğrusal bir sınıflandırıcı olan Perceptron algoritmasının bir çeşidi olmaktadır [89].

Averaged Perceptron Ova algoritması, tahmin edilen çıktının gerçek çıktıyla eşleşip eşleşmemesine bağlı olarak girdi özelliklerinin ağırlıklarını ayarlayarak eğitim verilerini yineleyerek çalışmaktadır. Algoritma, sınıflandırma hatasını en aza indiren bir dizi ağırlık üzerinde birleşene kadar yinelemeye devam etmektedir [89].

Perceptron algoritmasından farklı olarak, Averaged Perceptron Ova algoritması, her yinelemede elde edilen ağırlıkların ortalamasını alan ek bir adım kullanmaktadır. Bu adım, aşırı uydurmayı azaltarak ve verilerdeki gürültüye karşı sağlamlığı artırarak modelin geliştirilmesini iyileştirmeye yardımcı olmaktadır [89].

Sinir ağları (özellikle derin sinir ağları) daha karmaşık sınıf sınırlarını modelleyebilirken, daha basit algılayıcı modelleri doğrusal olarak ayrılabilir kalıpları öğrenmek için uygun olmaktadır. Ancak algılayıcılar daha hızlıdır ve vakaları seri olarak işledikleri için sürekli eğitim ile algılayıcıların kullanılması mümkündür [90] [91]. Algoritmanın sözde kodu Şekil 3.20'de açıklanmaktadır.

```

# Average Perceptron Algorithm

# initialize  $\theta$ ,  $\theta_0$ ,  $\text{sum\_}\theta$ ,  $\text{sum\_}\theta_0$ , and counter with 0
 $\theta$  =  $\theta$  (vector)
 $\theta_0$  = 0 (scalar)
 $\text{sum\_}\theta$  = 0 (vector)
 $\text{sum\_}\theta_0$  = 0 (scalar)
counter = 0

# totally T epoches to iterate
for t = 1 .. T do
    # totally m data points
    for i = 1 .. m do
        # misclassify data points
        if  $y^{(i)}(\theta \cdot x^{(i)} + \theta_0) \leq 0$ 
        then
             $\theta$  =  $\theta + y^{(i)} \cdot x^{(i)}$ 
             $\theta_0$  =  $\theta_0 + y^{(i)}$ 

             $\text{sum\_}\theta$  =  $\text{sum\_}\theta + \theta$ 
             $\text{sum\_}\theta_0$  =  $\text{sum\_}\theta_0 + \theta_0$ 
            counter = counter + 1

return ( $\text{sum\_}\theta/\text{counter}$ ), ( $\text{sum\_}\theta_0/\text{counter}$ )

```

Şekil 3.20. Averaged Perceptron Ova örnek kod [91].

Perceptron algoritmasına benzer şekilde, ortalama perceptron algoritması da parametreleri güncellemek için aynı kuralı kullanmaktadır. θ ve θ_0 'nin son dönen değerleri, her yinelemede tüm θ ve θ_0 değerlerinin ortalamasını almaktadır [91].

3.4.2. Fast Forest Ova

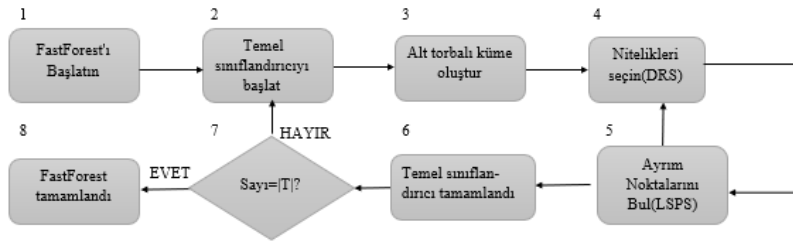
Fast Forest Ova, sınıflandırma ve regresyon görevleri için kullanılan bir makine öğrenimi algoritmasıdır. Hem rastgele ormanların hem de aşırı derecede rastgele ağaçların avantajlarını birleştiren bir tür karar ağacı topluluk yöntemi olmaktadır [92].

Algoritma, eğitim verilerinin ve özelliklerinin farklı alt kümelerini kullanarak birden fazla karar ağacı oluşturarak çalışmaktadır. Her ağaç, rastgele seçilmiş bir özellik alt kümesinin en iyi bölünmesine dayalı olarak verilerin yinelemeli olarak bölünmesiyle oluşturulmaktadır. Nihai tahmin daha sonra tüm bireysel ağaçların tahminlerinin toplanmasıyla yapılmaktadır [92].

Fast Forest Ova'nın temel özelliklerinden biri, yüksek boyutlu özellik alanlarıyla büyük veri kümelerini işleme yeteneğidir. Ayrıca diğer ağaç tabanlı topluluk yöntemlerine kıyasla nispeten hızlıdır ve bu da onu büyük veri uygulamaları için popüler bir seçim haline getirmektedir [93].

Fast Forest Ova, Microsoft Azure Machine Learning Stüdyo'da uygulanmakta ve Microsoft Azure ML algoritma kitaplığının bir parçası olarak sunulmaktadır. Dolandırıcılık tespiti, müşteri segmentasyonu ve kestirimci bakım dahil olmak üzere çeşitli uygulamalarda başarıyla kullanılmıştır [93].

Fast Forest Ova algoritması, Random Forest'in geliştirilmiş versiyonu olmaktadır. Bu topluluk algoritması ampirik testlerde eğitim süresinde ortalama %24 iyileştirme gerçekleştirmektedir. Bu nedenle alt donanım donanımına sahip cihazlar için uygun bir eğitim algoritmasıdır. Algoritma, ağaç döngüsünü başlat, ağacı başlat, alt torbalı bir veri kümesi oluştur, alt torbalı veri kümesinden bir ağaç oluştur ve ağacı ormana ekle adımlarını izleyerek çalışmaktadır [94]. Şekil 3.21` de, Fast Forest Ova algoritmasının grafiksel bir çerçevesi sunulmaktadır.



Şekil 3.21. Fast Forest Ova algoritmasının grafiği [94].

Fast Forest Ova, Random Forest' in bir türevi olduğundan, Fast Forest Ova aynı temel yaklaşımı benimsemektedir. Grafikte, $|T|$, temel sınıflandırıcıların eğitimini denetleyen bir kontrol veya "meta" sınıflandırıcı görevi görmektedir. Temel sınıflandırıcı, her ağacı budama olmadan maksimum boyuta büyütmek için "Rastgele Ağaç" karar ağacı sınıflandırıcısı üzerine kuruludur. Şekil 3.21'de, Blok 2 ile 7, çok çekirdekli işlemci sistemlerinde paralelleştirilebilen döngüyü oluşturmaktadır. Her bir temel sınıflandırıcı için süreç, Blok 3'te, $n = 0.5|D|$ boyutunda bir alt torbalı veri kümesi örneğinin oluşturulmasıyla başlamaktadır. Ağaç tümevarım süreci Blok 4'te devam etmektedir, her ağaç düğümündeki öznelik alt uzayının boyutu (DRS) tarafından, i geçerli düğüme D_i yoluyla ulaşmaktadır. Kategorik nitelikler normal olarak işlenirken sayısal nitelikler, test edilen ayrılma noktalarının sayısını azaltmak için Blok 5'te LSPS kullanılarak işlenilmektedir. Blok 6'da ağaç büyümesi tamamlanana kadar yinelemeli olarak devam etmektedir. Blok 7, oluşturulan ağaç sayısını belirlemektedir. Henüz kullanıcı tarafından seçilen ağaç sayısı $|T|$ 'ye eşit değilse, süreç Blok 2'ye döner ve yeni bir ağaç başlatılmaktadır, aksi takdirde, Fast Forest Ova modeli Blok 8'de tamamlanmaktadır [94].

3.4.3. Fast Tree Ova

Fast Tree Ova, Çoklu Eklemeli Regresyon ağacı (MART) Gradyan Artımı algoritmasının verimli bir uygulamasıdır. Gradyan Artımı, regresyon problemleri için bir

makine öğrenimi tekniğidir. Ayrıca, her yinelemede en küçük kareler hesaplanarak mevcut artışa basit bir parametreleştirilmiş işlevi (temel öğrenici) sırayla uydurarak çoklu regresyon modellerini entegre etmektedir. Olay tahmininde özellik seçimi, hesaplama verimliliğine yardımcı olmaktadır. Bu nedenle, makine öğreniminde temel bir veri ön işleme adımıdır ve girdi verilerinin boyutsallığını azaltarak ilgisiz değişkeni ortadan kaldırmanın etkili bir yoludur. Fast Tree Ova beş aşamada çalışmaktadır. Beş aşamaya, sezgisel komşu birleştirme, ağacın uzunluğunun azaltılması, mesafe modeli, NNI'lerle ağacın olasılığının en üst düzeye çıkarılması ve en sonda yerel destek değerleri dahildir [95].

