

T.C.
KIRKLARELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

NESNELERİN İNTERNETİ TABANLI AKILLI SERA TASARIMI VE
GELENEKSEL SERA İLE KARŞILAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Samet TEKEŞ

ARALIK - 2024

T.C.
KIRKLARELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**NESNELERİN İNTERNETİ TABANLI AKILLI SERA TASARIMI VE
GELENEKSEL SERA İLE KARŞILAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Samet TEKEŞ

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Özlem AYTEKİN

Aralık – 2024

“NESNELERİN İNTERNETİ TABANLI AKILLI SERA TASARIMI VE GELENEKSEL SERA İLE KARŞILAŞTIRILMASI” adlı tez çalışması **Samet TEKEŞ** tarafından hazırlanmış olup aşağıdaki jüri tarafından **OY BİRLİĞİ** ile Kırklareli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı:

Prof. Dr. Özlem AYTEKİN
Kırklareli Üniversitesi

.....

Jüri Üyeleri:

Prof. Dr. Fikret İŞİK
Trakya Üniversitesi

.....

Dr. Öğr. Üyesi Barış KÜÇÜKAYDIN
Kırklareli Üniversitesi

.....

Tez Savunma Tarihi: 26/12/2024

.....
Doç. Dr. H. Hale KARAYER
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Kırkırelı Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez ve Proje Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında; tez içinde sunduğum bilgileri, verileri ve dokümanları, değişik sonuç verebilecek şekilde araştırma araç gereçleri kullanmadan, işlem veya kayıt sonuçlarını değiştirmeden akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu, tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi, bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Samet TEKEŞ
26/12/2024

ÖZET

NESNELERİN İNTERNETİ TABANLI AKILLI SERA TASARIMI VE GELENEKSEL SERA İLE KARŞILAŞTIRILMASI

Samet TEKEŞ

Yüksek Lisans Tezi

Kırklareli Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Danışman: Prof. Dr. Özlem AYTEKİN

Aralık 2024, 57 sayfa

Teknolojinin gelişmesiyle insan yaşamını kolaylaştıran cihazların sayısı artmaktadır. 1990’lardan itibaren internetin yaygınlaşması, cihazların internete bağlanmasına yönelik çalışmaları hızlandırmıştır. Nesnelerin İnterneti (IoT) olarak adlandırılan teknoloji, nesnelerin internet üzerinden diğer nesneler, insanlar ve bulut sistemlerle iletişim kurmasını, uzaktan izlenmesini ve kontrol edilmesini sağlamaktadır. IoT, birçok alanda geniş bir uygulama yelpazesi sunmaktadır.

Türkiye’de tarım faaliyetleri içerisinde örtü altı yetiştiricilik önemli bir yer tutmaktadır. Ancak seralarda yüksek verim elde edebilmek, düzenli, sürekli ve disiplinli bir insan gücü gerektirmektedir. Bununla birlikte, insan gücüne dayalı süreçlerde ortaya çıkan hatalar, üretim verimliliğini olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Bu bağlamda, Nesnelerin İnterneti tabanlı akıllı seracılık uygulamaları, üretim süreçlerinde insan hatalarını en aza indirgeyerek, zaman ve ulaşım maliyetlerinde tasarruf sağlama ve su kullanımını daha verimli hale getirme potansiyeli sunmaktadır.

Bu çalışmada, aynı ölçülere sahip iki farklı sera modeli tasarlanmıştır. İlk modelde, nem, sıcaklık, toprak nemi ve ışık gibi çevresel parametrelerin bir mobil uygulama aracılığıyla, mesafe kısıtlaması olmaksızın izlenmesi ve kontrol edilmesi sağlanmıştır. IoT tabanlı bu akıllı sera, çevresel parametrelere bağlı olarak havalandırma, fan, aydınlatma ve sulama sistemlerini otomatik olarak yönetebilmekte ve olası arıza durumlarında kullanıcıyı uyarmaktadır. İkinci modelde ise herhangi bir otomasyon sistemi tasarlanmamış ve üretim geleneksel yöntemlerle gerçekleştirilmiştir. Her iki sera modelinde roka yetiştirilmiş; elde edilen ürünler, verimlilik, erkencilik ve su tüketimi gibi parametreler açısından karşılaştırılarak değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Akıllı Sera, Sera Otomasyonu, Nesnelerin İnterneti, RemoteXY, IoT

ABSTRACT

INTERNET OF THINGS BASED SMART GREENHOUSE DESIGN AND COMPARISON WITH TRADITIONAL GREENHOUSE

Samet TEKEŞ

MSc Thesis

Kirklareli University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Supervisor: Prof. Dr. Özlem AYTEKİN

December 2024, 57 Pages

With the advancement of technology, the number of devices that simplify human life is increasing. Since the 1990s, the widespread use of the internet has accelerated efforts to connect devices to the internet. The technology known as the Internet of Things (IoT) enables objects to communicate with other devices, humans, and cloud systems over the internet, as well as to be monitored and controlled remotely. IoT offers a wide range of applications in many fields.

In Turkey, greenhouse cultivation holds an important place in agricultural activities. However, achieving high efficiency in greenhouses requires regular, continuous, and disciplined human labor. Additionally, errors arising from human-dependent processes can negatively impact production efficiency. In this context, IoT-based smart greenhouse applications minimize human errors in production processes while offering the potential to reduce time and transportation costs and improve water usage efficiency.

In this study, two greenhouse models of identical dimensions were designed. In the first model, environmental parameters such as humidity, temperature, soil moisture, and light were monitored and controlled without distance limitations through a mobile application. This IoT-based smart greenhouse automatically manages ventilation, fan, lighting, and irrigation systems according to environmental parameters and alerts users in the event of possible malfunctions. In the second model, no automation system was implemented, and cultivation was carried out using traditional methods. Arugula was cultivated in both greenhouse models, and the obtained products were compared and evaluated in terms of efficiency, early yield, and water consumption parameters.

Anahtar Kelimeler: Smart Greenhouse, Greenhouse Automation, Internet of Things, RemoteXY, IoT

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim ve tez çalışmam sürecinde bilgi birikimi, deneyimi ve rehberliğiyle bana yol gösteren, her zaman cesaretlendiren kıymetli danışman hocam Prof. Dr. Özlem AYTEKİN'e ve çalışma sırasında yardımlarını esirgemeyen, başta Ziraat Mühendisi Gülnur PELİT olmak üzere emeği geçen mesai arkadaşlarıma gönülden teşekkür ederim.

Bu süreçte sabrı, anlayışı ve sınırsız desteğiyle her an yanımda olan sevgili hayat arkadaşım Gamze TEKEŞ'e, varlığıyla hayatıma mutluluk katan canım oğlum Tuna TEKEŞ'e ve bana her daim güç veren sevgili annem Neriman TEKEŞ'e en derin sevgilerimi ve teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışmayı, 13 Haziran 2024'te kaybettiğim Babam Cemalettin TEKEŞ'e ithaf ediyorum.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	iv
ABSTRACT	vii
TEŞEKKÜR.....	vii
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	x
RESİMLERİN LİSTESİ.....	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	3
2.1. Türkiye’de Örtü Altı Yetiştiricilik	3
2.2. Nesnelerin İnterneti (IoT).....	5
2.2.1. Nesnelerin internetinin uygulama alanları	6
2.3. Tarım Alanında Yapılan Akıllı Uygulamalar	6
2.4. Türkiye ve Dünyada Tarımsal Sulama	16
3. MATERYAL VE DENEYSEL YÖNTEM.....	17
3.1. Sera Tasarımı	17
3.2. Kullanılan Materyaller	19
3.2.1. Arduino UNO	19
3.2.2. ESP8266 Wi-Fi modülü	20
3.2.3. YL-69 toprak nem sensörü.....	21
3.2.4. DHT11 sıcaklık ve nem sensörü.....	22
3.2.5. LDR ışık sensörü	23
3.2.6. Yağmur sensörü.....	23
3.2.7. ACS 712 akım sensörü.....	24
3.2.8. MG995 servo motor.....	24
3.2.9. Dalgıç pompa	26
3.2.10. Güç kaynağı.....	26
3.2.11. Şerit led	27
3.2.12. Röle modülü	28

3.2.13. Havalandırma fanı.....	28
3.2.14. Mini sprink sulama ekipmanı	29
3.3. Mobil Uygulama Arayüz Tasarımı	29
3.3.1. RemoteXY.....	30
3.4. Sistemin Çalışması	33
3.5. Deneysel Yöntem.....	36
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	41
4.1. Akıllı Havalandırmanın Etkisinin İncelenmesi.....	41
4.2. Akıllı Sulamanın Etkisinin İncelenmesi	43
4.3. Genel Değerlendirme	44
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	47
5.1. Sonuçlar	47
5.1.1. Akıllı havalandırmanın ürün verimine etkisi	48
5.1.2. Akıllı sulamanın ürün verimi ve su tüketimine etkisi.....	48
5.2. Öneriler.....	49
KAYNAKLAR.....	51
ÖZGEÇMİŞ	57

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge 2.1. Çalışmaların karşılaştırılması.....	7
Çizelge 3.1. Seralarda kullanılan materyaller.....	19
Çizelge 3.2. Arduino UNO teknik özellikleri.....	20
Çizelge 3.3. Toprak nem sensörü teknik özellikleri	22
Çizelge 3.4. DHT11 teknik özellikleri	22
Çizelge 3.5. MG995 servo motor teknik özellikleri	25
Çizelge 3.6. Güç kaynağı teknik özellikleri	27
Çizelge 3.7. Havalandırma fanı teknik özellikleri	28
Çizelge 3.8. Ürün yetiştirme biçimi	38
Çizelge 4.1. Akıllı havalandırma sisteminin ürün gelişimine etkisi	41
Çizelge 4.2. Sera içi sıcaklığın sınır değerlerin dışına çıktığı saatler	42
Çizelge 4.3. Akıllı sulama sisteminin su tasarrufu ve ürün gelişimine etkisi	43
Çizelge 4.4. Akıllı sistemlerin ürün verimi ve su tüketimine etkisi	45

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil 2.1. Örtü altı tarım alanları	3
Şekil 2.2. Ülkemizin örtü altı üretim miktarları (Sebze ve meyve).....	4
Şekil 2.3. Ülkemizde sebze üretiminin incelenmesi	4
Şekil 3.1. Önden ve yandan görünüş sera ölçüleri (cm)	18
Şekil 3.2. ESP8266 Wi-Fi modülü pin düzeni	21
Şekil 3.3. ESP8266 Wi-Fi modülü bağlantı şeması.....	21
Şekil 3.4. Toprak nem sensörü bağlantı şeması.....	21
Şekil 3.5. DHT11 bağlantı şeması	23
Şekil 3.6. LDR modülü bağlantı şeması.....	23
Şekil 3.7. Yağmur sensörü bağlantı şeması.....	24
Şekil 3.8. ACS712 bacak bağlantıları	24
Şekil 3.9. MG995 servo motorların bağlantı şeması	25
Şekil 3.10. Dalgıç pompanın bağlantı şeması	26
Şekil 3.11. Havalandırma fanı bağlantı şeması	29
Şekil 3.12. Sistemin genel özeti.....	33
Şekil 3.13. Sistemin akış diyagramı.....	36
Şekil 3.14. Ürünlerin yetiştirilme biçimleri.....	37
Şekil 3.15. Dört numaralı ürüne ait akış diyagramı	39
Şekil 3.16. Üç numaralı ürüne ait akış diyagram.....	40
Şekil 4.1. Ürünlerin karşılaştırılması	41
Şekil 4.2. Dış ortam sıcaklık verileri(°C).....	42
Şekil 4.3. Akıllı havalandırmanın zamana bağlı olarak ürünün gelişimine etkisi	43
Şekil 4.4. Akıllı sulamanın zamana bağlı olarak ürün gelişimine etkisi.....	44
Şekil 4.5. Tüm ürünlerin karşılaştırılması.....	45

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim 3.1. Sera tasarım çalışmaları	18
Resim 3.2 Üretime hazır hale gelen seralara ait görseller	18
Resim 3.3. Arduino UNO	19
Resim 3.4. ESP8266 Wi-Fi modülü	20
Resim 3.5. MG995 servo motor	25
Resim 3.6. Mini dalgıç pompa	26
Resim 3.7. Güç kaynağı	27
Resim 3.8. Şerit led	27
Resim 3.9. 4 kanal röle modülü	28
Resim 3.10. Mini sprink sulama sistemi	29
Resim 3.11. RemoteXY tarafından desteklenen bağlantı yöntemleri	30
Resim 3.12. Web ve mobilde token girişi	31
Resim 3.13. RemoteXY tarafından desteklenen kartlar	31
Resim 3.14. RemoteXY tarafından desteklenen modüller	31
Resim 3.15. RemoteXY tarafından desteklenen geliştirme ortamları	32
Resim 3.16. RemoteXY çevrimiçi editörü ile arayüz tasarlanması	32
Resim 3.17. Seranın nem, sıcaklık, toprak nemi, ışık koşullarının kontrol paneli	33
Resim 3.18. Ayarlanan sınır değerlerinin görüntülenmesi	34
Resim 3.19. Çıkış ünitelerinin çalışma durumu ve hata uyarısı	35
Resim 3.20. Akıllı sera kumanda panosu	35

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklamalar
----------	-------------

%	Yüzde
°	Derece
<i>pH</i>	Potansiyel Hidrojen
cm	Santimetre
mm	Milimetre
V	Volt
A	Amper
mA	Miliamper
gr	Gram
°C	Santigrat Derece
Ω	Ohm
M Ω	Megaohm
W	Watt
ml	Mililitre

Kısaltmalar	Açıklamalar
-------------	-------------

IoT	Internet of Things
RFID	Radio Frequency Identification
GSM	Global Mobil İletişim Sistemi
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
Wi-Fi	Wireless Fidelity
LDR	Light Dependent Resistor
LCD	Liquid Crystal Display
PTC	Positive Temperature Coefficient

SMS	Short Message Service
EC	Electrical Conductivity
PWM	Pulse Width Modulation
TCP/IP	Transmission Control Protocol / Internet Protocol
MEGEP	Mesleki Teknik Eğitimin Güçlendirilmesi Projesi
RPM	Revolutions Per Minute
CPS	Cyber-Physical Systems



1. GİRİŞ

Endüstri 4.0 olarak bilinen dördüncü sanayi devrimi ve buna bağlı olarak gerçekleşen dijital dönüşüm, hızla ilerlemekte olup bireylerin yaşam ve çalışma biçimlerini yeniden şekillendirmektedir (Ghobakhloo, 2020). Endüstri 4.0, yakın zamanda gelişen yeni teknolojilerin birleşimini gerektirmektedir (Xu, Xu ve Li, 2018). Bu teknolojiler arasında, siber-fiziksel sistemler (CPS), mobil internet, nesnelerin interneti (IoT), bulut bilişim, büyük veri ve ileri düzey analiz teknikleri önemli bir yer tutmaktadır (Zhou, Liu ve Zhou, 2015).