Gerçek hizalamalarda Fast Tree Ova topolojileri, diğer minimum geliştirme yöntemlerinden topolojilere göre daha yüksek olasılıklara sahip olma eğilimindedir. Bu da Fast Tree Ova'nın daha yüksek kaliteli sonuçlar verdiğini göstermektedir. Hem simüle edilmiş hem de gerçek hizalamalar için Fast Tree Ova'nın buluşsal yöntemleri, kalitede ölçülebilir herhangi bir düşüşe yol açmamaktadır. Büyük aileler için Fast Tree Ova, bir mesafe matrisini hesaplamak ve depolamaktan daha az CPU zamanı ve çok daha az bellek gerektirmektedir. Fast Tree Ova'nın, onlarca veya yüzbinlerce sekans içeren hizalamalar için destek değerleri dahil olmak üzere doğru soyoluşları hesaplamak için ilk pratik yöntem olduğuna inanılmaktadır [96].

Fast Tree Ova, iki düğümün arasındaki ortalama mesafeyi tahmin etmek için profilleri kullanmaktadır. Her konumdaki profil mesafesi, karakterlerin ortalama farklılığıdır. İki profil arasındaki düzeltilmemiş mesafe, iki profilin her birindeki boşluk olmayanların oranının çarpımı ile ağırlıklandırılan bu konum bazlı mesafelerin ortalaması olmaktadır [97].

3.4.4. LightGbmMulti

LightGbmMulti, Microsoft araştırma tarafından önerilen bir karar ağacı tekniği üzerine kurulmuş bir Gradyan Artımı Karar Ağacı biçimi olmaktadır. LightGbmMulti, regresyon, sınıflandırma ve diğer makine öğrenimi sorunlarını çözmek için güçlü bir yaklaşım olmaktadır. Daha az bellek kullanır ve tahmin doğruluğunda daha iyi performans göstermektedir. LightGbmMulti, büyük veri tahmini problemlerini daha etkin bir şekilde ele almak için bilgi işlem performansını iyileştirmeyi amaçlamaktadır. LightGbmMulti algoritması iki yenilikçi teknik içermektedir, büyük bir veri setini yönettiği kabul edilen gradyan tabanlı tek taraflı örnekleme (GOSS) ve çok sayıda veri

özelliğini fazla uydurma endişesi olmadan yönetmeyi amaçlayan özel özellik gruplaması (EFB). Histogram yöntemine ve ağaç yaprağına göre büyüme yaklaşımına dayanan LightGbmMulti, eğitimi geliştirmektedir. Aynı zamanda, LightGbmMulti bellek kullanımını en aza indirmektedir [98].

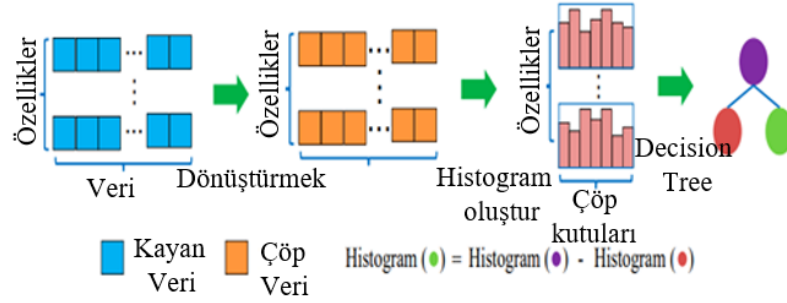
LightGbmMulti 'de veri kümesini örneklemek için GOSS kullanılmaktadır. GOSS, kazancı hesaplarken daha büyük gradyanlara sahip veri noktalarına ağırlık vermektedir. Bu yöntemde, eğitim için iyi kullanılmayan örnekler daha fazla katkı sağlamaktadır. Daha küçük gradyanlara sahip veri noktaları rastgele kaldırılmakta ve bazıları doğruluğu korumak için korunmaktadır. Bu yöntem tipik olarak aynı örnekleme oranı verildiğinde rastgele örneklemeden daha iyi olmaktadır [98]. Örnek kod Şekil 3.22`de gösterilmiştir.

```
Input: I: training data, d: iterations
Input: a: sampling ratio of large gradient data
Input: b: sampling ratio of small gradient data
Input: loss: loss function, L: weak learner
models ? {}, fact ? (1-a)/b
topN ? a * len(I), randN ? b * len(I)
for i = 1 to d do
    preds ? models.predict(I) g ? loss(I, preds), w ? {1, 1, ...}
    sorted ? GetSortedIndices(abs(g))
    topSet ? sorted[1:topN]
    randSet ? RandomPick(sorted[topN:len(I)],
    randN)
    usedSet ? topSet + randSet
    w[randSet] * = fact . Assign weight f act to the
    small gradient data.
    newModel ? L(I[usedSet], g[usedSet],
    w[usedSet])
    models.append(newModel)
```

Şekil 3.22. LightGbmMulti örnek kod [98].

EFB, modelin performansını iyileştirmek için LightGbmMulti gradyan artırma çerçevesinde kullanılan bir teknik olmaktadır. Geleneksel gradyan artırma algoritmalarında, eğitim sürecinde tüm özellikler kullanılmakta ve bu da aşırı uyum ve düşük performansa yol açabilmektedir. EFB, birbirine özel özellikleri gruplayarak ve ardından her grup üzerinde ayrı karar ağaçları eğiterek çalışmaktadır. Ayırt edici özellikler, aynı örnekte birlikte görünmeyen özelliklerdir. Bunu yaparak, EFB her karar ağacında kullanılan özellik sayısını azaltabilmekte ve modelin genelleme yeteneğini geliştirebilmektedir. EFB özellikle çok sayıda özelliğe sahip yüksek boyutlu veri kümeleri için etkili olmaktadır. Ayrıca, her ağaçta kullanılan özelliklerin sayısını azaltarak modelin bellek ve hesaplama gereksinimlerini azaltabilmektedir. Genel olarak

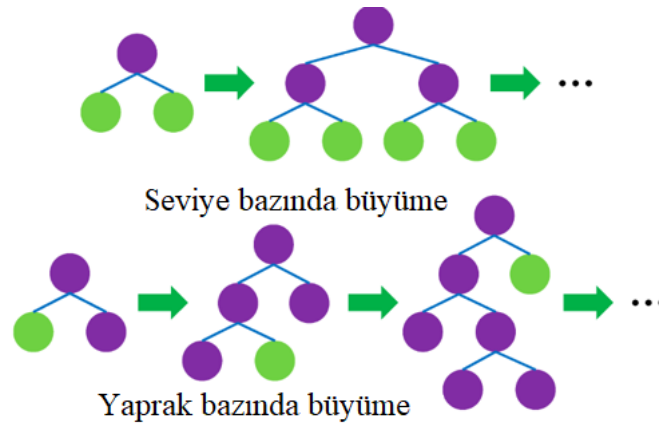
EFB, özellikle çok sayıda yüksek boyutlu veri kümeleri için LightGbmMulti modellerinin performansını artırmaya yardımcı olabilecek güçlü bir teknik olmaktadır [99]. Şekil 3.23 'de histogram tabanlı karar ağacı algoritması gösterilmiştir.



Şekil 3.23. Histogram tabanlı karar ağacı algoritması [99].

Şekil 3.23 'de histogram tabanlı karar ağacı algoritması gösterilmiştir. Ardışık kayan noktalı özdeğerlerin s küçük kutuya ayrıştırıldığı görülmektedir. Bundan sonra, bu bölmeler, s genişliğinde histogramı oluşturmak için kullanılmaktadır. Veriler ilk kez tarandıktan sonra, gerekli istatistikler (gradyanların toplamı ve her bölmedeki örnek sayısı) histogramda toplanmaktadır. Histogramın ayrık değerine bağlı olarak, optimal segmentasyon noktası bulunabilmektedir. Bu yöntemi kullanarak, depolama ve hesaplama maliyeti azaltılabilmektedir [99].

Seviye bazında ve yaprak bazında büyüme stratejileri Şekil 3.24'de gösterilmektedir. Seviye bazında büyüme stratejisine göre, aynı katmandaki yapraklar aynı anda bölünür. Birden çok iş parçacığıyla optimize etmek ve model karmaşıklığını kontrol etmek uygundur. Bununla birlikte, aynı katmandaki yapraklar gelişigüzel işlenirken, farklı bilgi kazanımlarına sahiptirler [100].



Şekil 3.24. Seviye-bilge ve yaprak-bilge ağaç yapısı [100].

Aksine, yaprak bazında büyüme stratejisi daha verimlidir çünkü aynı katmanda yalnızca en büyük bilgi kazancına sahip olan yaprağı bölmektedir. Ayrıca, bu stratejinin ağaçların yüksek derinliğe sahip olmasına neden olabileceği ve aşırı uyum ile sonuçlanabileceği düşünüldüğünde, ağaçların büyümesi sırasında maksimum bir derinlik sınırlaması benimsenmektedir [100].

3.4.5. Sdca Maximum Entropy Multi

SDCA, stokastik ikili koordinat yükselme algoritması anlamına gelmektedir. Dış büyük kayıp fonksiyonlarını ve doğrusal veya çekirdekleştirilmiş modelleri içeren büyük ölçekli makine öğrenimi problemlerini çözmek için kullanılan bir optimizasyon algoritması olmaktadır. SDCA ilk olarak Shalev-Shwartz ve arkadaşları tarafından 2013. yılında tanıtılmıştır [101].

SDCA algoritması, her seferinde bir koordinatın güncellenmesini içeren optimizasyon hedefinin ikili problemini çözmektedir. Bu, algoritmayı özellikle büyük ölçekli problemler için verimli kılmakta çünkü tüm koordinatları bir kerede güncellemek yerine her yinelemede yalnızca bir koordinatın güncellenmesi gerekmektedir [101].

SDCA algoritmasının, doğrusal sınıflandırma, kement regresyon ve destek vektör makineleri gibi çeşitli makine öğrenimi görevleri için etkili olduğu gösterilmiştir. Özellikle, sıfır olmayan özelliklerin sayısının toplam özellik sayısından çok daha az olduğu seyrek veriler için çok uygundur [101].

Genel olarak SDCA, makine öğrenimindeki büyük ölçekli optimizasyon problemlerini çözmek için güçlü bir algoritmadır ve alandaki birçok araştırmacı ve uygulayıcı için popüler bir seçim haline gelmiştir [102].

Maksimum entropi, istatistiksel mekanikte ve bilgi teorisinde, belirli bir kısıtlamalar kümesini en iyi temsil eden olasılık dağılımının en yüksek entropiye sahip olduğunu belirten bir ilke olmaktadır [102].

Entropi, bir sistemin belirsizliğinin veya rastgeleliğinin bir ölçüsü olmaktadır. Olasılık dağılımları bağlamında entropi, belirli bir olasılık dağılımıyla ilişkili belirsizlik veya rastgelelik derecesini ölçmektedir[102].

Maksimum entropi ilkesi, bir olasılık dağılımının belirli özelliklerini belirleyen bir dizi kısıtlama verildiğinde, bu kısıtlamalarla tutarlı en yansız olasılık dağılımının entropiyi maksimize eden dağılım olduğunu belirtmektedir. Bu ilke, istatistiksel mekanik, bilgi

teorisi ve makine öğrenimi dahil olmak üzere çok çeşitli uygulamalarda olasılık dağılımlarını türetmek için kullanılabilmektedir [103].

Maksimum entropi ilkesinin ana avantajlarından biri, belirli bir dizi kısıtlamayı karşılayan en yansız olasılık dağılımını seçerek eksik bilgilere dayalı olasılıksal tahminler yapmamıza izin vermesidir. Bu, onu belirli bir cümlemin anlamı hakkında sınırlı bilgiye sahip olabileceğimiz, ancak yine de onun yorumu hakkında olasılıksal tahminler yapabileceğimiz doğal dil işleme gibi uygulamalarda güçlü bir araç haline getirmektedir[103].

Sdca Maximum Entropy Multi, maksimum entropi modellerini çözmek için kullanılan bir tür optimizasyon algoritmasıdır. Sdca Maximum Entropy Multi algoritması, konuşma bölümü etiketleme, adlandırılmış varlık tanıma ve duyarlılık analizi dahil olmak üzere çeşitli doğal dil işleme görevlerinde başarıyla uygulanmıştır. Bilgisayarla görme ve konuşma tanıma gibi diğer alanlarda da kullanılmıştır. Genel olarak, SDCA Maksimum Entropy Multi algoritması, büyük ölçekli maksimum entropi modellerini çözmek için güçlü bir araçtır ve verimliliği ve ölçeklenebilirliği, onu özellikle pratik uygulamalar için kullanışlı kılmaktadır [104].

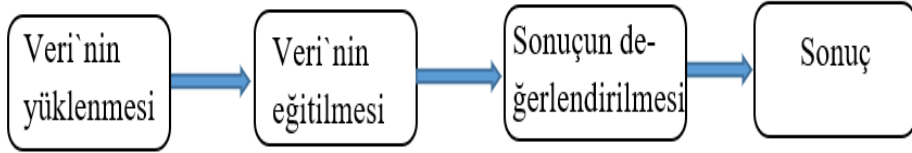
3.5. Yapay Zeka Tabanlı Akıllı Sera Sistemi

Çalışmanın genel yazılımı Visual stüdyo`da bulunan C# programlama dilinde ve Arduino IDE `sinde yazılmıştır. Yapay Zeka yazılımı için ise C#`ta bulunan ML.NET kütüphanesi kullanılmıştır.

Visual Stüdyo, Microsoft tarafından geliştirilen yazılım geliştirme ortamı olmaktadır. Visual stüdyo vasıtasıyla, web sitelerin, mobil uygulamaların, oyunların, web hizmetlerin geliştirilmesi mümkün olmaktadır. Windows API, Windows Forms, Windows Presentation Foundation, Windows Store ve Microsoft Silverlight gibi geliştirme ortamları Visual stüdyoda kullanılmaktadır. Visual Stüdyo`nun ilk sürümü Visual Stüdyo 1997 olmuştur. Ve çalışma, Visual Stüdyo 2017 platformunda yazılmıştır.

C#, “Keskin Gör” olarak telaffuz edilen, modern nesne yönelimli programlama dili olmaktadır. C#`la .NET platformu üzerinde güvenilir programların geliştirilmesi mümkün olmaktadır. C#, C kökenli dillerden biri olmaktadır. C# Programlama dili, 2000. yılında Anders Hejlsberg tarafından tasarlanmıştır. Daha sonra ise 2002 `te Ecma ve 2003`te ise ISO/IEC standartları tarafından uluslararası bir standart olarak onaylanmıştır [105].

ML.NET, .Net uygulamalarının geliştirile bilinmesi için kullanılan açık kaynaklı makina öğrenimi platformu olmaktadır. ML.NET platformu vasıtasıyla görüntü sınıflandırma, nesne algılama ve konuşma tanıma gibi çalışmaların yapılması mümkün olmaktadır. Kendisinde AutoML adlı yardımcı program içeren ML.NET, Yapay Zeka işlemlerinin yapılmasını kolaylaştırmaktadır. Auto ML akış şeması Şekil 3.25`de gösterilmektedir.



Şekil 3.25. Auto ML çalışma şeması

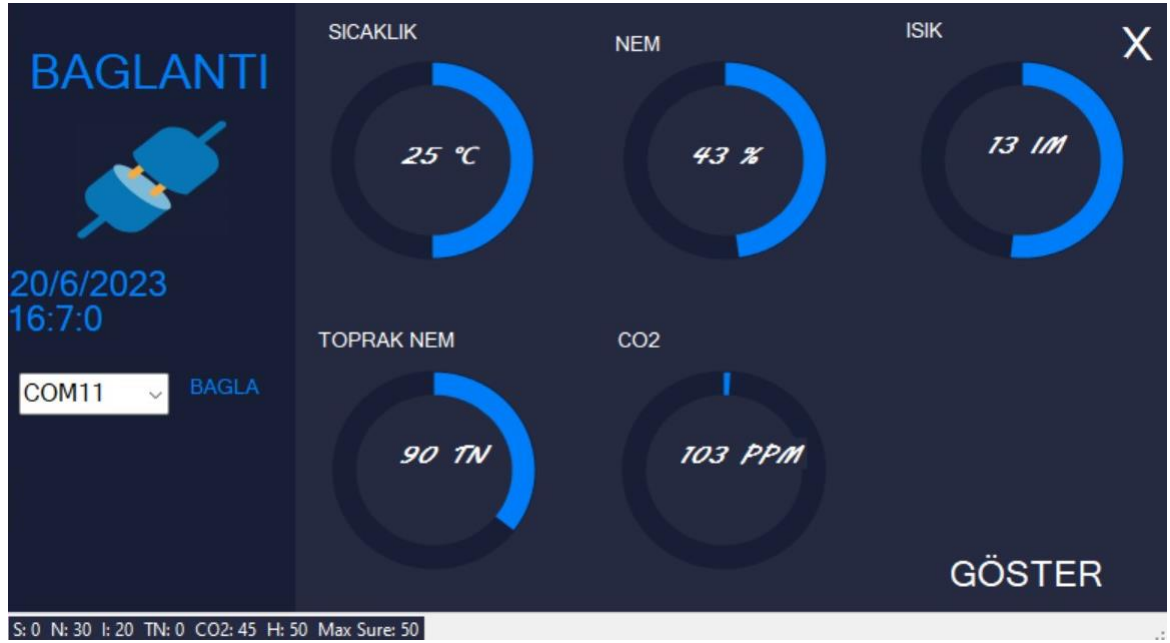
Elektronik bileşenleri komutlara göre çalıştırmak ve Arduino Mega 2560 kartını programlamak için Arduino IDE`si kullanılmıştır. Arduino IDE`si Arduino projelerini programlamak için bir platformdur. Bu programlama platformunun Windows, MacOS ve Linux gibi işletim sistemlerine uygun sürümleri mevcut olmaktadır. Arduino IDE`si genel olarak iki, void setup ve void loop fonksiyonlarından oluşmaktadır. Void setup döngüsünde bileşenlerin tanımlanması işlemi görülmektedir. Void loop döngüsü ise sonsuz döngü olmaktadır. Void loop döngüsünün içine yazılan kodlar sonsuz olarak çalışmaktadır.