Nesnelerin İnterneti, Endüstri 4.0'ın temelinde önemli bir yer almaktadır. IoT, açma/kapama düğmesi bulunan her cihazın internete bağlanmasını sağlayarak, makineler ve cihazlar arasında iletişimi mümkün kılan bir ekosistem oluşturur (Kiran, 2019). Bu ekosistemde cihazlar, insanlar ve sistemler, internet üzerinden insan-insan, insan-nesne ve nesne-nesne iletişimini sağlayacak şekilde birbirine entegre edilmiştir (Nakhuva & Champaneria, 2015).

Literatür ve yapılan çalışmalardan, nesnelerin internetinin tarım alanında mikro düzeylerden makro ortamlara kadar büyük bir katkı sağladığı görülmektedir. Nesnelerin interneti teknolojilerinin, tarımda uygulanmasıyla birçok yenilikçi uygulamanın geliştirilmesine olanak sağlamıştır (Kour & Arora, 2020).

Artan nüfusun gıda ihtiyacını karşılayabilmek için tarımsal verimliliğin artırılması ve üretim süreçlerinin en uygun şekilde yönetilmesi gerekmektedir (Kanat, 2019). Kuraklık ve iklim değişikliği gibi çevresel faktörler, tarım kaynaklarının etkin kullanımını zorunlu hale getirmektedir (Ömercikoğlu, 2023). Bu sebeple, tarımda sürdürülebilirliği sağlamak için dijital teknolojilerin kullanılmasına başlanmıştır (Gövez, 2023). Hava koşulları, toprak durumu, bitkilerin su ihtiyacı ve hasat zamanı gibi verilerin toplanarak analiz edilmesi ve kullanıcıya gerçek zamanlı olarak sunulması, geleneksel yöntemlere kıyasla ürün verimliliğini artırarak maliyetleri azaltmaya önemli katkılar sunmaktadır (Kılavuz & Erdem, 2019). Bunun yanı sıra, IoT tabanlı uygulamalar, su kaynaklarının etkin kullanımını sağlayarak doğal kaynakların korunmasına önemli katkılar sunmaktadır (Tüzel ve diğerleri, 2020). Tarımsal sulama süreçlerinde gereksiz ve aşırı su tüketimini

önlemek amacıyla akıllı tarım sistemlerinin yaygınlaşması büyük önem taşımaktadır (Şahin, 2024). Geleneksel sulama yöntemleri, genellikle hem su kaynaklarını hem de iş gücünü israf etmektedir. Bu nedenle, IoT teknolojisinin entegrasyonu ile daha verimli sulama sistemlerinin geliştirilmesi, sürdürülebilir tarım için büyük öneme sahiptir (Tang, Liang, Li ve Pang, 2024).

Bununla birlikte, bu yenilikçi teknolojilerin çiftçiler tarafından benimsenmesi, önemli zorluklardan biri olarak öne çıkmaktadır. Akıllı tarım uygulamalarının tanıtılması ve kullanılabilirliğinin artırılmasında tarımsal yayım çalışmaları önemli bir rol oynamaktadır (Yılmaz & Tunalioglu, 2024).

Literatürde, akıllı seraların ürün verimi, zaman, maliyet ve su tasarrufu üzerinde olumlu etkiler sağladığını ortaya koyan birçok çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmaların büyük bir bölümünde akıllı sera tasarımı gerçekleştirilmiş, ancak geleneksel seralar ile karşılaştırmalı bir ürün yetiştiriciliği analizi yapılmamıştır (Çağlar, 2017; Akdemir, 2024; Ersin, Demiröz, Teke, Gencay ve Öz, 2019).

Bu çalışmada, aynı ölçülere sahip iki farklı sera tasarlanmıştır. İlk sera, sensörler, alıcılar ve nesnelerin interneti teknolojisi ile donatılarak akıllı sera olarak yapılandırılmıştır. Akıllı serada, havalandırma ve sulama sistemleri, yetiştirilen ürünlerin ihtiyaçlarına göre otomatik olarak çalışacak şekilde tasarlanmıştır. IoT entegrasyonu sayesinde, seranın sıcaklık, nem, toprak nemi, sulama, havalandırma ve aydınlatma gibi parametreler mobil uygulama aracılığıyla izlenebilmekte ve internet üzerinden herhangi bir yerden kontrol edilebilmektedir. Ayrıca, sulama pompası, havalandırma üniteleri ve aydınlatma sistemlerinde meydana gelen arızalar, IoT aracılığıyla mobil uygulama üzerinden kullanıcıya bildirilerek hızlı müdahale imkanı sağlamaktadır. Diğer sera ise geleneksel yöntemlerle inşa edilerek, kontrolsüz bir ortamda ürün yetiştirilmiştir.

Bu çalışmada, karşılaştırmalı analiz kapsamında roka yetiştiriciliği yapılmış ve nesnelerin interneti tabanlı akıllı sera ile internet üzerinden uzaktan kontrol sistemlerinin ürün verimi ve su tasarrufu üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu süreçte, sulama sabit tutularak akıllı havalandırma sisteminin ürün verimine etkisi incelenmiş; havalandırma sabit tutularak akıllı sulama sisteminin ürün verimine katkısı ayrı ayrı analiz edilmiştir. Bu kapsamlı yaklaşım, akıllı ve geleneksel sera uygulamalarının avantaj ve dezavantajlarını somut verilerle karşılaştırarak literatüre önemli katkılar sağlamayı hedeflemektedir.

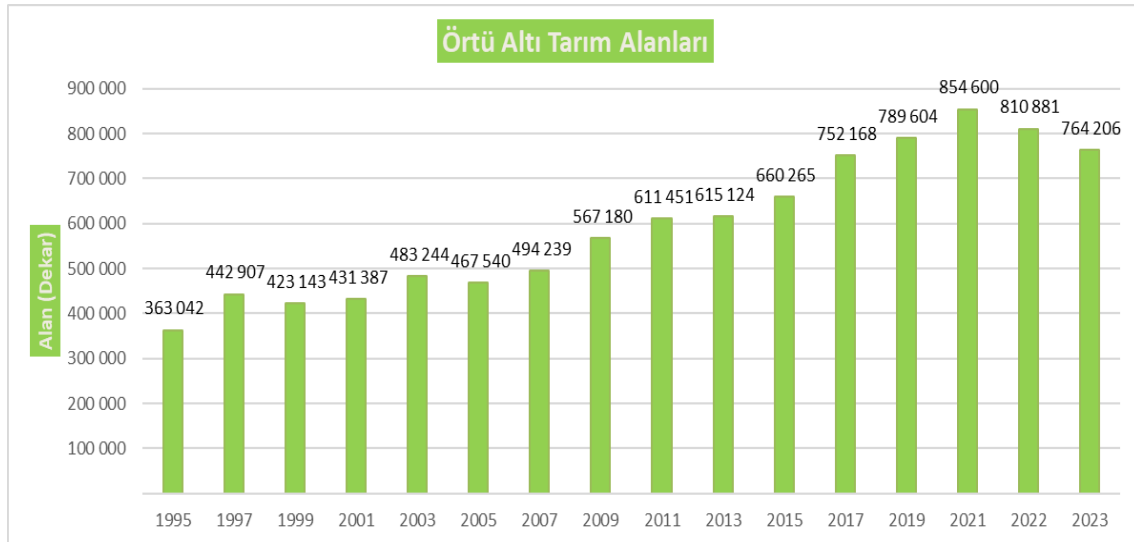
2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI

Bu bölüm Türkiye’de Örtü Altı Yetiştiricilik, Nesnelerin İnterneti, Tarım Alanında Yapılan Akıllı Uygulamalar ve Türkiye ve Dünyada Tarımsal Sulamadan oluşan dört ana başlık altında verilmiştir.

2.1. Türkiye’de Örtü Altı Yetiştiricilik

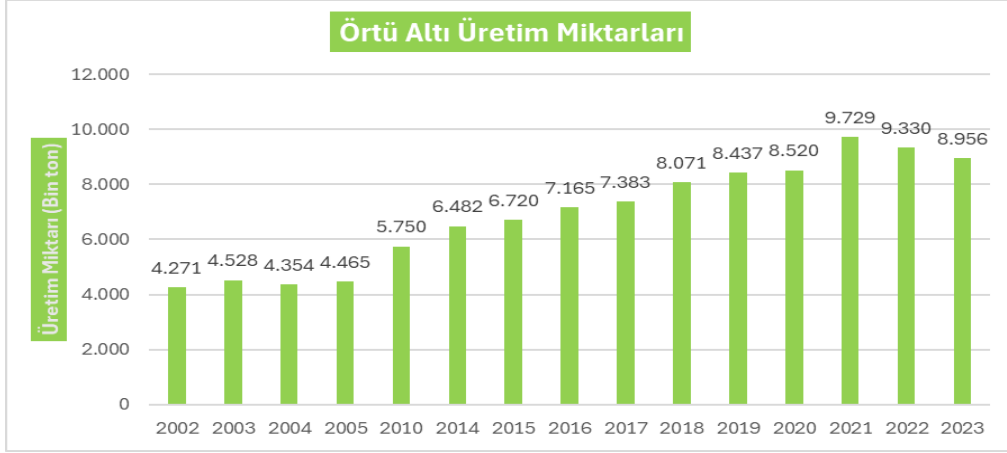
Dünya nüfusunun hızlı artışı, birim alandan daha fazla gıda üretimini zorunlu hale getirmektedir. Tüketicilerin her mevsim kaliteli sebze ve meyve talebi, seracılık sektörünün büyümesine katkı sağlamaktadır. Ancak tarımsal üretim iklim ve doğal koşullara bağlı olduğundan, artan doğal riskler, üretimin kontrollü yapılmasını gerektirmektedir. Seracılığın önemli bir sektör olmasının temel nedeni, yetiştirme ortamının kontrol edilebilir olması ve böylece verimliliğin artırılmasıdır (Özkan, 2024).

Ülkemiz örtü altı varlığı bakımından dünyada dördüncü, Avrupa’da ise İspanya’nın ardından ikinci sırada yer almaktadır (Özkan, 2024). Şekil 2.1.’de gösterildiği üzere, 1995 yılında 363 bin dekar olan örtü altı üretim alanı 2023 yılında 764 bin dekar alana ulaşmıştır (Url-1).



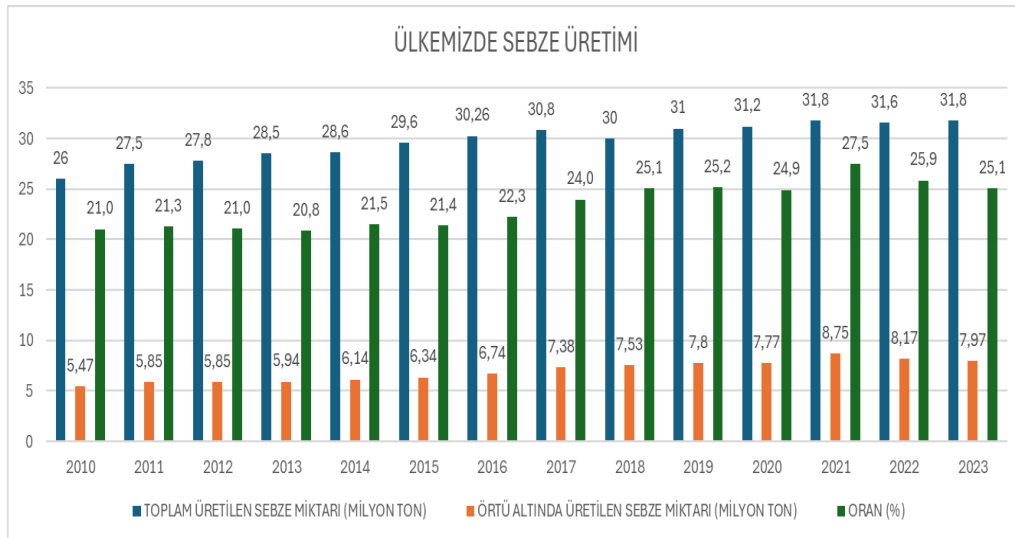
Şekil 2.1. Örtü altı tarım alanları

Ülkemizin 2002-2023 yıllarında örtü altında üretilen sebze meyve miktarları Şekil 2.2.'de verilmiştir (Url-1).



Şekil 2.2. Ülkemizin örtü altı üretim miktarları (Sebze ve meyve)

Şekil 2.3.'te görüldüğü üzere Türkiye'de örtü altı sebze üretimi, son yıllarda önemli bir gelişim göstermiştir. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) verilerine göre, 2010 yılında toplamda 26 milyon ton sebze üretilmiş olup, bunun 5,47 milyon tonu (%21) örtü altında yetiştirilmiştir. 2021 yılında ise örtü altı üretimin oranı %27,5'e yükselmişken, 2023 yılı itibarıyla bu oran %25,1'e gerilemiştir. 2023 yılı itibarıyla toplam sebze üretimi 31,8 milyon tona ulaşmış ve bunun 7,97 milyon tonu örtü altında yetiştirilmiştir. Türkiye'de 2010-2023 yılları arasında toplam sebze üretimi ve örtü altı üretiminin yıllık dağılımları, Şekil 2.3'te sunulmaktadır (Url-1).