Tez konusu için, bu çalışmaya karar verildiğinde, ilk iş literatürde Yapay Zeka Tabanlı Akıllı Sera sistemleriyle bağlı yapılmış çalışmalar detaylı bir araştırılmıştır. Bu araştırmaya sera sistemleriyle bağlı yapılan IOT ve Yapay Zeka tabanlı çalışmalar dahil olmaktadır. Bu çalışmaların ortak maksadı insan emeğinin minimuma indirilmesi ve tarımsal alanda yüksek verimlilik elde edilmesi olmaktadır. Araştırmalar sonucunda seralarda yapılan ortam kontrolünde açıklar ve yetersizlikler göz önünde bulundurularak çalışmanın ortam kontrolüyle bağlı yapılması kararı alınmıştır.

Ortam kontrolünde, beş değer göz önünde bulundurulmuştur. Bu değerler, iç sıcaklıktan, iç bağıl nemden, ışık şiddetinden, toprak neminden ve CO₂ değerinden oluşmaktadır. Yapılan araştırmalar zamanı bu değerlerin birbirinden asılı olduğu görülmüştür. Asılı denildiğinde, yani bir değer değişmesi diğer değerleri etkilemesi anlamına gelmektedir. Bu asıllığı göz önünde bulundurularak, bileşen ve cihazların zamansal olarak çalıştırılması yönünde testler yapılmıştır. Testler uzunluğu 40cm, eni ise 60 cm olan

0.24m² `lik bir minyatür serada gerçekleştirilmiştir. Yapılan testlerde cihaz ve bileşenlerin değer aralıklarına göre çalışma süreleri elde edilmiştir.

Bu hesaplamalar ve testler bittikten sonra Yapay Zeka yazılımı ve arayüz yazılımı ile bağlı çalışmalara başlanılmıştır. Arayüz yazılımında, zaman bilgileri, sıcaklık, bağıl nem, ışık şiddeti, toprak nemi, CO₂ değerleri gösterilmektedir. Çalışma süreleri, değişen sensör değerlerine göre 9 saniyeden bir hesaplanmaktadır. Sensörler tarafından okunan değerler ve zaman bilgileri gecikme olmadan bluetooth bağlantısı vasıtasıyla arayüz programına aktarılmaktadır. Arayüz program Şekil 3.26`da gösterilmiştir.



Şekil 3.26. Arayüz Programı

Yazılımın doğru çalıştığını test edilmesi için daha önce kullanılan sera kullanılmıştır. Serada test ürünü olarak kalonche bitkisi kullanılmıştır. Sera kaplamasın tavan için sera naylonu, duvarlar için ise polikarbon malzemesi kullanılmıştır. Seranın görseli Şekil 3.27`de gösterilmiştir.



Şekil 3.27. Sera sistemi

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

Bu bölümde sistemde kullanılan yapay zeka modellerinin başarı sonuçları gösterilmiştir. Başarı sonuçları, Mikro-Doğruluk ve Makro-Doğruluk 'tan oluşmaktadır. Mikro doğruluk, tüm gerçek pozitiflerin toplamının tüm gerçek pozitiflerin ve yanlış pozitiflerin toplamına bölümüdür. Diğer bir deyişle, doğru tespit edilen tahmin sayısının toplam tahmin sayısına bölünmesidir. Makro doğruluk kesinlik, farklı sınıflar için tüm kesinlik değerlerinin aritmetik ortalamasıdır. Mikro ve Makro doğruluk formülleri Denklem 4.1 ve 4.2`de gösterilmiştir.

$$MikroDoğruluk = \frac{(TP_1 + TP_2 + \dots + TP_N)}{(TP_1 + TP_2 + \dots + TP_N + FP_1 + FP_2 + \dots + FP_N)} \quad (4.1)$$

$$MakroDoğruluk = \frac{(Pre k_1 + Pre k_2 + \dots + Pre k_N)}{N} \quad (4.2)$$

Denklem 4.1`de gösterilen Mikro doğruluk formülünde, TP_1, TP_2, TP_N gerçek pozitiflerdir. FP_1, FP_2, FP_N ise yanlış pozitiflerdir. Mikro doğruluk, formülden de görüldüğü gibi, gerçek pozitiflerin toplamının yanlış ve gerçek pozitiflerin toplamına bölümüdür.

Denklem 4.2`de gösterilen Makro doğruluk formülünde, $Pre k_1, Pre k_2, Pre k_N$ sınıf başına düşen F1 puanlarıdır. Makro doğruluk, sınıf başına düşen F1 puanlarının ortalamasına eşit olmaktadır.

Veri setleri ML.NET`de bulunan modeller ile eğitilmiştir. Veri setlerin eğitimiyle bağlı detaylı bilgiler sırasıyla aşağıdaki bölümlerde anlatılmıştır.

4.1. Isıtıcı

Isıtıcı pedlerin çalıştırılması için, veri setinin eğitilmesinde beş Makina öğrenimi modeli kullanılmıştır. Bu modellere, Sdca Maximum Entropy Multi, LightGbmMulti, Averaged Perceptron Ova, Fast Tree Ova ve Fast Forest Ova dahil olmaktadır. Modellerin başarı değerleri Tablo 4.1`de gösterilmektedir.

Tablo 4.1. Isıtıcı modelleri ve başarı sonuçları

Modeller	Makro Doğruluk	Mikro Doğruluk
Sdca Maximum Entropy Multi	100.00	100.00
Averaged Perceptron Ova	64.29	33.33
Fast Tree Ova	56.52	33.30
Fast Forest Ova	50.22	30.50
LightGbmMulti	100.00	100.00

4.2. Nem Kontrolü

Bağıl Nem sağlanması ve nem piezosunun çalıştırılması için, veri setinin eğitilmesinde beş Makina öğrenimi modeli kullanılmıştır. Bu modellere, Sdca Maximum Entropy Multi, LightGbmMulti, Averaged Perceptron Ova, Fast Tree Ova ve Fast Forest Ova dahil olmaktadır. Modellerin başarı değerleri Tablo 4.2`de gösterilmektedir.

Tablo 4.2. Nem modelleri ve başarı sonuçları

Modeller	Makro Doğruluk	Mikro Doğruluk
Sdca Maximum Entropy Multi	77.78	50.00
Averaged Perceptron Ova	100.00	100.00
Fast Tree Ova	31.762	57.206
Fast Forest Ova	33.33	45.00
LightGbmMulti	33.33	50.00

4.3. Aydınlatma

Aydınlatmanın sağlanması için, veri setinin eğitilmesinde beş Makina öğrenimi modeli kullanılmıştır. Bu modellere, Sdca Maximum Entropy Multi, LightGbmMulti, Averaged Perceptron Ova, Fast Tree Ova ve Fast Forest Ova dahil olmaktadır. Modellerin başarı değerleri Tablo 4.3`de gösterilmektedir.

Tablo 4.3. Aydınlatma modelleri ve başarı sonuçları

Modeller	Makro Doğruluk	Mikro Doğruluk
Sdca Maximum Entropy Multi	77.78	50.00
Averaged Perceptron Ova	100.00	100.00
Fast Tree Ova	31.762	57.206
Fast Forest Ova	33.33	60.842

4.4. Sulama

Bitkilerde toprak nemin sağlanması ve su pompasının çalıştırılması için, veri setinin eğitilmesinde beş Makina öğrenimi modeli kullanılmıştır. Bu modellere, Sdca Maximum Entropy Multi, LightGbmMulti, Averaged Perceptron Ova, Fast Tree Ova ve Fast Forest Ova dahil olmaktadır. Modellerin başarı değerleri Tablo 4.4'de gösterilmektedir.

Tablo 4.4. Sulama modelleri ve başarı sonuçları

Modeller	Makro Doğruluk	Mikro Doğruluk
Sdca Maximum Entropy Multi	100.00	100.00
Averaged Perceptron Ova	100.00	100.00
Fast Tree Ova	25.00	55.862
Fast Forest Ova	25.00	55.862
LightGbmMulti	25.00	55.862

4.5. CO₂ Kontrolü

Bitkilerde CO₂ miktarının sağlanması ve CO₂ piezosunun çalıştırılması için, veri setinin eğitilmesinde beş yapay Makina öğrenimi kullanılmıştır. Bu modellere, Sdca Maximum Entropy Multi, LightGbmMulti, Averaged Perceptron Ova, Fast Tree Ova ve Fast Forest Ova dahil olmaktadır. Modellerin başarı değerleri Tablo 4.5'de gösterilmektedir.

Tablo 4.5. CO₂ modelleri ve başarı sonuçları

Modeller	Makro Doğruluk	Mikro Doğruluk
Sdca Maximum Entropy Multi	100.00	100.00
Averaged Perceptron Ova	100.00	100.00
Fast Tree Ova	25.00	57.724
Fast Forest Ova	25.00	57.724
LightGbm Multi	25.00	57.724

4.6. Havalandırma

Serada Havalandırmanın sağlanması ve vantilatörlerin çalıştırılması için, veri setinin eğitilmesinde beş Makina öğrenimi modeli kullanılmıştır. Bu modellere, Sdca Maximum Entropy Multi, LightGbmMulti, Averaged Perceptron Ova, Fast Tree Ova ve Fast Forest Ova dahil olmaktadır. Modellerin başarı değerleri Tablo 4.6`da gösterilmektedir.