Şekil 2.3. Ülkemizde sebze üretiminin incelenmesi

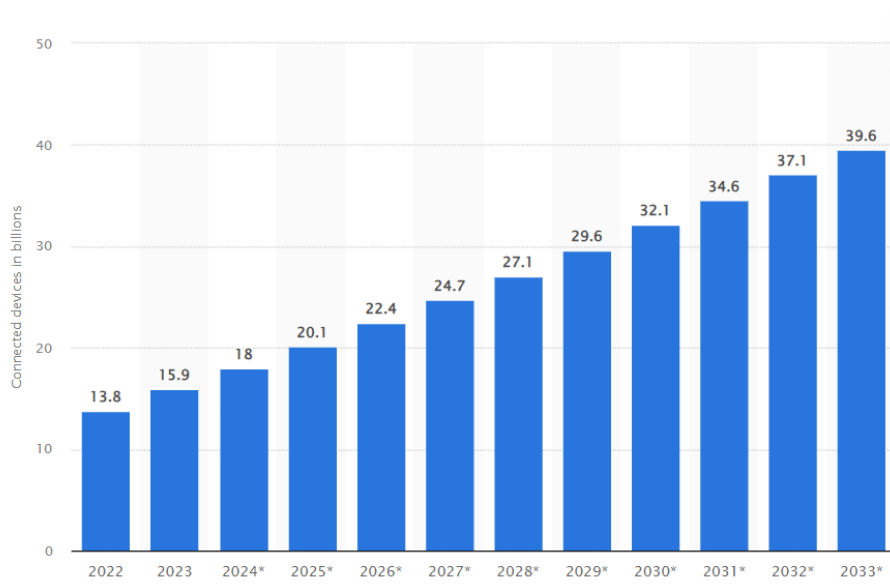
2.2. Nesnelerin İnterneti (IoT)

IoT, insanların, makinelerin ve nesnelerin her yerde bağlantı kurmasını sağlamak için algılama ve ağ iletişimi teknolojilerini kullanan dinamik bir altyapıyı temsil etmektedir (Hasan, Weichen, Safie, Ahmed ve Ghazal, 2024). İlk olarak, 1990 yılında John Romkey ve arkadaşları, internet üzerinden açılıp kapatılabilen bir tost makinesi tasarlamışlardır (Romkey, 2017). 1991 yılında, Cambridge Üniversitesi'nde geliştirilen Trojan Room Kahve Makinesi, uzaktan içecek izlenmesini mümkün kılan bir proje olarak dikkat çekmektedir. Bu proje, günümüzde dünyanın ilk webcamı olarak kabul edilmekte olup, filtre kahve makinesi potunun canlı görüntülerini sunan bir kamera sistemi kullanmıştır. Bu görüntüler, Dünya Çapında Web (www) üzerinden erişilebilir hale getirilmiş ve kullanıcıların küresel ölçekte kahve makinesini izlemeleri sağlanmıştır (Bachler, 2020). Bu çalışmalar, nesnelerin internetinin bilinen ilk örneklerini oluşturmaktadır. Nesnelerin interneti ifadesi ise ilk kez 1999 yılında Kevin Ashton tarafından yapılan bir sunumda ortaya atılmıştır (Ashton, 2009).

Nesnelerin İnterneti, günlük yaşamda kullanılan nesnelerin internet üzerinden birbiriyle iletişim kurarak veri transferi gerçekleştirdiği, insan hayatını kolaylaştıran ve yaşam standartlarını yükselten akıllı sistemler olarak tanımlanmaktadır (Gündüz & Daş, 2018). Akla gelebilecek tüm cihazlar, donanımlar, yapılar ve araçları bu sistemler ile akıllı hale getirebilmek mümkündür.

İnternetin yaygınlaşması, teknolojik gelişmeler ve sensör teknolojilerinin kullanım alanlarının artması ile Nesnelerin İnterneti, günlük yaşamda giderek daha fazla yer edinmektedir (Şimşek, 2019).

Şekil 2.4. incelendiğinde, 2023 yılı itibarıyla dünya genelinde internete bağlı nesne sayısının 15,9 milyar olduğu görülmektedir. Bununla birlikte, 2033 yılına gelindiğinde bu sayının 39 milyarı aşacağı öngörülmektedir (Url-2). Bu artış, Nesnelerin İnterneti teknolojilerinin hızla yaygınlaşmasının ve bu alandaki yenilikçi uygulamaların benimsenmesinin bir göstergesi olarak değerlendirilebilir.



Şekil 2.4. 2033 yılına kadar tahmini internete bağlı nesne sayıları

2.2.1. Nesnelerin internetinin uygulama alanları

Yer, zaman, nesne kısıtlaması olmadan her ortama her şartta uyarlanabilir olması, zaman ve maliyeti azaltması nesnelerin internetinin kısa sürede birçok alana yayılmasını sağlamıştır (Çeltek, Soy ve Hacıbeyoğlu, 2015). Akıllı şehirler (Akkurt, 2019), akıllı otomobiller (Şimşek, 2019), giyilebilir teknolojiler (Ersin, 2019), dijital sağlık (Bulut, 2022), akıllı tarım (Kırkaya, 2021), akıllı tedarik zinciri (Akben, 2019), akıllı endüstri (Ercan, 2016), akıllı ev sistemleri (Al-Samarraei, 2018), akıllı su sistemleri, akıllı tarım ve çevre IoT'nin yaygın kullanım alanlarıdır (Laghari, Wu, Laghari, Ali ve Khan, 2021).

2.3. Tarım Alanında Yapılan Akıllı Uygulamalar

Tarım, ekonomik gelişimde kritik bir rol oynar ve son yıllarda Tarım 4.0 kavramı ile dijital teknolojiler, sensörler, nesnelerin interneti ve yapay zekâ gibi yenilikler tarım süreçlerine entegre edilmeye başlanmıştır (Sevli, 2023). IoT, bilgi güvenliği, endüstri 4.0 ve akıllı tarım gibi birçok alanda önemli bir teknoloji olarak kullanılmaktadır (Yaman & Tuncer, 2023).

Tarım Alanında yapılan akıllı uygulamaların; kullanılan malzeme, IoT durumu, sonuç bakımından karşılaştırılması Çizelge 2.1.'de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Çalışmaların karşılaştırılması

Yapılan Çalışma	Kullanılan Araç ve Gereçler	Geleneksel Serada Üretilen Ürün ile Karşılaştırma	IOT Durumu	Sonuç
Bu Çalışma	Arduino Uno Sıcaklık ve Nem Sensörü Toprak Nem Sensörü Işık (LDR) Sensörü Yağmur Sensörü Fan Servo Motor Dalgıç Pompa Led Aydınlatma Isıtıcı	Evet	Evet (ESP8266)	İnsan gücü kullanımı azaldı, Ürün gelişimi ve verimi geleneksel serada yetişen ürünle karşılaştırıldı ve akıllı serada verimin daha fazla olduğu görüldü. Uzaktan sera kontrolü sağlandı, Zaman ve ulaşım giderlerinden tasarruf sağlandı. Akıllı havalandırmanın verimi artırdığı görüldü. Su tasarrufu sağlandı. Sistemsel arızaların IoT sayesinde kullanıcıya bildirilmesi sağlandı.
(Dilbaz, 2017)	Arduino Uno Sıcaklık ve Nem Sensörü Toprak Sıcaklık Sensörü Fan Isıtıcı Dalgıç Pompa	Evet	Hayır	İnsan gücünün kullanımı azaldı, Su tüketimi azaldı, Ürün verimi arttı, Ürün büyüme hızı arttı
(Doğan, 2022)	Arduino Nano Toprak Nem Sensörü Yağmur Sensörü Hareket Sensörü Işık (LDR) Sensörü Dalgıç Pompa Servo Motor Isıtıcı Redüktörlü Motor	Hayır	Evet (ESP32)	Uzaktan sera kontrolü sağlandı, Zaman ve ulaşım giderlerinden tasarruf sağlandı.
(Baysal, Özcan, Özdüven, & Beynek, 2018)	Raspberry Pi 3 Tek Kart Bilgisayar Sıcaklık ve Nem Sensörü Toprak Nem Sensörü Işık (LDR) Sensörü CO2 Sensörü Raspberry Pi Kamera V2	Hayır	Evet (ESP8266)	Uzaktan sera verilerinin izlenmesi sağlandı. Belirlenen aralıkları dışına çıkan veriler SMS, mail ile yetkili kişiye bildiriliyor. Yetkili kişinin anlık ve geçmişe yönelik sera içi görüntüleri izleyebilmesi sağlandı.

Yapılan Çalışma	Kullanılan Araç ve Gereçler	Geleneksel Serada Üretilen Ürün ile Karşılaştırma	IOT Durumu	Sonuç
(Çağlar, 2017)	Arduino Mega 2560 R3 Sıcaklık ve Nem Sensörü Toprak Nem Sensörü CO2 Sensörü Işık (LDR) Sensörü Yağmur Sensörü Fan Servo Motor Step Motor Kamera Dalgıç Pompa Led Aydınlatma	Hayır	Evet (Esp8266)	Su tasarrufu sağlandı, Ürün gelişim hızı arttı, Uzaktan sera kontrolü sağlandı.
(Elmaslı, 2022)	Arduino Mega 2560 Yağmur Sensörü Sıcaklık ve Nem Sensörü Toprak Nem Sensörü Servo Motor Fan DC Motor	Hayır	Evet (ESP32)	İnsan gücünün kullanımı azaldı, Bluetooth ve Wifi bağlantı karşılaştırılmıştır, WiFi bağlantı bluetooth bağlantıya göre daha hızlı ve daha geniş alanlarda kullanılabilir olduğu görülmektedir.
(Naseri, 2019)	Arduino Uno Toprak Nem Sensörü Sıcaklık ve Nem Sensörü Işık (LDR) Sensörü Fan Su Pompası Led Aydınlatma	Hayır	Hayır	Az kaynak tüketimi sağlandı, LCD ekrandan sera verilerinin izlenmesi sağlandı.
(Rzayev, 2023)	Arduino Mega 2560 Toprak Nem Sensörü Sıcaklık ve Nem Sensörü Işık (LDR) Sensörü CO2 Sensörü Piezo (Buhar) Fan Su Motoru Led Aydınlatma Isıtıcı	Hayır	Evet (HC05 Bluetooth)	Bitkiler için gerekli ortamının sağlanması için Yapay Zekâ tabanlı sistem oluşturuldu.
(Öztürk, Çelik, & Kırıcı, 2021)	Arduino Uno Sıcaklık ve Nem Sensörü Toprak Nem Sensörü Aydınlatma Fan Dalgıç Pompa	Hayır	Evet (HC06 Bluetooth)	Verim arttı, Bitki gelişim hızı arttı, Mobil uygulamadan kontrol sağlandı.

Yapılan Çalışma	Kullanılan Araç ve Gereçler	Geleneksel Serada Üretilen Ürün ile Karşılaştırma	IOT Durumu	Sonuç
(Ersin ve diğerleri, 2019)	Arduino Uno Raspberry Pi Sıcaklık ve Nem Sensörü Toprak Nem Sensörü Kamera Su Motoru	Hayır	Evet	Su tasarrufu sağlandı, Uzaktan sera verilerinin izlenmesi sağlandı, Gerçek zamanlı olarak sulanan tarımsal alanın video görüntüsünü internet aracılığı ile gözlemleyebilme sağlandı.
(Baytürk, Çetin, & Çetin, 2013)	OLIMEX-PIC WEB Sıcaklık Sensörü Toprak Nem Sensörü Sulama Valfi	Hayır	Evet	Kullanıcıların izlenen değerleri gömülü bir web arayüzünden takip ederek sisteme müdahale edebilmeleri tek bir aygıt üzerinden sağlanmıştır.
(Dayıoğlu, 2013)	PIC16F876 Dijital Sıcaklık Sensörü Bağıl Nem Sensörü	Hayır		Sera çevresindeki verilerin ölçülmesi ve kontrol sinyallerinin iletilmesi için Bluetooth teknolojisine dayalı kablosuz iletişim sistemi tasarlanmıştır.
(Dayıoğlu, Uğur, & Türker, 2016)	Raspberry Pi 2 Sıcaklık Sensörleri (Hava, Toprak, su)	Hayır	Evet	Nesnelerin interneti teknolojisi serada uygulanmış olup; hava, toprak ve su sıcaklıklarını kablosuz sensör ağı ve Web üzerinden izleyen prototip bir sistem geliştirilmiştir.
(Rajalakshmi & Mahalakshmi, 2016)	Arduino Toprak Nem Sensörü Sıcaklık ve Nem Sensörü Işık (LDR) Sensörü Motor Aydınlatma	Hayır	Evet	Su tasarrufu sağlandı, Verimlilik arttı.
(Imteaj, Rahman, Hossain, & Zaman, 2016)	Arduino Uno Raspberry Pi 3 Su Seviye Sensörü Işık (LDR) Sensörü Toprak Nem Sensörü Su Pompası	Hayır	Evet	Su tasarrufu sağlandı, Verimlilik arttı, İnsan kaynaklı hataların önüne geçildi.
(Taştan, 2019)	NodeMCU Sıcaklık ve Nem Sensörü Toprak Nem Sensörü Selenoid Valf	Hayır	Evet	İdeal sulama süresi ve sulama periyodunun tespiti sağlandı, Su ve elektrik enerjisi tasarrufu sağlandı.

Yapılan Çalışma	Kullanılan Araç ve Gereçler	Geleneksel Serada Üretilen Ürün ile Karşılaştırma	IOT Durumu	Sonuç
(Yenikaya, Güvenoğlu, & Kondakçı, 2022)	NodeMCU Arduino Uno Sıcaklık Sensörü Yangın Algılama Sensörü Toprak Nem Sensörü Ultrasonik Mesafe Sensörü pH Sensörü Elektriksel İletkenlik (EC) Sensörü Valf Peristaltik Motor	Hayır	Evet	Yetiştirilen tarım ürünlerinin su ve gübre ihtiyaçları yeterli miktarlarda karşılanarak aşırı tüketimin önüne geçildi.
(Babayiğit & Büyükpatpat, 2019)	Arduino Uno Sıcaklık ve Nem Sensörü Toprak Nem Sensörü UV Sensörü Yağmur Sensörü Motor	Hayır	Evet (ESP8266)	Su tasarrufu sağlandı, Uzaktan verilerinin izlenmesi sağlandı.
(Gücük, 2019)	Raspberry Pi 2 Toprak Nem Sensörü Solenoid Vana	Hayır	Evet	Su tasarrufu sağlandı, Kullanıcı tarafından girilen toprağın besin ihtiyaçları sistem tarafından otomatik olarak karşılanmıştır.
(Taşkesen, 2018)	NodeMCU Toprak Nem Sensörü Dalgıç Pompa	Hayır	Evet	Su tasarrufu sağlandı, Ürün verimi arttı, İş yükü azaldı, Hava durumu tahminine göre sulamanın ertelenmesi sağlandı.
(Kodali, Jain, & Karagwal, 2016)	Arduino Intel Galileo Gen 2 Sıcaklık ve Nem Sensörü Toprak Nem Sensörü Led Aydınlatma GSM sim900a Modülü	Hayır	Evet	İnsan gücünün kullanımı azaldı, Ürün verimi ve büyüme hızı arttı, Su tasarrufu sağlandı.

Yapılan Çalışma	Kullanılan Araç ve Gereçler	Geleneksel Serada Üretilen Ürün ile Karşılaştırma	IOT Durumu	Sonuç
(Abou-Mehdi-Hassani, ve diğerleri, 2023)	Arduino Mega NodeMCU Sıcaklık ve Nem Sensörü Işık (LDR) Sensörü Toprak Nem Sensörü CO2 Sensörü Led Aydınlatma Pompa Fan Isıtıcı Servo Motor	Hayır	Evet	Ürün verimi ve büyüme hızı arttı, Su tasarrufu sağlandı.
(Khalid & Yaacob, 2023)	ESP32 Sıcaklık ve Nem Sensörü Toprak Nem Sensörü Işık (LDR) Sensörü Fan Led Aydınlatma Dalgıç Pompa	Hayır	Evet	Sistemin uzaktan izlenmesi ve kontrolü sağlandı. Yetiştirilecek bitki için uygun şartları otomatik olarak sağlayan sistem tasarlandı.
(Danita, Mathew, Shereen, Sharon, & Paul, 2018)	Raspberry Pi 3 Toprak Nem Sensörü Sıcaklık ve Nem Sensörü Motor Sürücü Fan	Hayır	Evet	İspanak yetiştirebilmek için en iyi koşulları sağlayabilen sera tasarlanmıştır. Sistemde bulunan sensör verilerinin uzaktan izlenmesi sağlanmıştır.

Dilbaz (2017), yaptığı çalışmada aynı özelliklere sahip iki sera tasarlamıştır. Seraların bir tanesinde tüm işlerin insan gücü ile yapıldığı geleneksel seracılık yapılırken; diğer serada sensörlerden gelen verilere göre önceden belirlenen kurallar çerçevesinde ısıtma, soğutma, sulama sistemlerinin otomatik olarak çalışması sağlanmıştır. İki serada da domates yetiştiriciliği yapılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Akıllı serada, geleneksel seraya göre bitki büyüme süresinin daha kısa, verimin daha yüksek ve tüketilen su miktarının daha düşük olduğu belirtilmiştir. Tasarımda nesnelerin interneti ve seranın uzaktan kontrol edilebilmesi çalışılmamıştır.

Doğan (2022), gerçek zamanlı bulut veri tabanı Firebase kullanarak yaptığı çalışmada, sıcaklık, nem, toprak nem, yağmur ve hareket sensörlerinden gelen verileri anlık olarak görebildiği bir mobil uygulama tasarlamıştır. Sensör verilerine göre otomatik ya da manuel olarak aydınlatma, pencere, sulama, havalandırma, ısıtma ve tavan perdesi

kontrolü yapılmıştır. Seranın mobil uygulama ile uzaktan kontrol edilebilmesinin, zaman kayıplarının ve ulaşıma harcanan giderlerin önüne geçeceği belirtilmiştir.

Baysal ve diğerleri (2018), kablosuz sensörler aracılığıyla 30 ile 45 dakikalık aralıklarla hem sera içi hem de dışına ait sıcaklık ve nem, toprak nemi, hava kalitesi ve ışık değerlerini ölçüp kayıt altına alan ve uzaktan erişim ile bu değerlerin takip edilebildiği bir sistem tasarlamışlardır. Sensörlerden gelen verilerin önceden belirlenmiş alt ve üst limitlerin dışına çıkması halinde, kullanıcıya SMS veya e-posta ile bilgi verilerek yetiştirilen ürünlerin zarar görme riskinin azaltılması hedeflenmiştir. Şebekeye bağlı sistemlerden beslenmeyen kablosuz sensörlerin enerjisi piller ile karşılanmaktadır. Kullanıcı tarafından pillerin düzenli olarak kontrol edilmesi, değiştirilmesi, şarj edilmesi az da olsa ekstra bir iş yükü oluşturabilmektedir. Baysal ve ark. sensörlerin ölçüm yapmadığı sürelerde derin uyku modunda olmalarını sağlayarak bu iş yükünü en aza indirmişlerdir. Çalışmada, görüntü işleme ile olgunluk takibi yapılmış ve bu sistemin hasat zamanının belirlenmesi konusunda üreticiye kolaylık sağlayacağı belirtilmiştir.

Çağlar (2017), hazırladığı prototip serada biber ve domates yetiştiriciliği yapmıştır. Yetiştirilen ürün gelişiminin izlenebilmesi amacıyla fotoğraf çekilmesi sağlanmış; ancak görüntü işleme teknikleri çalışılmamıştır. Sulama sistemi sensörlerden gelen verilere göre otomatik olarak çalıştırılmış ve ürünlerin fazla veya eksik sulanmasının önüne geçilmiştir. Sera güvenliği için hareket sensörü kullanılması öneri olarak sunulmuş ve bitki gelişiminin hızlandırılması amacıyla kırmızı renkli yapay ışıklandırma yapılmıştır. Yapay ışıklandırmanın ürün gelişimini hızlandırdığı belirtilmiştir. Sensörlerden gelen tüm verilerin mobil uygulama ve internet üzerinden takip edilmesi ve seradaki alıcıların uzaktan kontrol edilmesi sağlanmıştır.

Elmaslı (2022), tarafından akıllı seralarda bluetooth ve Wi-Fi ile haberleşmenin farklılıkları çalışılmıştır. Arduino Mega 2560 kullanılan çalışmada sıcaklık, nem, yağmur, sensörlerinden alınan verilere göre fan, su motoru ve servo motoru otomatik olarak çalıştıran sistem tasarlanmıştır. Sensör verileri hem bluetooth hem de Wi-Fi haberleşme ile kullanıcıya aktarılabilir. Düşük enerji tüketimi, başlangıç bağlantı hızı, düşük maliyeti Bluetooth haberleşmenin; daha yüksek veri gönderme kapasitesi, veri aktarım güvenliği, sinyal alanının genişliği ise Wi-Fi haberleşmenin üstün yanları olarak belirtilmiştir.

Naseri (2019), toprak nem, LDR, hava, nem sensörleri kullanarak hazırladığı projesinde havalandırma, sulama, aydınlatmayı otomatik olarak yapan bir sistem tasarlamıştır. Sensörden gelen veriler LCD ekrandan görülüp kontrol edilebilmektedir. Tasarımda nesnelerin interneti çalışmamıştır.

Rzayev (2023), sıcaklık, nem, ışık şiddeti, toprak nem, karbondioksit sensörleri ile yapay zekâ tabanlı sistem oluşturmuş ve haberleşmede bluetooth kullanmıştır. Prototip bir serada yetişen bir bitkinin ideal yetiştirme şartlarını sağlayarak stabil halde tutan modeller önerilmiştir.

Öztürk ve diğerleri (2021), akıllı teknolojilerin tarımda kullanılmasının gerekli olduğunu belirtmiştir. Yapılan çalışmada, akıllı sera ve doğal ortamda yetiştirilen bitkilerin gelişimleri izlenerek incelenmiştir. Arduino Uno, DHT11 ve toprak nem sensörü kullanılarak tasarlanan seranın haberleşmesi bluetooth ile yapılmıştır. Dalgıç pompa, seramik ısıtıcı lamba ve fanları sensörlerden gelen verilere göre otomatik olarak çalıştırabilen seraya, domates, biber, salatalık bitkileri ve begonya çiçeği ekilmiştir. Akıllı sera biber, domates ve begonya gelişiminde olumlu etki yaratırken doğal ortamda gelişen salatalığın akıllı seraya göre daha iyi büyüdüğü belirtilmiştir.

Ersin ve diğerleri (2019), akıllı teknolojilerin tarımda verimi artırdığını, bitkilerin gelişmesi ve su tasarrufu için toprak neminin önemli bir unsur olduğunu belirtmiştir. Bu çalışmada, önceden ayarlanan değerler göz önünde bulundurularak toprak nem sensöründen gelen verilere göre sulama işlemi otomatik olarak gerçekleştirilmiştir. Sulama işlemi gerçekleştirilirken kullanıcı tarafından kamera ile bitkilerin görüntülenebilmesi sağlanmıştır.

Baytürk ve diğerleri (2013), bu çalışmada, seranın sıcaklık, nem, sulama değerlerini uzaktan izleyebilen ve kontrol edebilen bir sistem tasarlanmıştır. Geliştirilen sistemde sıcaklık, toprak nemi değerleri web arayüzüne bağlanarak izlenmiş ve sensörlerden gelen verilere göre seranın ihtiyacı olan işlemler OLIMEX-PIC WEB kontrol kartı ile gömülü sunucu üzerinden gerçekleştirilmiştir. Ortam sıcaklık değerinin elde edilmesi için PTC termistör kullanılmıştır. Geliştirilen sistemde, sulama işlemi toprak nem sensöründen gelen verilere göre otomatik olarak gerçekleştirilmiş; bir birimin görevini yerine getirmemesi durumunda gömülü web arayüzü üzerinden kullanıcı bilgilendirilmiştir.

Dayıoğlu (2013), çalışmasında sera etrafındaki sıcaklık ve bağıl nem değerlerinin ölçülmesi ve veri iletişimini bluetooth ile gerçekleştiren kablosuz bir sistem tasarlamıştır. Bitkilerin yetiştirilme sürecinde çevresel faktörlerin bilinmesinin ve kontrol altında tutulmasının seralarda verimi artıracakı belirtilmiştir.

Dayıoğlu ve diğerleri (2016), Bu çalışmada, kablosuz sensör düğümleri ile sera içerisindeki hava, sıcaklık ve su sıcaklık değerlerini ölçerek kablosuz olarak web ortamına aktaran ve verilerin web üzerinden izlenebildiği bir sistem tasarlamışlardır. Gömülü web sunucu sayesinde, sistemin intranet üzerinden, internet bağlantısı olmadan da kullanılması sağlanmıştır.

Rajalakshmi ve Mahalakshmi (2016), toprak nem, sıcaklık, nem ve ışık sensörleri kullanarak alana ait verilerin ölçülüp sulamanın otomatik olarak yaptırıldığı bir sistem tasarlamıştır. Hazırlanan mobil uygulama üzerinden, ışığın ve sulamanın açılıp kapatılması kullanıcı tarafından manuel olarak da kontrol edilebilmiştir. Sulamada kullanılan tank içinde kalan su, ultrasonik sensör ile ölçülmüş, tankta yeterli su bulunmaması halinde sistemin kullanıcıya uyarı mesajı vermesi sağlanmıştır. Bu çalışmanın amacı, yetiştirilen ürüne doğru zamanda doğru miktarda su verilerek su tasarrufunun sağlanması ve verimin artırılmasıdır.

Imteaj ve diğerleri (2016), toprak nem sensöründen gelen verilere göre sulamanın otomatik olarak yapıldığı bir sistem tasarlamıştır. Sulama tankında su seviye sensörü kullanarak ölçüm yapılmış ve kullanıcıya SMS ile bilgilendirme yapılmıştır. Çalışmanın amacı, bitkilere yalnızca ihtiyacı kadar su verilerek israfın ve insan kaynaklı hataların önüne geçilmesidir.

Taştan (2019), NodeMCU denetleyicisini kullanarak havanın sıcaklık, nem değerleri ile toprak nem değerlerinin ölçülmesini, verilerin Blynk platformu ile hazırlanan mobil uygulama ile internet üzerinden kontrolünü ve izlenmesini sağlayan akıllı bahçe sulama sistemi gerçekleştirmiştir. Ölçüm verileri bulut üzerinden sürekli kayıt altına alınmıştır. Sistem toprağın ihtiyaç duyduğu su miktarını ve sulama zamanını tespit ederek otomatik sulama yapmış ayrıca, DHT22 sensörü ile hava durumu kontrolü yapılarak yağış beklentisi durumunda sulama zamanını öteleyerek su israfının önüne geçmiştir.

Yenikaya ve diğerleri (2022), gübreleme ve sulamayı otomatik olarak yapabilen bir sistem tasarlayarak tarımda verimi artırmayı amaçlamışlardır. Çalışmada, sulama toprak

nem sensöründen gelen verilere göre otomatik olarak elektrikli vanalar aracılığıyla yapılmış; depoda kalan sıvı seviyesi ultrasonik sensörler ile tespit edilmiş ve sıvı seviyesi istenilen değerin altında düştüğünde otonom olarak tamamlanmıştır. pH ve EC sensörleri ile toprağın değerleri ölçülerek gerekli motorlara çalışma talimatlarının verilmesi sağlanmış ve uygun gübreleme yapılmıştır. Sensörlerden alınan veriler Cayenne bulut sistemine gönderilmiş ve kullanıcı tarafından anlık olarak takip edilmesi sağlanmıştır.