Tablo 4.6. Havalandırma modelleri ve başarı sonuçları

Modeller	Makro Doğruluk	Mikro Doğruluk
Sdca Maximum Entropy Multi	32.88	37.66
Averaged Perceptron Ova	30.014	31.542
Fast Tree Ova	100.00	100.00
Fast Forest Ova	85.71	75.00
LightGbm Multi	100.00	100.00

5. SONUÇ

Arduino Mega 2560 ve çeşitli sensör ve cihazlardan oluşan, Yapay Zeka Tabanlı Akıllı Sera Sistemi bu tezde sunulmuştur.

Yapılan bu çalışmada maksat, iç sıcaklık, iç bağıl nem, ışık şiddeti, toprak nem ve CO₂ değerlerinden oluşan bitkiler için gerekli ortamının sağlanması için Yapay Zeka tabanlı sistemin yapılması olmuştur. Bu çalışmada, sistemler arası iletişim bluetooth tabanlı olmuştur. Bu sistemin yapılmış diğer sistemlerden farkı, gerekli olan ölçümlerin değişimi zamanı bir-birine olan etkileri de göz önünde bulundurulması olmuştur.

Akıllı sera çalışmalarıyla bağlı sensör değerlerinden oluşan veri setlerinin olmamasından dolayı, bu çalışmada kullanılan veri setinin oluşturulması için kullanılan sensör değerleri altı ay boyunca çalıştırılan minyatür bitki serasından elde edilmiştir. Yukarıda da belirtildiği gibi değerlerin birbirine olan aslılığı göz önünde bulundurularak ve testlerden elde edilen cihazların çalışma sürelerinden oluşan veri seti hazırlanmıştır. DHT11, LDR, Toprak Nem, MQ135 sensörleri ile birlikte, fan, piezo, ısıtıcı ped, su motoru, şerit led gibi modüller sera sisteminde kullanılmıştır.

Altı çıkışa göre ayrılan veri seti, C# ta ML.NET kütüphanesinde makina öğrenimi algoritmalarıyla eğitilmiştir. AutoML arayüzü ile yapılan eğitimde, önerilen modellerle veri setleri yeniden eğitilmiş ve uygulamada defalarla test edilmiştir.

Sıcaklığın doğru ayarlanması ve ısıtıcı pedin doğru çalıştırılması için hazırlanan ısıtıcı veri setinin eğitiminde kullanılan beş modelden, yüksek başarı oranı elde edilen Sdca Maximum Entropy Multi, LightGbmMulti ve Averaged Perceptron Ova modellerinin sonuçları Bulgular ve Tartışma kısmında gösterilmiştir. Bu modellerin her biri uygulamada test edilmiş ve bu veri seti için başarı oranı 100% olan Sdca Maximum Entropy Multi modeli kullanılmıştır.

Bağıl nemin doğru ayarlanması ve nem piezonun doğru çalıştırılması için hazırlanan nem kontrolü veri setinin eğitiminde kullanılan beş modelden, yüksek başarı oranı elde edilen Sdca Maximum Entropy Multi ve Averaged Perceptron Ova modellerinin sonuçları Bulgular ve Tartışma kısmında gösterilmiştir. Bu modellerin her biri uygulamada test edilmiş ve bu veri seti için başarı oranı 100% olan Averaged Perceptron Ova modeli kullanılmıştır.

Aydınlatmanın doğru ayarlanması ve şerit ledin doğru çalıştırılması için hazırlanan aydınlatma veri setinin eğitiminde kullanılan beş modelden, yüksek başarı oranı elde edilen Sdca Maximum Entropy Multi ve Averaged Perceptron Ova modellerinin sonuçları Bulgular ve Tartışma kısmında gösterilmiştir. Bu modellerin her biri uygulamada test edilmiş ve bu veri seti için başarı oranı 100% olan Averaged Perceptron Ova modeli kullanılmıştır.

Toprak neminin doğru ayarlanması ve su motorunun doğru çalıştırılması için hazırlanan sulama veri setinin eğitiminde kullanılan beş modelden, yüksek başarı oranı elde edilen Sdca Maximum Entropy Multi ve Averaged Perceptron Ova modellerinin sonuçları Bulgular ve Tartışma kısmında gösterilmiştir. Bu modellerin her biri uygulamada test edilmiş ve bu veri seti için başarı oranı 100% olan Sdca Maximum Entropy Multi modeli kullanılmıştır.

CO₂ miktarının doğru ayarlanması ve piezonun doğru çalıştırılması için hazırlanan CO₂ kontrolü veri setinin eğitiminde kullanılan beş modelden, yüksek başarı oranı elde edilen Sdca Maximum Entropy Multi ve Averaged Perceptron Ova modellerinin sonuçları Bulgular ve Tartışma kısmında gösterilmiştir. Bu modellerin her biri uygulamada test edilmiş ve bu veri seti için başarı oranı 100% olan Sdca Maximum Entropy Multi modeli kullanılmıştır.

Havalandırma prosedürünün doğru yapılması ve fanların doğru çalıştırılması için hazırlanan havalandırma veri eğitiminde kullanılan beş modelden, yüksek başarı oranı elde edilen Fast Tree Ova, LightGbmMulti ve Fast Forest Ova modellerinin sonuçları Bulgular ve Tartışma kısmında gösterilmiştir. Bu modellerin her biri uygulamada test edilmiş ve bu veri seti için başarı sonucu 100% olan Fast Tree Ova modeli kullanılmıştır.

Bu modellerden elde edilen sonuçların doğruluğu minyatür bir bitki serasında uzun süren farklı testler neticesinde kanıtlanmıştır. Aynı zamanda ise cihazların veri setine uygun senkronize bir şekilde çalıştığı testler zamanı kanıtlanmıştır.

Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde, bu çalışma kapsamında üzerinde çalışılan kalonche bitkisi üzerine bir çalışmaya rastlanmamıştır. Ayrıca bu çalışma kapsamında kullanılan sensör çeşitliliği dikkate alındığında bu kapsamda bir çalışmanın literatürde olmadığı görülmüştür. Bu özellikleri ile yorumlandığında bu çalışmanın literatüre önemli katkılar sağlayacağı düşünülmektedir.

Önerilen modellerde bir minyatür sera için bitkinin ideal yaşam koşullarının devamlılığının sağlanması amaçlanmıştır. Bu nedenle ideal ortam koşullarını stabil halde tutan bir sistem haline getirilmiştir.

İlerleyen çalışmalarda, farklı bitkiler ile çalışma yapılabilir. Farklı makine öğrenmesi algoritmaları kullanılarak sonuçlar karşılaştırılabilir. Benzer şekilde sera ortamında daha uzun süreli takip yapılarak daha fazla verinin bulunduğu veri setleri oluşturulabilir ve bu veri setleri ile çalışmada kullanılan makine öğrenmesi algoritmaları simüle edilerek sonuçlar değerlendirilebilir.



KAYNAKLAR

- [1] “Greenhouse - New World Encyclopedia.” [Online]. Available: <https://www.newworldencyclopedia.org/entry/Greenhouse>
- [2] M. Pathan, N. Patel, H. Yagnik, and M. Shah, “Artificial cognition for applications in smart agriculture: A comprehensive review,” *Artificial Intelligence in Agriculture*, vol. 4. KeAi Communications Co., pp. 81–95, Jan. 01, 2020. doi: 10.1016/j.aiia.2020.06.001.
- [3] C. L. Chang, S. C. Chung, W. L. Fu, and C. C. Huang, “Artificial intelligence approaches to predict growth, harvest day, and quality of lettuce (*Lactuca sativa* L.) in a IoT-enabled greenhouse system,” *Biosyst. Eng.*, vol. 212, pp. 77–105, 2021, doi: 10.1016/j.biosystemseng.2021.09.015.
- [4] F. Lin, Y. Weng, H. Chen, and P. Zhuang, “Intelligent greenhouse system based on remote sensing images and machine learning promotes the efficiency of agricultural economic growth,” *Environ. Technol. Innov.*, vol. 24, p. 101758, 2021, doi: 10.1016/j.eti.2021.101758.
- [5] C. Chang, W. Fu, and C. Huang, “for harvest and growth quality estimation of Lettuce Written for presentation at the 2019 ASABE Annual International Meeting Sponsored by ASABE,” pp. 1–8, 2019.
- [6] I. El Naqa and M. J. Murphy, “What Is Machine Learning?,” *Mach. Learn. Radiat. Oncol.*, pp. 3–11, 2015, doi: 10.1007/978-3-319-18305-3_1.
- [7] P. K. Tripathy, “MyGreen : An IoT- Enabled Smart Greenhouse for Sustainable Agriculture,” no. August 2021, pp. 57–62.
- [8] K. Raviteja and M. Supriya, “Greenhouse Monitoring System Based on Internet of Things,” *Lect. Notes Electr. Eng.*, vol. 637, pp. 581–591, 2020, doi: 10.1007/978-981-15-2612-1_56.
- [9] C. Maraveas, D. Piromalis, K. G. Arvanitis, T. Bartzanas, and D. Loukatos, “Applications of IoT for optimized greenhouse environment and resources management,” *Comput. Electron. Agric.*, vol. 198, no. April, p. 106993, 2022, doi: 10.1016/j.compag.2022.106993.
- [10] F. Jamil, M. Ibrahim, I. Ullah, S. Kim, H. K. Kahng, and D. H. Kim, “Optimal smart