Babayiğit ve Büyükpatpat (2019), toprak nem sensöründen gelen verilere göre akıllı sulama gerçekleştiren bir sistem tasarlamışlardır. Sensörlerden alınan verilerin ThingSpeak üzerinden izlenebilmesi sağlanmıştır. Yağmur sensörü ile yağış tespit edildiğinde kullanıcı çevrimiçi olarak sulama başlatılması için belirlenen toprak nemi eşik değerini değiştirerek su tasarrufu sağlamıştır.

Gücük (2019), bitkilerin ihtiyaç duydukları besinleri sıvı gübreler ile belirlenen zaman ve oranlarda karşılayan bir sistem tasarlamıştır. Kullanıcı tarafından sisteme girişi yapılan besin ihtiyaçları (Azot, Potasyum, Nitrat) peristaltik pompalar ile sulama suyuna karıştırılarak bitkiye ulaşması sağlanmıştır.

Taşkesen (2018), kullanıcı tarafından yetiştirilmek istenen ürünün seçilebildiği veri tabanına sahip bir uygulama tasarlamıştır. Seçilen ürünün verimli şekilde yetişebildiği doğa şartları ve ürünün bulunduğu ortamın çevresel faktörleri sistem tarafından kıyaslanarak doğru zamanda doğru miktarda sulama yapılması sağlanmıştır. Sistem tarafından yağış tahmini yapılmış ve yağış beklenmesi durumunda sulamanın ertelenmesi gerçekleştirilmiştir.

Kodali ve diğerleri (2016), sera içerisindeki sıcaklık ve nem değerlerinin belirlenen limitler içinde tutulmasını sağlamıştır. Toprak nem sensöründen gelen veriye göre sulama sağlanmış, su tankında sıvı seviyesi azaldığında kullanıcıya SMS ile bilgi verilmiştir. Kullanıcının SMS ile pompayı çalıştırarak su tankını doldurabilmesi sağlanmıştır.

Abou-Mehdi-Hassani ve diğerleri (2023), serada ısıtma, sulama, aydınlatma ve hava sirkülasyon sistemlerini otomatik olarak düzenleyerek karanfil bitkisi yetiştirmek için uygun ortam şartlarını sağlayan bir sistem tasarlamışlardır. Seraya ait sensör verilerinin internet üzerinden izlenebilmesi ve ayarlanabilmesi sağlanmıştır.

Khalid ve Yaacob (2023), tarafından ESP32 mikrokontrolör ile havalandırma, sulama, aydınlatma sistemlerini otomatik olarak ayarlayarak kauçuk ağacı yetiştirilmesi için

uygun ortam şartlarını sağlayan bir sistem tasarlanmıştır. Blynk uygulaması üzerinden sisteme ait verilerin internet üzerinden izlenebilmesi sağlanmıştır.

Danita ve diğerleri (2018), ıspanak yetiştirebilmek için gerekli koşulları sağlayan bir sistem tasarlamışlardır. Sıcaklık değeri 26.5'tan büyük olduğunda Raspberry Pi 3 vasıtasıyla sürgülü kapılara bağlı motorlar ve fan enerjilendirilmiş ve sera içi sıcaklığın eşik değerin üzerine çıkmaması sağlanmıştır. Toprak nem sensörü değeri %40'ın altına düştüğünde sulama motoru çalıştırılmıştır. Sensör verilerinin kullanıcı tarafından ThingSpeak üzerinden takip edilebilmesi sağlanmıştır.

ESP8266 NodeMCU kullanılarak yapılan çalışmada roka yetiştiriciliğinde toprak nemi %50'de tutulmuştur. Toprak nem sensöründen gelen verilerde nem oranı %50'nin altına düştüğünde otomatik olarak sulama başlamakta ve toprak nemi %50'ye ulaştığında pompa otomatik olarak durmaktadır. Blynk uygulamasının kullanıldığı IoT çalışmasında mahsul verimi artırılmıştır (Perangin-angin & Simanjuntak, 2021).

2.4. Türkiye ve Dünyada Tarımsal Sulama

Tatlı su kaynaklarındaki azalma ve su kullanım dengesizliği ile suya erişim giderek zorlaşmaktadır. 1977'deki Birleşmiş Milletler Su Konferansı, her bireyin içme suyuna erişimi gerektiğini vurgulamıştır. Ancak günümüzde hâlâ suya erişim sorunları devam etmekte ve doğal kaynaklar hızla tükenirken su tüketimi artmaktadır (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2021).

Dünyada toplam su tüketiminin yaklaşık %70'ini tarımsal sulama oluşturmaktadır (Yılmaz A., 2015). Bu oran Avrupa'da %25, Afrika ve Asya'da ise %81'dir. Ülkelerin gelişmişlik düzeylerine göre su kullanımında farklılıklar gözlemlenmektedir. 2021 verilerine göre Türkiye'de tarımsal sulama için kullanılan su miktarı 45,05 milyar metreküp olup, toplam su kullanımının %77'sini oluşturmaktadır (Url-3). Küresel olarak su kaynaklarının yaklaşık %12'si hane halkı tarafından kullanılmaktadır (Url-4).

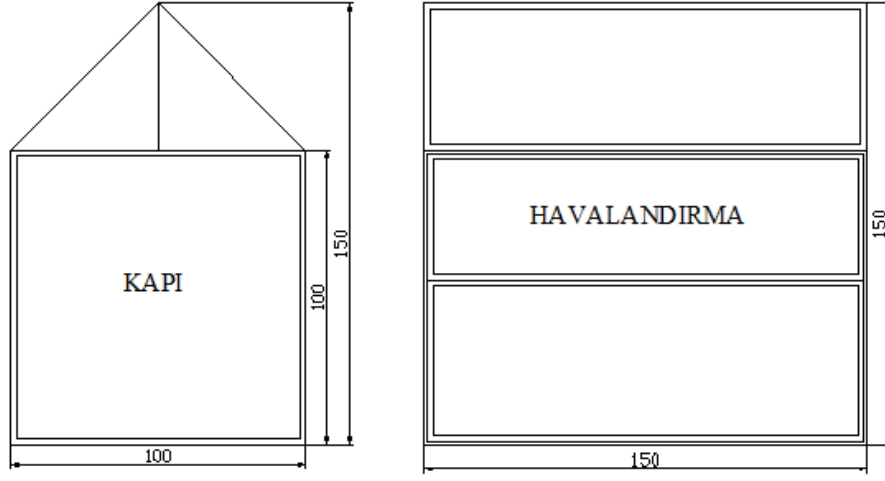
3. MATERYAL VE DENEYSEL YÖNTEM

Bu çalışmada, eşit boyutlara sahip iki sera kurulmuştur. Seralardan biri, IoT tabanlı Arduino kontrollü akıllı sera olarak tasarlanmıştır. Akıllı serada, sıcaklık, nem, toprak nemi ve ışık gibi çevresel parametreler çeşitli sensörler aracılığıyla izlenmiş ve bu veriler internet üzerinden kullanıcıya iletilmiştir. Tasarlanan sistem, sensörlerden elde edilen veriler doğrultusunda önceden programlanmış algoritmalar ile sulama, havalandırma ve aydınlatma işlemlerini otomatik olarak gerçekleştirebilmekte; aynı zamanda, mobil uygulama aracılığıyla seranın çalışma koşullarının kullanıcı tarafından değiştirilmesine olanak sağlamaktadır. Tasarlanan sistemde havalandırma, sulama, aydınlatma ünitelerinde bir arıza meydana geldiğinde kullanıcı mobil uygulama üzerinden hangi üniteye hata olduğunu görebilmektedir. Diğer sera ise geleneksel yöntemlerle çalışmak üzere tasarlanmıştır.

Araştırma kapsamında, seralarda roka yetiştiriciliği gerçekleştirilmiştir. Yetiştiricilik süresince, ürün gelişimini destekleyecek herhangi bir kimyasal katkı maddesi kullanılmamıştır. Çalışmanın temel amacı, Nesnelerin interneti tabanlı akıllı seraların tarımsal üretimde ürün verimi ve su tüketimi üzerindeki rolünü incelemektir.

3.1. Sera Tasarımı

Demir profiller kullanılarak oluşturulan seranın ön ve yan görünüşlerine ait AutoCAD çizimleri Şekil 3.1.'de sunulmaktadır. Seranın üretim sürecine ilişkin görseller Resim 3.1.'de, üretime hazır hale getirilmiş son durumu ise Resim 3.2.'de gösterilmektedir. Bu görseller, seranın tasarım ve uygulama süreçlerinin görsel olarak desteklenmesi amacıyla çalışmaya dahil edilmiştir.



Şekil 3.1. Önden ve yandan görünüş sera ölçüleri (cm)



Resim 3.1. Sera tasarım çalışmaları



Resim 3.2 Üretime hazır hale gelen seralara ait görseller

3.2. Kullanılan Materyaller

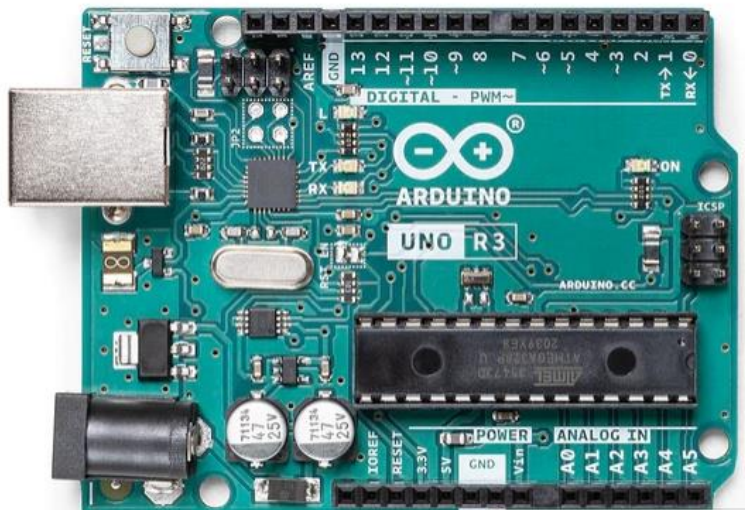
Tasarlanan seralarda kullanılan materyaller Çizelge 3.1.'de sunulmaktadır. Bu çizelge, sera yapımında tercih edilen malzemelerin türlerini ve özelliklerini detaylı bir şekilde göstermektedir.

Çizelge 3.1. Seralarda kullanılan materyaller

Akıllı Serada Kullanılan Materyaller
Arduino Uno
Sıcaklık ve Nem Sensörü (DHT11)
Toprak Nem Sensörü
LDR
Yağmur Sensörü
Akım Sensörü
4 Kanal 5 Volt Röle Kartı
ESP8266
12V Mini Dalgıç Pompa
Şerit Led
MG 995 Servo Motor
12V Fan 120x120x25mm
12V 30A Güç Kaynağı

3.2.1. Arduino UNO

Arduino UNO, 14 dijital giriş/çıkış pini (3,5,6,9,10,11 numaralı pinleri PWM çıkışı olarak kullanılabilir) ve 6 analog giriş pini bulunan açık kaynak kodlu, Atmega328P tabanlı bir mikrodenetleyici kartıdır (Url-5). Kullanılan kartın görseli Resim 3.3.'te, teknik özellikleri ise Çizelge 3.2.'de detaylı olarak sunulmuştur.



Resim 3.3. Arduino UNO

Çizelge 3.2. Arduino UNO teknik özellikleri

Mikrodenetleyici	ATmega328P
Giriş Gerilimi	7-12V
Dijital Giriş/Çıkış Pin Sayısı	14
Dijital Giriş/Çıkış Pin Numaraları	0,1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13
PWM Çıkışı Sağlayan Pin Numaraları	3,5,6,9,10,11
Analog Giriş Pin Sayısı	6
Giriş/Çıkış Pin Başına DC Akımı	20mA
Uzunluk	68,6 mm
Genişlik	53,4 mm
Ağırlık	25 gr

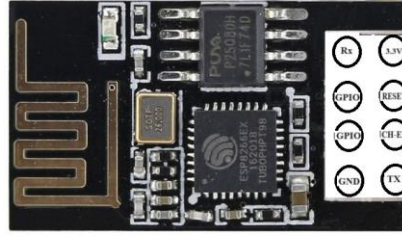
3.2.2. ESP8266 Wi-Fi modülü

Üzerinde bulunan dahili anten vasıtasıyla ortamda bulunan Wi-Fi ağlarına bağlanarak veri transferi yapabilen, TCP/IP protokolünü destekleyen, düşük güç tüketimli bir modüldür (Url-6). Esp8266 kablosuz ağlara bağlanabildiği gibi kablosuz ağ erişim noktası olarak da kullanılabilir. Ai-Thinker firması tarafından 2014 yılında geliştirilmiştir (Keçeli, 2021). ESP8266 Wi-Fi modülüne ait görsel Resim 3.4.'te verilmiştir.

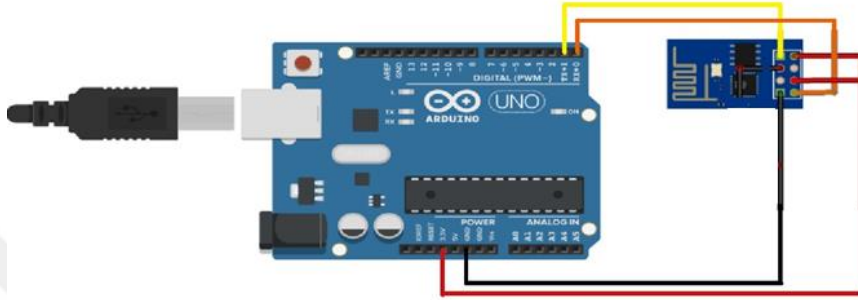


Resim 3.4. ESP8266 Wi-Fi modülü

ESP8266, uygun maliyeti ve kullanım kolaylığı sayesinde IoT projelerinde yaygın olarak tercih edilen bir modüldür. ESP8266'nın pin düzeni Şekil 3.2.'de gösterilmiştir. Modül üzerindeki Rx pini, Arduino kartındaki Tx pinine; modül üzerindeki Tx pini ise Arduino kartındaki Rx pinine bağlanmalıdır. Modülün bağlantı şeması ise Şekil 3.3.'te sunulmaktadır.



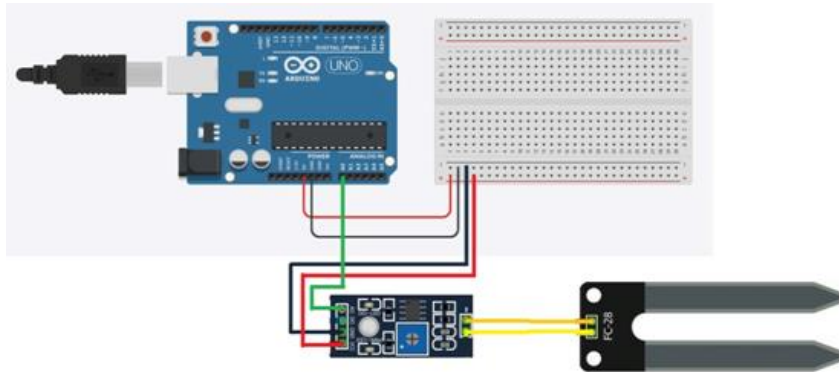
Şekil 3.2. ESP8266 Wi-Fi modülü pin düzeni



Şekil 3.3. ESP8266 Wi-Fi modülü bağlantı şeması

3.2.3. YL-69 toprak nem sensörü

Toprak neminin ölçülmesi amacıyla, iki elektrotlu bir toprak nem sensörü kullanılmıştır. Ölçüm işlemi, sensörün elektrotlarının bitkinin bulunduğu toprağa yerleştirilmesiyle gerçekleştirilir. Toprağın nem durumuna bağlı olarak, elektrotlar arasında bir gerilim farkı oluşur; bu gerilim farkı, toprak nem miktarının belirlenmesini sağlar. Toprağın nem seviyesinin artması, elektrotlar arasındaki direnci azaltarak iletkenliğin artmasına yol açar (Mamur, Dicle ve Erdener, 2021). Toprak nem sensörünün bağlantı şeması Şekil 3.4.'te sunulmuştur.



Şekil 3.4. Toprak nem sensörü bağlantı şeması

Sensör, analog çalışma modunda 0 ile 1023 arasında bir değer üretmektedir. Alınan bu değeri yüzde formatına dönüştürmek için map komutu kullanılmıştır. map(sensorValue, 0, 1023, 100, 0) ifadesi, 0 ile 1023 arasındaki değeri 100 ile 0 arasında bir değere dönüştürmektedir. Bu dönüşümde, 0 değeri tamamen kuru, 100 değeri ise tamamen nemli olarak kabul edilmektedir. Toprak nem sensörünün teknik özellikleri ise Çizelge 3.3.'te sunulmuştur.

Çizelge 3.3. Toprak nem sensörü teknik özellikleri

Çalışma Gerilimi	5V
Çalışma Akımı	35mA
Çıkış Tipi	Dijital ve Analog
Dijital Çıkış Değeri	0-1
Analog Çıkış Değeri	0-1023

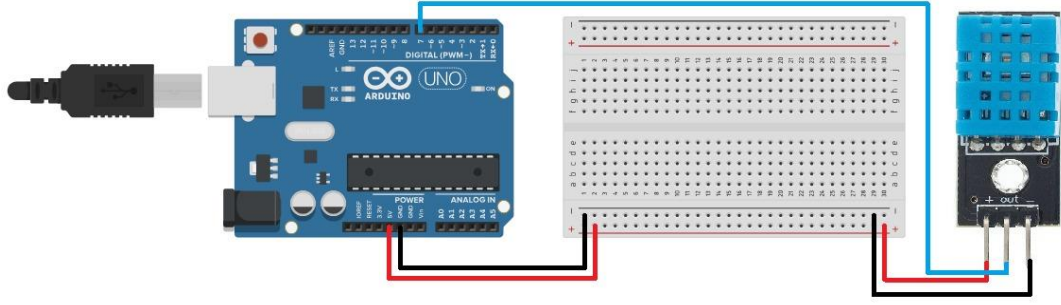
3.2.4. DHT11 sıcaklık ve nem sensörü

Sera içi sıcaklık ve nem değerlerinin ölçülmesi amacıyla, her iki serada da DHT11 sensörü kullanılmıştır. DHT11, hassas ölçümler yapabilen, yüksek güvenilirlik sunan, düşük güç tüketimli ve küçük boyutlu bir sensördür. Kolay kullanım özellikleri ve düşük maliyeti nedeniyle, bu sensör, çeşitli projelerde yaygın olarak tercih edilmektedir.

Sensörün bağlantı şeması Şekil 3.5.'te, teknik özellikleri ise Çizelge 3.4.'te sunulmuştur. Bu çizelgede, toprak nem sensörünün çalışma prensipleri ve özellikleri detaylı bir şekilde verilmiştir (Url-7).

Çizelge 3.4. DHT11 teknik özellikleri

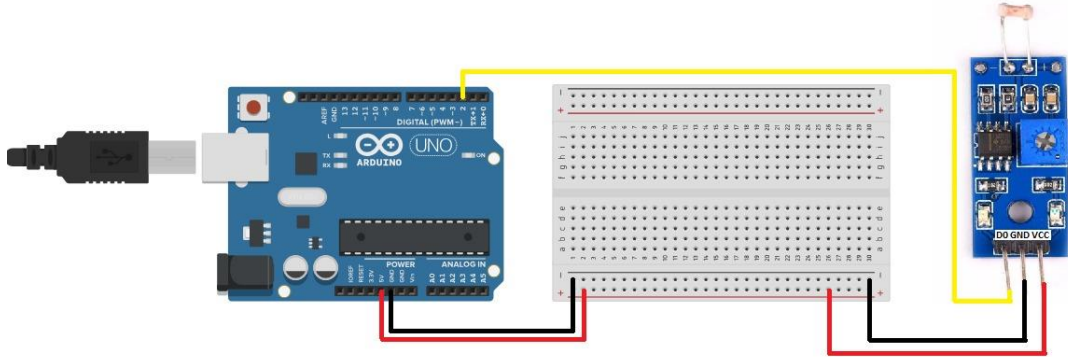
Sıcaklık Ölçüm Aralığı	0-50 °C
Bağıl Nem Ölçüm Aralığı	20-90%
Bağıl Nem Ölçümü Doğruluğu	±5%
Sıcaklık Ölçümü Doğruluğu	±2 °C



Şekil 3.5. DHT11 bağlantı şeması

3.2.5. LDR ışık sensörü

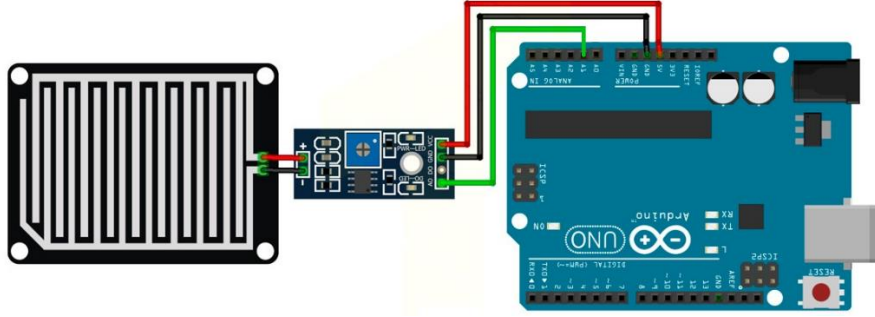
Bu sensör, üzerine düşen ışık miktarının artmasıyla direnç değerinin azaldığı, karanlıkta ise direnç değerinin arttığı bir devre elemanıdır. Aydınlık ortamda direnç değeri 75 ile 300 Ω arasında değişirken, karanlık ortamda direnç değeri 10 M Ω 'a kadar yükselmektedir (MEGEP, 2012). Bu çalışmada, bitkilerin ihtiyaç duyduğu gün ışığının yetersiz olduğu durumlarda LED aydınlatmanın kontrol edilmesi amacıyla LDR modülü kullanılmıştır. LDR modülünün bağlantı şeması Şekil 3.6.'da sunulmaktadır.



Şekil 3.6. LDR modülü bağlantı şeması

3.2.6. Yağmur sensörü

Yağmur damlalarını algılamak için tasarlanmış bir sensördür. Bu çalışma kapsamında, su deposunun seviyesinin belirli bir eşik değerinin altına düştüğünün tespiti yapılmış ve bu durum mobil arayüz aracılığıyla kullanıcıya bildirilmiştir. Kullanıcıya, depo seviyesinin düşük olduğunu iletmek amacıyla, mobil arayüzde uyarı LED ışığı aktif hale getirilmiştir. Bağlantı şeması Şekil 3.7.'de verilmiştir.



Şekil 3.7. Yağmur sensörü bağlantı şeması

3.2.7. ACS 712 akım sensörü

ACS 712 akım sensörü Hall prensibiyle çalışarak, elektrik ve elektronik devrelerde akım ölçümlerini hassas ve güvenilir bir şekilde yapabilmektedir (Aktaş, 2024). Bu çalışmada, ACS 712 5A akım sensörü kullanılarak fan, servo motor, su pompası ve aydınlatma ünitelerinin devrede bulunması gereken durumlar izlenmiştir. Eğer bu cihazlar, devrede olmaları gereken zamanlarda akım çekmiyorsa, sistemde bir arıza olduğu tespit edilerek, mobil arayüzde hata LED'inin aktif hale getirilmesi sağlanmış ve kullanıcıya uyarı verilmesi sağlanmıştır. Bacak bağlantıları Şekil 3.8.'de verilmiştir.



Şekil 3.8. ACS712 bacak bağlantıları

3.2.8. MG995 servo motor

Bu motorlar, kontrol ünitesinden gönderilen sinyaller aracılığıyla çıkış hareketinin hız ve açısal kontrolünü mümkün kılan motorlardır. Ayrıca, kullanıcı tarafından belirlenen pozisyonları uzun süre boyunca koruma özelliğine sahiptirler.

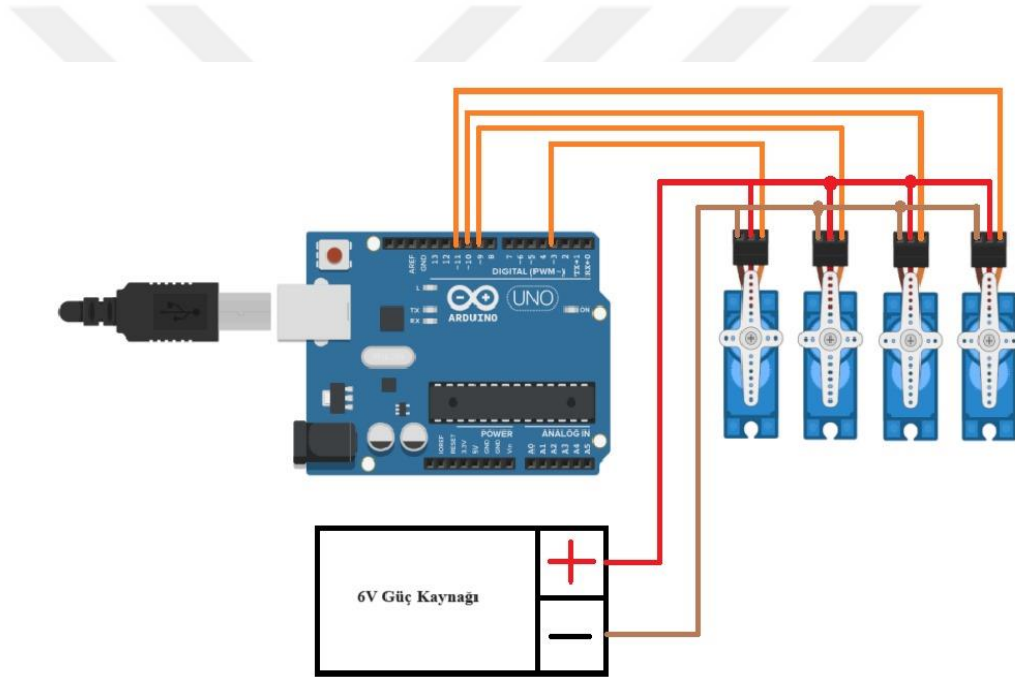
Bu çalışmada, seraların yan havalandırma kanatlarının açılıp kapatılmasını sağlamak amacıyla TowerPro tarafından üretilen 4 adet MG995 model servo motor kullanılmıştır. Servo motorların görseli Resim 3.5.'te sunulmuştur. Bu motorların beslemesi harici bir

kaynaktan sağlanmıştır. Yüksek tork kapasitesine ve metal dişli yapısına sahip olmaları nedeniyle bu model tercih edilmiştir.

MG995 model servo motorların teknik özellikleri Çizelge 3.5.'te sunulmuştur (Url-8). Servo motorların bağlantı şeması ise Şekil 3.9.'da gösterilmiştir.