- contract for autonomous greenhouse environment based on IoT blockchain network in agriculture,” *Comput. Electron. Agric.*, vol. 192, no. December 2021, p. 106573, 2022, doi: 10.1016/j.compag.2021.106573.
- [11] J. Feng and X. Hu, “An IoT-based hierarchical control method for greenhouse seedling production,” *Procedia Comput. Sci.*, vol. 192, pp. 1954–1963, 2021, doi: 10.1016/j.procs.2021.08.201.
 - [12] M. C. Bozchalui, C. A. Cañizares, and K. Bhattacharya, “Optimal energy management of greenhouses in smart grids,” *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 6, no. 2, pp. 827–835, 2015, doi: 10.1109/TSG.2014.2372812.
 - [13] H. Andrianto, Suhardi, and A. Faizal, “Development of smart greenhouse system for hydroponic agriculture,” *2020 Int. Conf. Inf. Technol. Syst. Innov. ICITSI 2020 - Proc.*, pp. 335–340, 2020, doi: 10.1109/ICITSI50517.2020.9264917.
 - [14] N. Kaewmard and S. Saiyod, “Sensor data collection and irrigation control on vegetable crop using smart phone and wireless sensor networks for smart farm,” *ICWiSe 2014 - 2014 IEEE Conf. Wirel. Sensors*, pp. 106–112, 2014, doi: 10.1109/ICWISE.2014.7042670.
 - [15] R. Geethamani and S. Jaganathan, “IoT Based Smart Greenhouse for Future using Node MCU,” *2021 7th Int. Conf. Adv. Comput. Commun. Syst. ICACCS 2021*, pp. 1615–1620, 2021, doi: 10.1109/ICACCS51430.2021.9441708.
 - [16] P. V. Astillo, J. Kim, V. Sharma, and I. You, “SGF-MD: Behavior rule specification-based distributed misbehavior detection of embedded iot devices in a closed-loop smart greenhouse farming system,” *IEEE Access*, vol. 8, pp. 196235–196252, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3034096.
 - [17] A. Sofwan, S. Sumardi, A. I. Ahmada, I. Ibrahim, K. Budiraharjo, and K. Karno, “Smart Greetthings: Smart Greenhouse Based on Internet of Things for Environmental Engineering,” *Proceeding - ICoSTA 2020 2020 Int. Conf. Smart Technol. Appl. Empower. Ind. IoT by Implement. Green Technol. Sustain. Dev.*, pp. 1–5, 2020, doi: 10.1109/ICoSTA48221.2020.1570614124.
 - [18] A. Ouammi, Y. Achour, H. Dagdougui, and D. Zejli, “Optimal operation scheduling for a smart greenhouse integrated microgrid,” *Energy Sustain. Dev.*, vol. 58, pp. 129–137, 2020, doi: 10.1016/j.esd.2020.08.001.

- [19] Y. D. Seo, Y. G. Kim, E. Lee, K. S. Seol, and D. K. Baik, "Design of a smart greenhouse system based on MAPE-K and ISO/IEC-11179," *2018 IEEE Int. Conf. Consum. Electron. ICCE 2018*, vol. 2018-January, pp. 1–2, Mar. 2018, doi: 10.1109/ICCE.2018.8326276.
- [20] C. Visvesvaran, S. Kamalakannan, K. N. Kumar, K. M. Sundaram, S. M. S. S. Vasan, and S. Jafrin, "Smart Greenhouse Monitoring System using Wireless Sensor Networks," *Proc. - 2nd Int. Conf. Smart Electron. Commun. ICOSEC 2021*, pp. 96–101, 2021, doi: 10.1109/ICOSEC51865.2021.9591680.
- [21] J. Park, W. Hyun, and M. Y. Huh, "LCP for Managing Smart Greenhouse," *9th Int. Conf. Inf. Commun. Technol. Conver. ICT Conver. Powered by Smart Intell. ICTC 2018*, pp. 337–341, 2018, doi: 10.1109/ICTC.2018.8539586.
- [22] D. Chioran and H. Vaele, "Standby Power Management for a Greenhouse Effect Reduction," *2021 25th Int. Conf. Syst. Theory, Control Comput. ICSTCC 2021 - Proc.*, pp. 154–159, 2021, doi: 10.1109/ICSTCC52150.2021.9607233.
- [23] Z. Hang, L. Wangliang, L. Chuang, S. Linda, and W. Kaiyan, "Discussion on multi-sensor information fusion in greenhouse detection system," *Proc. - 2017 Int. Conf. Smart Grid Electr. Autom. ICSGEA 2017*, vol. 2017-Janua, pp. 64–67, 2017, doi: 10.1109/ICSGEA.2017.30.
- [24] Y. Yang *et al.*, "Fast wireless sensor for anomaly detection based on data stream in an edge-computing-enabled smart greenhouse," *Digit. Commun. Networks*, 2021, doi: 10.1016/j.dcan.2021.11.004.
- [25] K. Meah, J. Forsyth, and J. Moscola, "A Smart Sensor Network for an Automated Urban Greenhouse," *International Conference on Robotics, Electrical and Signal Processing Techniques*. IEEE, 2021.
- [26] "K. S. Kannan and G. Thilagavathi, 'Online Farming Based on Embedded Systems and Wireless Sensor Networks,' in 2013 International Confer_ence on Computation of Power Energy Information and Communication (ICCPEIC), April 2013, pp. 71–74."
- [27] P. C. Satpute and D. P. Theng, "Intellectual climate system for monitoring industrial environment," *Int. Conf. Adv. Comput. Commun. Technol. ACCT*, no. April 2013, pp. 36–39, 2013, doi: 10.1109/ACCT.2013.18.

- [28] X. Bai, Z. Wang, L. Zou, and F. E. Alsaadi, "Collaborative fusion estimation over wireless sensor networks for monitoring CO₂ concentration in a greenhouse," *Inf. Fusion*, vol. 42, pp. 119–126, Jul. 2018, doi: 10.1016/j.inffus.2017.11.001.
- [29] Ö. Alpay and E. Erdem, "Climate Control of an Smart Greenhouse based on Android," *2018 Int. Conf. Artif. Intell. Data Process. IDAP 2018*, pp. 1–5, 2019, doi: 10.1109/IDAP.2018.8620803.
- [30] E. Hürdoğan *et al.*, "Farklı Yapıya Sahip Seralar için Isıtma İhtiyacının Belirlenmesi."
- [31] A. Ouammi, O. Choukai, D. Zejli, and S. Sayadi, "A Decision Support Tool for the Optimal Monitoring of the Microclimate Environments of Connected Smart Greenhouses," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 212094–212105, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3039889.
- [32] D. Of *et al.*, "Design of Smart Greenhouse Automation With the Transfer of the Hot Weather Into the Soil and the Supply of Optimum Environmental Conditions," *Mesleki Bilim. Derg.*, vol. 7, no. 1, pp. 1–9, 2018.
- [33] R. Liao, S. Zhang, X. Zhang, M. Wang, H. Wu, and L. Zhangzhong, "Development of smart irrigation systems based on real-time soil moisture data in a greenhouse: Proof of concept," *Agric. Water Manag.*, vol. 245, Feb. 2021, doi: 10.1016/j.agwat.2020.106632.
- [34] C. M. Angelopoulos, G. Filios, S. Nikolettseas, and T. P. Raptis, "Keeping data at the edge of smart irrigation networks: A case study in strawberry greenhouses," *Comput. Networks*, vol. 167, Feb. 2020, doi: 10.1016/j.comnet.2019.107039.
- [35] E. Seethalakshmi, M. Shunmugam, R. Pavaiyarkarasi, S. Joseph, and J. Edward paulraj, "An automated irrigation system for optimized greenhouse using IoT," *Mater. Today Proc.*, Feb. 2021, doi: 10.1016/j.matpr.2020.12.636.
- [36] M. Taştan, "Nesnelerin İnterneti Tabanlı Akıllı Sulama ve Uzaktan İzleme Sistemi," *Eur. J. Sci. Technol.*, no. 15, pp. 229–236, 2019, doi: 10.31590/ejosat.525149.
- [37] V. A. Vu, T. C. TRUVANT, D. C. Trinh, and T. D. Bui, "Design of automatic irrigation system for greenhouse based on LoRa technology," *International Conference on Advanced Technologies for Communications*, vol. 2018-Octob. IEEE, 2018.