Çizelge 3.5. MG995 servo motor teknik özellikleri

Ağırlık	55 gr
Ölçüleri	40,7 x 19,7 x 42.9 mm
Durma Torku	9,4 kg/cm (4.8 V), 11 kg/cm (6 V)
Çalışma Hızı	0,2 s/60° (4.8 V), 0,16 s/60° (6 V)
Çalışma Gerilimi	4,8 V – 6,6 V
Yüksüz Çalışma Akımı	170 mA



Şekil 3.9. MG995 servo motorların bağlantı şeması



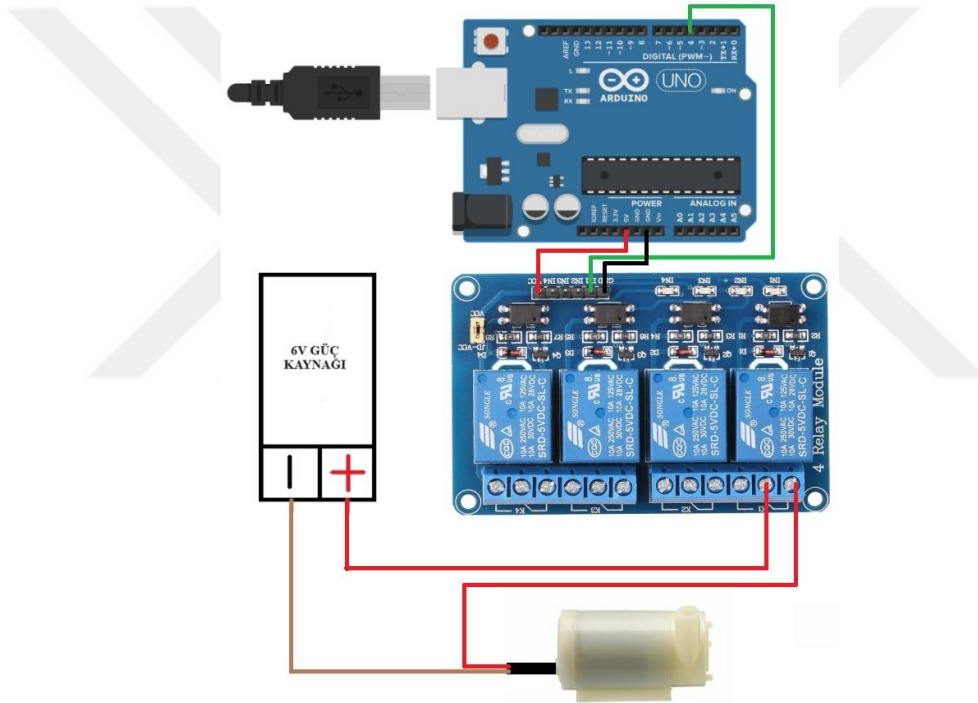
Resim 3.5. MG995 servo motor

3.2.9. Dalgıç pompa

Suyun toprağa iletilmesini sağlamak amacıyla 6V ile çalışabilen ve 110 cm yüksekliğe su basabilen mini dalgıç pompa kullanılmıştır. Dalgıç pompaya ait görsel Resim 3.6.’da bağlantı şeması ise Şekil 3.10.’da verilmiştir.



Resim 3.6. Mini dalgıç pompa



Şekil 3.10. Dalgıç pompanın bağlantı şeması

3.2.10. Güç kaynağı

Sistemde kullanılan ekipmanların ihtiyaç duyduğu gerilim ve akım değerlerini karşılamak amacıyla Resim 3.7.’de gösterilen 12V 30A değerinde güç kaynağı kullanılmıştır.



Resim 3.7. Güç kaynağı

Bu güç kaynağı, genellikle yüksek akım gerektiren projelerde motorlar, şerit LED'ler, otomasyon sistemleri ve ısıtma bantları gibi bileşenlere enerji sağlamak amacıyla kullanılmaktadır. Güç kaynağının teknik özellikleri Çizelge 3.6.'da sunulmuştur.

Çizelge 3.6. Güç kaynağı teknik özellikleri

Giriş Gerilimi	110-240V
Çıkış Gerilimi	12V
Çıkış Akımı	30A
Güç	350W

3.2.11. Şerit led

Başta seralar olmak üzere, doğrudan güneş ışığı almayan ortamlarda gerçekleştirilen bitki yetiştiriciliğinde, bitki gelişimini olumlu yönde desteklemek amacıyla LED ışıklar kullanılmaktadır (Çakırer, Akan, Demir ve Yanmaz, 2017). Farklı renklerdeki LED aydınlatmaların bitki gelişimi üzerindeki etkilerini araştıran birçok çalışma mevcuttur. Bu çalışmada, sera içi LED aydınlatmaların mobil uygulama aracılığıyla kontrol edilmesi sağlanmış; ancak LED aydınlatmalarının ürün gelişimi üzerindeki etkisi incelenmemiştir.



Resim 3.8. Şerit led

3.2.12. Röle modülü

Röleler, küçük değerli akım tetiklemeleri ile büyük akım çeken alıcıların çalıştırılmasına olanak veren devre elemanlarıdır. Arduino çıkış pinleri, yalnızca 40 mA seviyelerinde akım sağlayabildiğinden, röle bobinini tetiklemek için yeterlidir. Ancak Arduino çıkış pinleri ile şerit LED'ler, su pompaları, motorlar gibi yüksek akım gereksinimi olan alıcıların ihtiyaç duyduğu akımı karşılamak mümkün değildir. Bu nedenle, bu tür alıcılar röle modülü üzerinden harici kaynaklarla beslenmektedir. Bu çalışmada, sera içi LED aydınlatma, havalandırma fanları ve dalgıç pompa, röle modülü üzerinden enerji sağlanarak çalıştırılmıştır. Kullanılan röle modülüne ait görsel Resim 3.9.'da sunulmuştur.



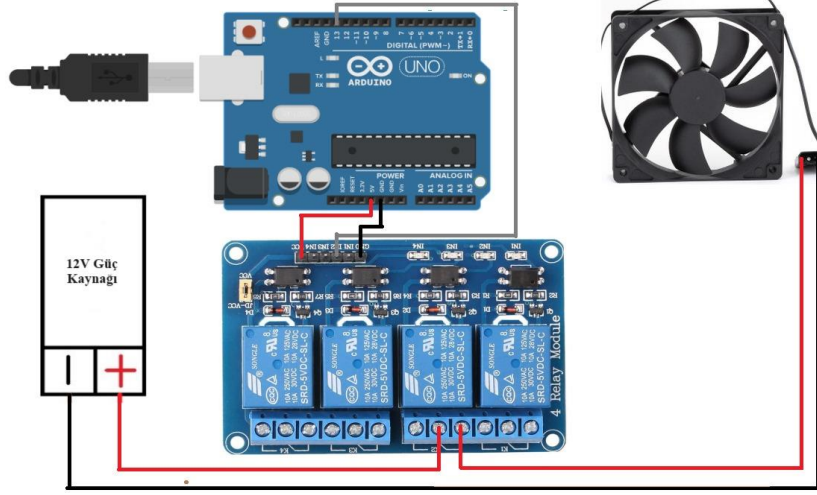
Resim 3.9. 4 kanal röle modülü

3.2.13. Havalandırma fanı

Bu çalışmada, sera içi sıcaklık değerlerinin bitki gelişimi için elverişsiz seviyelere ulaşmasını engellemek ve hava sirkülasyonunu sağlamak amacıyla iki adet fan, akıllı sera panosunun soğutulması amacıyla ise bir adet fan kullanılmıştır. Fanların teknik özellikleri Çizelge 3.7.'de, bağlantı şeması ise Şekil 3.11.'de sunulmuştur.

Çizelge 3.7. Havalandırma fanı teknik özellikleri

Boyut	120x120x25mm
Çalışma Voltajı	12V DC
Çalışma Akımı	0,5A
Güç	6W
Hız	2500RPM
Çalışma Sıcaklığı	-10°C~+70°C



Şekil 3.11. Havalandırma fanı bağlantı şeması

3.2.14. Mini sprink sulama ekipmanı

Mini sprinklerler, özellikle küçük alanlarda ve fideler, çiçekler veya sebzeler gibi hassas bitkilerin sulanmasında kullanılan bir sistemdir. Resim 3.10.'da gösterilen bu sistem, suyu küçük damlacıklar halinde veya ince bir spreysel şekilde bitkilere dağıtarak etkin bir sulama sağlamaktadır.



Resim 3.10. Mini sprink sulama sistemi

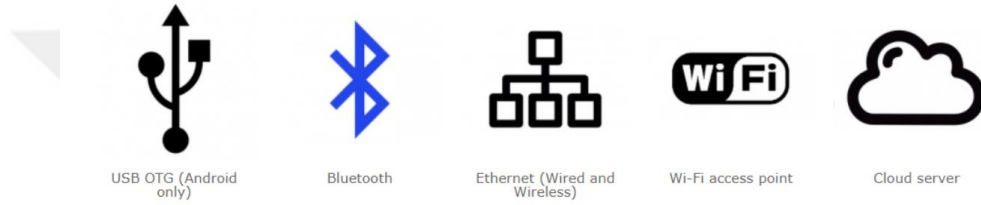
3.3. Mobil Uygulama Arayüz Tasarımı

Oluşturulan seralarda, sensörler tarafından algılanan nem, sıcaklık ve toprak nemi gibi verilerin, kullanıcı tarafından mesafe sınırlaması olmaksızın internet üzerinden izlenebilmesi ve gerektiğinde çalışma koşullarının kullanıcı tarafından değiştirilmesi amacıyla mobil uygulama arayüzleri tasarlanmıştır. Bu çalışmada, akıllı serada RemoteXY sunucusu kullanılmıştır.

3.3.1. RemoteXY

RemoteXY kullanıcıların kendi amaçlarına uygun kontrol arayüzlerini kolayca hazırlayabilecekleri çevrimiçi editördür (Çakır & Oral, 2017). Akıllı telefon veya tablet üzerinden Arduino UNO, Mega, Nano, ESP8266, ESP32 gibi kartları kontrol edebilmeye olanak sağlayan arayüzlerin tasarlanmasını sağlar (Url-9).

Tasarıma başlanmadan önce, telefon ile kart arasındaki iletişim yönteminin belirlenmesi amacıyla yapılandırma ayarları oluşturulmalıdır. Yapılandırma ayarlarının ilk aşaması, bağlantı şeklinin tanımlanmasıdır. Sistemin desteklediği bağlantı yöntemleri Resim 3.11.'de gösterilmiştir.



Resim 3.11. RemoteXY tarafından desteklenen bağlantı yöntemleri

Resim 3.11.'de gösterilmiş olan bağlantı yöntemlerinden USB OTG, Kart, telefona bir USB kablosuyla bağlanabilir. Bluetooth, Kartın entegre Bluetooth desteği veya harici bir Bluetooth modülü olması gerekir. Telefon Bluetooth aracılığıyla karta bağlanabilir.

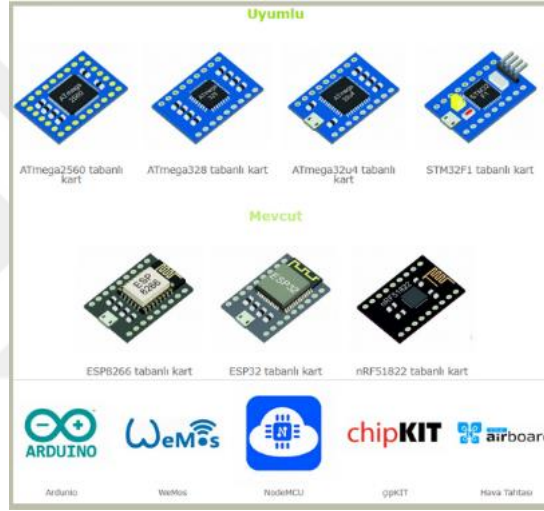
Ethernet: Kartın ağa bağlanabilmesi gerekir. Ağ bağlantısı ethernet kablosu veya Wi-Fi üzerinden olabilir. Kartın bu iletişim yöntemi için entegre desteği, harici bir Ethernet veya Wi-Fi iletişim modülü olmalıdır. İletişim yalnızca yerel ağ içinde kullanılabilir.

Bulut Sunucusu: Bu bağlantı seçeneği dünyanın herhangi bir yerinden bağlantı gerektiren cihazlar için uygundur. Bulut sunucusu ile herhangi bir ek ayar yapmadan dünyanın herhangi bir yerinden denetleyiciye bağlantı yapılabilir (Url-9). Bulut sunucusu ile bağlantı kurabilmek için RemoteXY platformunda bir token (anahtar) oluşturulması gerekmektedir. Bu token, uzaktan kontrol ve veri iletimi için kimlik doğrulama amacıyla kullanılmaktadır. Oluşturulan token, Resim 3.12.'de gösterildiği gibi hem web sitesinde yapılan tasarımda hem de telefona indirilen mobil uygulamada ilgili alana girilmelidir.

Cloud server:	Name 8cfa
Token: SERA	Icon Icon on the button
My tokens	Button color The color of the button on the desktop
Server: cloud.remotexy.com	Cloud server cloud.remotexy.com
Port: 6376	Port 6376
Token: bd7	Device Token bd7

Resim 3.12. Web ve mobilde token girişi

Yapılandırma ayarlarının ikinci aşamasında, uygulamada kullanılacak denetleyici kart seçilmelidir. Sistemin desteklediği kartlar Resim 3.13.'te gösterilmiştir (Url-9).



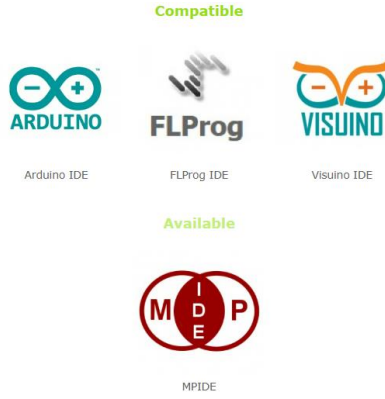
Resim 3.13. RemoteXY tarafından desteklenen kartlar

Yapılandırmanın üçüncü aşamasında, iletişim modülü seçilmelidir. Sistemin desteklediği modüller Resim 3.14.'te verilmiştir (Url-9).