- [38] M. Ali, D. Ğ. Lu, and H. S. İ. L. İ, “Seralar için Yapay Ayd ı nlatma Sistemi Tasar ı m ı : Günlük I ş ık İ ntegrali Yöntemi,” vol. 8, no. 2, pp. 233–240, 2012.
- [39] Y. S. Chang, Y. H. Chen, and S. K. Zhou, “A smart lighting system for greenhouses based on Narrowband-IoT communication,” *Proc. Tech. Pap. - Int. Microsystems, Packag. Assem. Circuits Technol. Conf. IMPACT*, vol. 2018-Octob, pp. 275–278, 2019, doi: 10.1109/IMPACT.2018.8625804.
- [40] M. Mahdavian and N. Wattanapongsakorn, “Multi-objective optimization of PID controller tuning for greenhouse lighting control system considering RTP in the smart grid,” *2014 Int. Comput. Sci. Eng. Conf. ICSEC 2014*, pp. 57–61, 2014, doi: 10.1109/ICSEC.2014.6978129.
- [41] M. Azaza, C. Tanougast, E. Fabrizio, and A. Mami, “Smart greenhouse fuzzy logic based control system enhanced with wireless data monitoring,” *ISA Trans.*, vol. 61, pp. 297–307, 2016, doi: 10.1016/j.isatra.2015.12.006.
- [42] F. J. Ferrández-Pastor, S. Alcañiz-Lucas, J. M. García-Chamizo, and M. Platero-Horcajadas, “Smart Environments Design on Industrial Automated Greenhouses,” p. 36, 2019, doi: 10.3390/proceedings2019031036.
- [43] L. Li, K. W. E. Cheng, and J. F. Pan, “Design and application of intelligent control system for greenhouse environment,” *2017 7th Int. Conf. Power Electron. Syst. Appl. - Smart Mobility, Power Transf. Secur. PESA 2017*, vol. 2018-Janua, pp. 1–5, 2018, doi: 10.1109/PESA.2017.8277762.
- [44] M. H. Jumat, M. S. Nazmudeen, and A. T. Wan, “Smart farm prototype for plant disease detection, diagnosis & treatment using IoT device in a greenhouse,” *IET Conf. Publ.*, vol. 2018, no. CP750, pp. 28–31, 2018, doi: 10.1049/cp.2018.1545.
- [45] A. Nayak, S. Chakraborty, and D. K. Swain, “Application of smartphone-image processing and transfer learning for rice disease and nutrient deficiency detection,” *Smart Agric. Technol.*, vol. 4, no. February, p. 100195, 2023, doi: 10.1016/j.atech.2023.100195.
- [46] C. Gliever and D. C. Slaughter, “Crop verses Weed Recognition Artificial neural networks: Neural Network Plant Recognition for Vision Based Robotic Weed Control,” p. 14, 2001.
- [47] H. R. Maier and G. C. Dandy, “Neural networks for the prediction and forecasting of

- water resources variables: A review of modelling issues and applications,” *Environ. Model. Softw.*, vol. 15, no. 1, pp. 101–124, 2000, doi: 10.1016/S1364-8152(99)00007-9.
- [48] J. Roach, R. Virkar, C. Drake, and M. Weaver, “An expert system for helping apple growers,” *Comput. Electron. Agric.*, vol. 2, no. 2, pp. 97–108, 1987, doi: 10.1016/0168-1699(87)90020-2.
- [49] C. Prakash, A. Singh Rathor, G. Sunder, and M. Thakur, “Fuzzy based Agriculture expert system for Soyabean,” *Int. Conf. Comput. Sci. WILKES100-ICCS2013*, no. August 2014, 2013, doi: 10.13140/2.1.1765.0567.
- [50] H. Lemmon, “Comax: An Expert System for Cotton Crop Management,” *Comput. Sci. Econ. Manag.*, vol. 3, no. 2, pp. 177–185, 1990, doi: 10.1007/BF00436714.
- [51] C. Arif, M. Mizoguchi, M. Mizoguchi, and R. Doi, “Estimation of soil moisture in paddy field using Artificial Neural Networks,” *Int. J. Adv. Res. Artif. Intell.*, vol. 1, no. 1, 2012, doi: 10.14569/ijarai.2012.010104.
- [52] R. K. Singh and Prajneshu*, “Artificial Neural Network Methodology for Modelling and Forecasting Maize Crop Yield,” *J. Gender, Agric. Food Secur.*, vol. 1, no. 3, pp. 1–22, 2011.
- [53] R. Salazar, I. López, and A. Rojano, “A neural network model to control greenhouse environment,” *Proc. - 2007 6th Mex. Int. Conf. Artif. Intell. Spec. Sess. MICAI 2007*, pp. 311–318, 2007, doi: 10.1109/MICAI.2007.33.
- [54] A. Ali and H. S. Hassanein, “Wireless Sensor Network and Deep Learning for Prediction Greenhouse Environments,” *2019 Int. Conf. Smart Appl. Commun. Networking, SmartNets 2019*, 2019, doi: 10.1109/SmartNets48225.2019.9069766.
- [55] D. Polese, L. Maiolo, L. Pazzini, G. Fortunato, A. Mattoccia, and P. G. Medaglia, “Wireless sensor networks and flexible electronics as innovative solution for smart greenhouse monitoring in long-term space missions,” *2019 IEEE Int. Work. Metrol. AeroSpace, Metroaerosp. 2019 - Proc.*, pp. 223–227, 2019, doi: 10.1109/MetroAeroSpace.2019.8869613.
- [56] W. Cai, R. Wei, L. Xu, and X. Ding, “A method for modelling greenhouse temperature using gradient boost decision tree,” *Inf. Process. Agric.*, 2021, doi: 10.1016/j.inpa.2021.08.004.

- [57] W. H. Chen and F. You, "Smart greenhouse control under harsh climate conditions based on data-driven robust model predictive control with principal component analysis and kernel density estimation," *J. Process Control*, vol. 107, pp. 103–113, 2021, doi: 10.1016/j.jprocont.2021.10.004.
- [58] A. Castañeda-Miranda and V. M. Castaño, "Smart frost control in greenhouses by neural networks models," *Comput. Electron. Agric.*, vol. 137, pp. 102–114, 2017, doi: 10.1016/j.compag.2017.03.024.
- [59] V. Mamatha and J. C. Kavitha, "Machine learning based crop growth management in greenhouse environment using hydroponics farming techniques," *Meas. Sensors*, vol. 25, no. September 2022, p. 100665, 2023, doi: 10.1016/j.measen.2023.100665.
- [60] J. P. Albarico, G. R. F. La Rosa, R. A. D. Santos, A. J. M. Tesorero, M. S. A. Magboo, and V. P. C. Magboo, "Roses Greenhouse Cultivation Classification Using Machine Learning Techniques," *Procedia Comput. Sci.*, vol. 218, no. 2022, pp. 2163–2171, 2023, doi: 10.1016/j.procs.2023.01.192.
- [61] I. Ihoume, R. Tadili, N. Arbaoui, M. Benchrif, A. Idrissi, and M. Daoudi, "Developing a multi-label tinyML machine learning model for an active and optimized greenhouse microclimate control from multivariate sensed data," *Artif. Intell. Agric.*, vol. 6, pp. 129–137, 2022, doi: 10.1016/j.aiia.2022.08.003.
- [62] A. Ajagekar, N. S. Mattson, and F. You, "Energy-efficient AI-based Control of Semi-closed Greenhouses Leveraging Robust Optimization in Deep Reinforcement Learning," *Adv. Appl. Energy*, vol. 9, no. December 2022, p. 100119, 2023, doi: 10.1016/j.adapen.2022.100119.
- [63] A. Labidi, A. Chouchaine, and A. K. Mami, "Control of relative humidity inside an agricultural greenhouse," *2017 18th Int. Conf. Sci. Tech. Autom. Control Comput. Eng. STA 2017 - Proc.*, vol. 2018-Janua, no. 1, pp. 109–114, 2018, doi: 10.1109/STA.2017.8314955.
- [64] N. A. Farooqui, A. K. Mishra, and R. Mehra, "IOT based Automated Greenhouse Using Machine Learning Approach," *J. Mater. Chem. C*, vol. 3, no. 2, pp. 10715–10722, 2015, doi: 10.1039/b000000x.
- [65] F. He and C. Ma, "Modeling greenhouse air humidity by means of artificial neural network and principal component analysis," *Comput. Electron. Agric.*, vol. 71, no.

SUPPL. 1, 2010, doi: 10.1016/j.compag.2009.07.011.

- [66] S. J. Soheli, N. Jahan, M. B. Hossain, A. Adhikary, A. R. Khan, and M. Wahiduzzaman, *Smart Greenhouse Monitoring System Using Internet of Things and Artificial Intelligence*, vol. 124, no. 4. Springer US, 2022. doi: 10.1007/s11277-022-09528-x.
- [67] D. Kurniawan and A. Witanti, “Prototype of Control and Monitor System with Fuzzy Logic Method for Smart Greenhouse,” *Indones. J. Inf. Syst.*, vol. 3, no. 2, pp. 116–127, 2021, doi: 10.24002/ijis.v3i2.4067.
- [68] C. R. Algarín, J. C. Cabarcas, and A. P. Llanos, “Low-cost fuzzy logic control for greenhouse environments with web monitoring,” *Electron.*, vol. 6, no. 4, 2017, doi: 10.3390/electronics6040071.
- [69] M. A. Tawfeek, S. Alanazi, and A. A. A. El-Aziz, “Smart Greenhouse Based on ANN and IOT,” *Processes*, vol. 10, no. 11, pp. 1–17, 2022, doi: 10.3390/pr10112402.
- [70] A. Sofwan, S. Sumardi, K. Q. Ayun, K. Budiraharjo, and K. Karno, “Artificial Neural Network Levenberg-Marquardt Method for Environmental Prediction of Smart Greenhouse,” *Proc. - 2022 9th Int. Conf. Inf. Technol. Comput. Electr. Eng. ICITACEE 2022*, pp. 50–54, 2022, doi: 10.1109/ICITACEE55701.2022.9924150.
- [71] G. Chaudhary, S. Kaur, B. Mehta, and R. Tewani, “Observer based fuzzy and PID controlled smart greenhouse,” *J. Stat. Manag. Syst.*, vol. 22, no. 2, pp. 393–401, 2019, doi: 10.1080/09720510.2019.1582880.
- [72] J. A. V. Magsumbol, M. A. Rosales, I. C. Valenzuela, A. A. Bandala, E. Sybingco, and E. P. Dadios, “Development of a Smart Cooling System using Artificial Neural Network,” *2020 IEEE 12th Int. Conf. Humanoid, Nanotechnology, Inf. Technol. Commun. Control. Environ. Manag. HNICEM 2020*, pp. 3–8, 2020, doi: 10.1109/HNICEM51456.2020.9400111.
- [73] “Arduino Mega 2560 R3 (Orjinal Yeni Versiyon) Orijinal Arduino.” [Online]. Available: <https://www.robolinkmarket.com/arduino-mega-2560-r3-orjinal-yeni-versiyon?gad=1>
- [74] E. ERDOGAN, “Toprak Nem Algılama Sensörü Nasıl Kullanılır? Arduino İle Nasıl Çalışır? - Robimek.” [Online]. Available: <https://www.robimek.com/toprak-nem-algilama-sensoru-nasil-kullanilirarduino-ile-nasil-calisir/>

- [75] Lady Ada, “Overview | DHT11, DHT22 and AM2302 Sensors | Adafruit Learning System.” [Online]. Available: <https://learn.adafruit.com/dht/overview>
- [76] “Foto direnç - Vikipedi.” [Online]. Available: https://tr.wikipedia.org/wiki/Foto_direnç
- [77] W. Wiki, “MQ-135 Gas Sensor.” [Online]. Available: https://www.waveshare.com/wiki/MQ-135_Gas_Sensor
- [78] Maxim Integrated, “DS3231 RTC General Description,” *Data Sheet*, p. 20, 2015.
- [79] S. SOYSAL, “HC-05 Bluetooth Modülü AT Komutları - Robolink Akademi.” [Online]. Available: <https://akademi.robolinkmarket.com/hc-05-bluetooth-modulu-at-komutlari/>
- [80] S. Pelonis, “The Difference Between AC Fans & DC Fans | Pelonis Technologies, Inc.” 2019. [Online]. Available: <https://www.pelonistechnologies.com/blog/advantages-and-disadvantages-of-ac-fans-and-dc-fans>
- [81] “Ultrasonic Humidifier Piezoelectric Transducer Manufacturers and Company - Price - PZT Electronic.” [Online]. Available: <https://www.piezoelements.com/mist-generation/piezo-microporous-atomizer/ultrasonic-humidifier-piezoelectric.html>
- [82] “6-12V DC R385 Su Pompası Satın Al | Robo90.” [Online]. Available: <https://www.robo90.com/6-12v-dc-r385-su-pompasi>
- [83] “3 Çipli İç Mekan Şerit Led 5 Metre - Yeşil Satın Al | Robolink Market.” [Online]. Available: https://www.robolinkmarket.com/3-ciqli-ic-mekan-serit-led-5-metre-yesil?_sgm_campaign=fcs_9ec70268bc000&_sgm_source=9312%7Cproduct&_sgm_action=search&_sgm_term=şerit+led
- [84] “L298N Motor Driver - Arduino Interface, How It Works, Codes, Schematics.” [Online]. Available: <https://howtomechatronics.com/tutorials/arduino/arduino-dc-motor-control-tutorial-l298n-pwm-h-bridge/>
- [85] “ÇINAR HOBİ Usb Termal Isıtıcı Ped Karbon Fiber 5v Sıtmalı Giyim Evcil Ve Kafes Hayvanları Arı Kovanı Isıtm Fiyatı, Yorumları - Trendyol.” [Online]. Available: <https://www.trendyol.com/cinar-hobi/usb-termal-isitici-ped-karbon-fiber-5v-sitmali-giyim-evcil-ve-kafes-hayvanlari-ari-kovani-isitm-p->

- 81256855?boutiqueId=61&merchantId=328042&storefrontId=1&countryCode=TR
&language=tr&gads=true&tyutm_source=google&tyutm_me
- [86] “ARDUINO İLE SD KART KULLANIMI - Lezzetli Robot Tarifleri.” [Online]. Available: <https://lezzetlirobottarifleri.com/arduino-ile-sd-kart-kullanimi/>
 - [87] S. Raschka, “Single-Layer Neural Networks and Gradient Descent,” 2015, [Online]. Available: https://sebastianraschka.com/Articles/2015_singlelayer_neurons.html
 - [88] F. Rosenblatt, “The Perceptron - A Perceiving and Recognizing Automaton,” *Report 85, Cornell Aeronautical Laboratory*. pp. 460–1, 1957.
 - [89] W. S. MCCULLOCH and W. P. FROM, “A LOGICAL CALCULUS OF THE IDEAS IMMANENT IN NERVOUS ACTIVITY WARREN,” *Adv. Intell. Syst. Comput.*, vol. 867, pp. 786–798, 2019, doi: 10.1007/978-3-030-01370-7_61.
 - [90] “Two-Class Averaged Perceptron: Component Reference - Azure Machine Learning | Microsoft Learn.” [Online]. Available: <https://learn.microsoft.com/en-us/azure/machine-learning/component-reference/two-class-averaged-perceptron?view=azureml-api-2>
 - [91] E. Tai, “Perceptron Algorithms for Linear Classification | by Edwin Tai | Towards Data Science.” 2019. [Online]. Available: <https://towardsdatascience.com/perceptron-algorithms-for-linear-classification-e1bb3dcc7602>
 - [92] A. PAVLOV, “Random Forest - A Machine Learning Technique.” [Online]. Available: <https://www.c-sharpcorner.com/article/random-forest-machine-learning-technique/>
 - [93] C. Burges, “From Stumps to Trees to Forests | Microsoft Learn.” [Online]. Available: <https://learn.microsoft.com/tr-tr/archive/blogs/machinelearning/from-stumps-to-trees-to-forests>
 - [94] D. Yates and M. Z. Islam, “FastForest: Increasing random forest processing speed while maintaining accuracy,” *Inf. Sci. (Ny)*, vol. 557, pp. 130–152, 2021, doi: 10.1016/j.ins.2020.12.067.
 - [95] M. M. Magaji, A. Jegede, N. Y. Gurumdimma, M. Onoja, G. Aimufua, and A. Oloyede, “Fast Tree Model for Predicting Network Security Incidents,” *Proc. 5th Int.*

- Conf. Inf. Technol. Educ. Dev. Chang. Narrat. Through Build. a Secur. Soc. with Disruptive Technol. ITED 2022*, pp. 1–6, 2022, doi: 10.1109/ITED56637.2022.10051219.
- [96] A. S. Baiwei and B. Quan, “Applied Machine Learning,” *Appl. Mach. Learn.*, 2019, doi: 10.1007/978-3-030-18114-7.
- [97] J. H. Friedman, “Greedy function approximation: A gradient boosting machine,” *Ann. Stat.*, vol. 29, no. 5, pp. 1189–1232, 2001, doi: 10.1214/aos/1013203451.
- [98] G. Ke *et al.*, “LightGBM: A highly efficient gradient boosting decision tree,” *Adv. Neural Inf. Process. Syst.*, vol. 2017-Decem, no. Nips, pp. 3147–3155, 2017.
- [99] A. Abdulalim Alabdullah, M. Iqbal, M. Zahid, K. Khan, M. Nasir Amin, and F. E. Jalal, “Prediction of rapid chloride penetration resistance of metakaolin based high strength concrete using light GBM and XGBoost models by incorporating SHAP analysis,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 345, no. July, p. 128296, 2022, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2022.128296.
- [100] L. Algorithms, W. Liang, S. Luo, and G. Zhao, “Predicting Hard Rock Pillar Stability Using GBDT,” pp. 1–17, 2020.
- [101] S. Shalev-Shwartz and T. Zhang, “Stochastic Dual Coordinate Ascent methods for regularized loss minimization,” *J. Mach. Learn. Res.*, vol. 14, no. 1, pp. 567–599, 2013.
- [102] R. Le Priol, A. Piché, and S. Lacoste-Julien, “Adaptive stochastic dual coordinate ascent for conditional random fields,” *34th Conf. Uncertain. Artif. Intell. 2018, UAI 2018*, vol. 2, pp. 815–824, 2018.
- [103] “Principle of maximum entropy - Wikipedia.” [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Principle_of_maximum_entropy
- [104] A. Vikström, “A comparison of different machine learning algorithms applied to hyperspectral data analysis,” p. 59, 2021, [Online]. Available: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1566441/FULLTEXT01.pdf>
- [105] “A tour of C# - Overview | Microsoft Learn.” [Online]. Available: <https://learn.microsoft.com/en-us/dotnet/csharp/tour-of-csharp/>