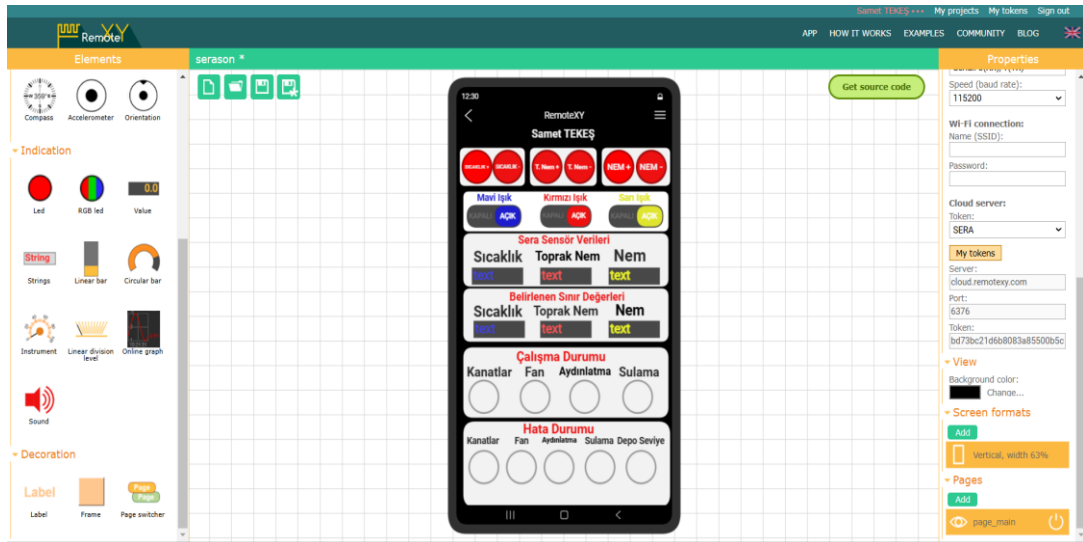
Resim 3.14. RemoteXY tarafından desteklenen modüller

Yapılandırma ayarlarının dördüncü aşamasında geliştirme ortamı seçilmelidir. Sistemin desteklediği geliştirme ortamları Resim 3.15.'te verilmiştir (Url-9).



Resim 3.15. RemoteXY tarafından desteklenen geliştirme ortamları

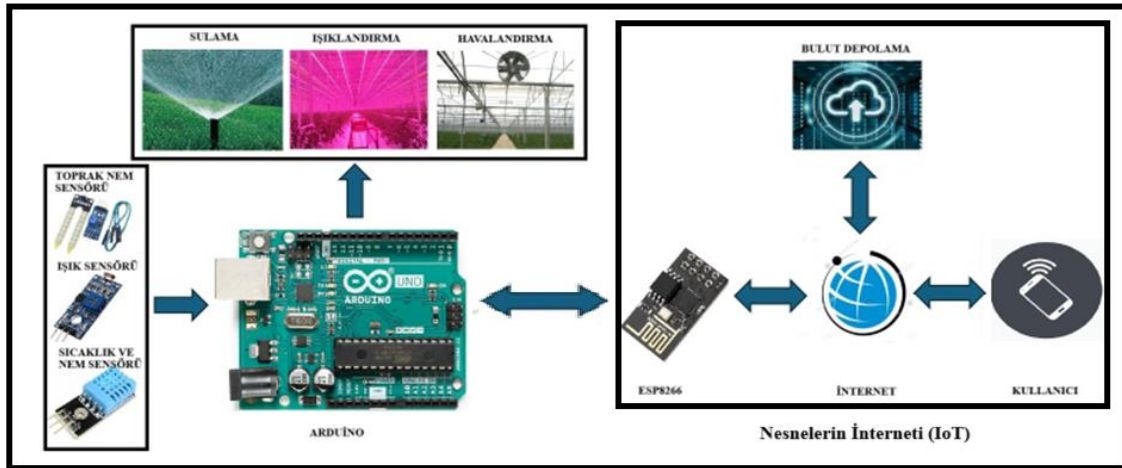
Bu çalışmada, tasarlanan akıllı seraya mesafe sınırlaması olmaksızın internet üzerinden erişim sağlanabilmesi için bağlantı yöntemi olarak bulut sunucusu tercih edilmiştir. ESP8266 modülü, harici bir Wi-Fi ağına bağlanarak kullanılmış ve tasarlanan arayüz üzerinden gönderilen komutların, ESP8266 aracılığıyla mikrodenetleyiciye iletilmesi sağlanmıştır. ESP8266'nın bağlanacağı Wi-Fi ağı adı ve şifresi, özellikler menüsünde bulunan Wi-Fi bağlantısı alanına girilmiştir. Yapılandırma ayarlarında kart olarak Arduino UNO, modül olarak ESP8266, geliştirme ortamı olarak ise Arduino IDE seçilmiştir. Tasarlanan arayüze ait görsel Resim 3.16.'da gösterilmiştir.



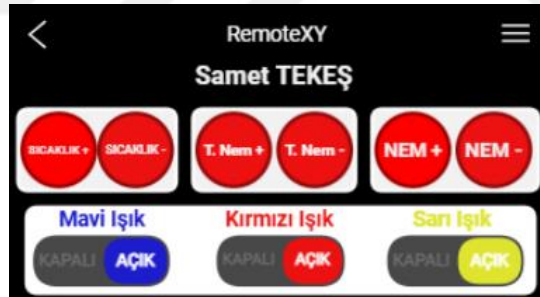
Resim 3.16. RemoteXY çevrimiçi editörü ile arayüz tasarlanması

3.4. Sistemin Çalışması

Bu çalışmada oluşturulan akıllı sera sıcaklık, nem, toprak nemi, ışık gibi faktörlerin yetiştirilecek ürünü göre ayarlanabilmesine imkan sağlamaktadır. Kullanıcı seraya gitmeden, mesafe sınırı olmadan mobil uygulama üzerinden seranın çalışma koşullarını değiştirebilmektedir. Tasarlanan sistemin genel özeti Şekil 3.12.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.12. Sistemin genel özeti



Resim 3.17. Seranın nem, sıcaklık, toprak nemi, ışık koşullarının kontrol paneli

Resim 3.17.'de görülen IoT tabanlı kontrol paneli, sera içerisindeki sıcaklık değerinin 15-28°C, nem değerinin 0-100 birim ve toprak neminin %30-90 arasında ayarlanabilmesine olanak sağlamaktadır. Sistem yazılımında yapılacak güncellemelerle bu sınır değerler, kullanıcı ihtiyaçlarına göre kolayca özelleştirilebilir. Ayarlanmış çalışma koşullarına ait veriler, mobil uygulama üzerinden Resim 3.18.'de gösterilen panelden eş zamanlı olarak izlenebilmektedir.

Sera Sensör Verileri		
Sıcaklık	Toprak Nem	Nem
0.0	64.0	0.0

Belirlenen Sınır Değerleri		
Sıcaklık	Toprak Nem	Nem
15.0	74.0	50.0

Resim 3.18. Ayarlanan sınır değerlerinin görüntülenmesi

Sera içi sıcaklık, kullanıcı tarafından belirlenen sınır değeri aştığında, iki adet havalandırma fanı otomatik olarak devreye girmekte ve seranın 45x150 cm boyutlarındaki iki yan havalandırma kanadı, servo motorlar aracılığıyla 80° açıyla açılmaktadır. IoT tabanlı kontrol paneli sayesinde bu süreç, kullanıcı tarafından uzaktan izlenebilmekte ve gerektiğinde mobil uygulama üzerinden kapakların açma-kapama işlemleri manuel olarak gerçekleştirilebilmektedir. Bu sistem, kullanıcı ihtiyaçlarına göre özelleştirilebilen esnek bir yapı sunarak sera içindeki ideal iklim koşullarının korunmasını sağlamaktadır.

Toprak nem oranı, kullanıcı tarafından belirlenen sınır değerin altına düştüğünde, sistem otomatik olarak dalgıç pompayı devreye sokarak sulama işlemini gerçekleştirmektedir. Toprak nem oranı istenen sınırı değere ulaştığında ise dalgıç pompa otomatik olarak devreden çıkmaktadır. IoT tabanlı kontrol paneli sayesinde bu süreç, kullanıcı tarafından uzaktan izlenebilmekte ve gerektiğinde mobil uygulama üzerinden manuel müdahaleler yapılabilmektedir. Bu otomasyon sistemi, sera içerisinde ideal nem koşullarının korunmasını sağlarken kullanıcıya esneklik ve kolaylık sunmaktadır.

LDR sensörü kullanılarak havanın aydınlık durumu tespit edilmektedir. Hava karardığında, kullanıcı mobil uygulama aracılığıyla mavi, kırmızı veya sarı renkli LED'lerden herhangi birini aktif hale getirebilmektedir. Ayrıca, bitkilerin yapay ışıklandırması gerektiğinde, kullanıcı IoT tabanlı sistem üzerinden ışıklandırmayı uzaktan açıp kapatabilmektedir.



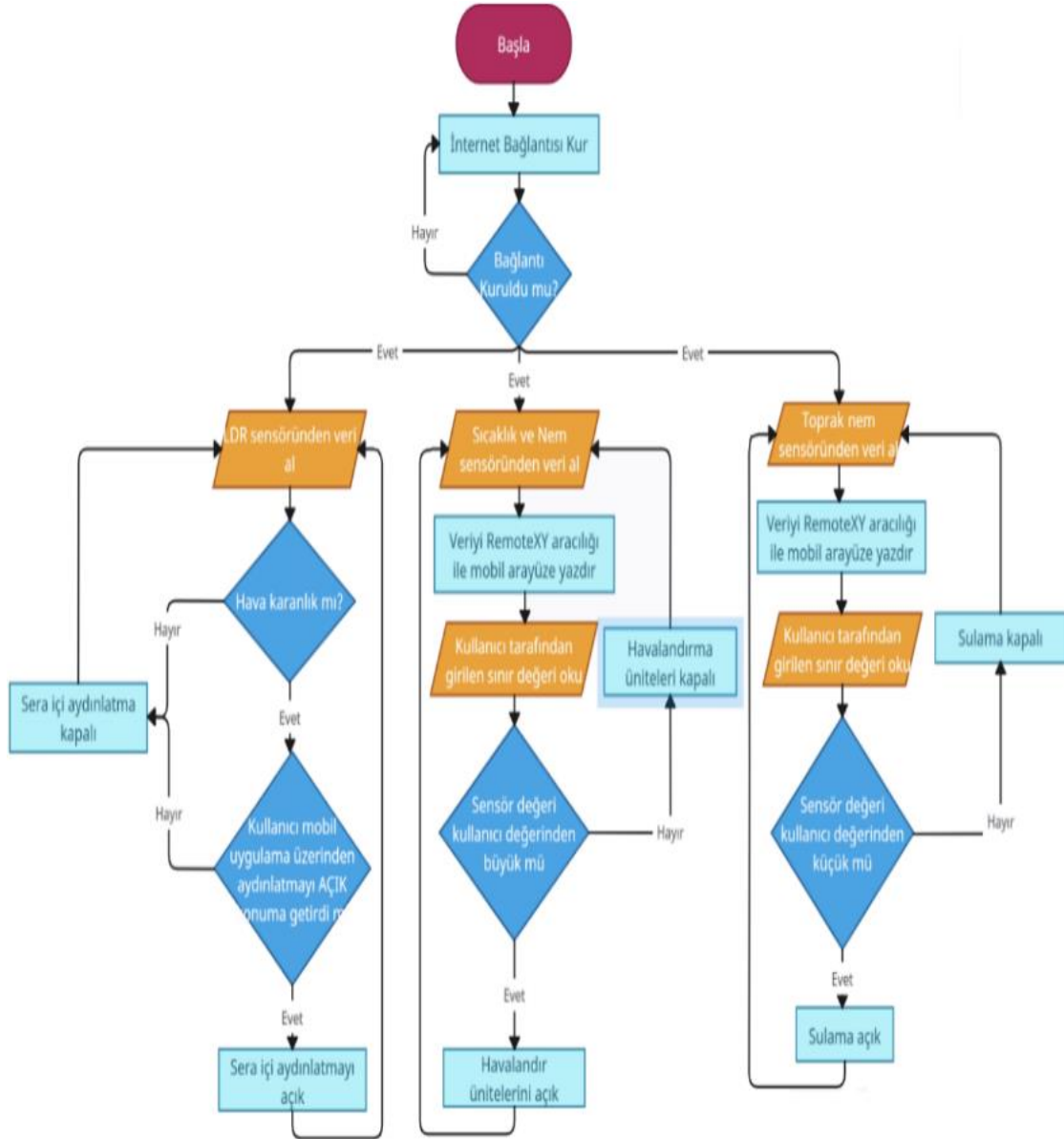
Resim 3.19. Çıkış ünitelerinin çalışma durumu ve hata uyarısı

Bu çalışmada, seranın sıcaklık, nem ve toprak nemi gibi parametreleri, kullanıcı tarafından kontrol panelinden belirlenen sınır değerlerin dışına çıktığında ve serada yapay ışıklandırma sistemi kullanıcı tarafından aktif hale getirildiğinde, çalışma durumu alanındaki LED'ler kırmızı renkte yanmaktadır. Nesnelerin interneti teknolojisi sayesinde, mobil arayüz üzerinden aktif durumdaki çıkış üniteleri eş zamanlı olarak kullanıcı tarafından izlenebilmektedir. Devrede bulunması gereken çıkış ünitelerinin herhangi bir arıza nedeniyle akım çekmemesi durumunda ve depoda bulunan su seviyesi eşik değerin altına indiğinde Resim 3.19'da gösterildiği gibi, hata durumu alanında ilgili çıkış ünitesine ait kırmızı LED yanmakta ve kullanıcıya sistemde bir arıza olduğu bildirilerek, gerekli müdahale için uyarı yapılmaktadır. Akıllı seranın kontrol panosuna ait görseller Resim 3.20.'de sunulmuştur.



Resim 3.20. Akıllı sera kumanda panosu

Tasarlanan akıllı seranın çalışma prensibini gösteren akış diyagramı Şekil 3.13.'te sunulmuştur.



Şekil 3.13. Sistemin akış diyagramı

3.5. DeneySEL Yöntem

Bu çalışmada, ürün yetiştiriciliği gerçekleştirilmiş ve akıllı sera ile geleneksel sera sistemlerinde yetiştirilen ürünlerin verimliliği ile su tüketimleri karşılaştırılmıştır. Ekolojik uygunluk ve soğuk hava koşullarına dayanıklılığı sebebiyle yetiştiricilik için roka sebzesi seçilmiştir.

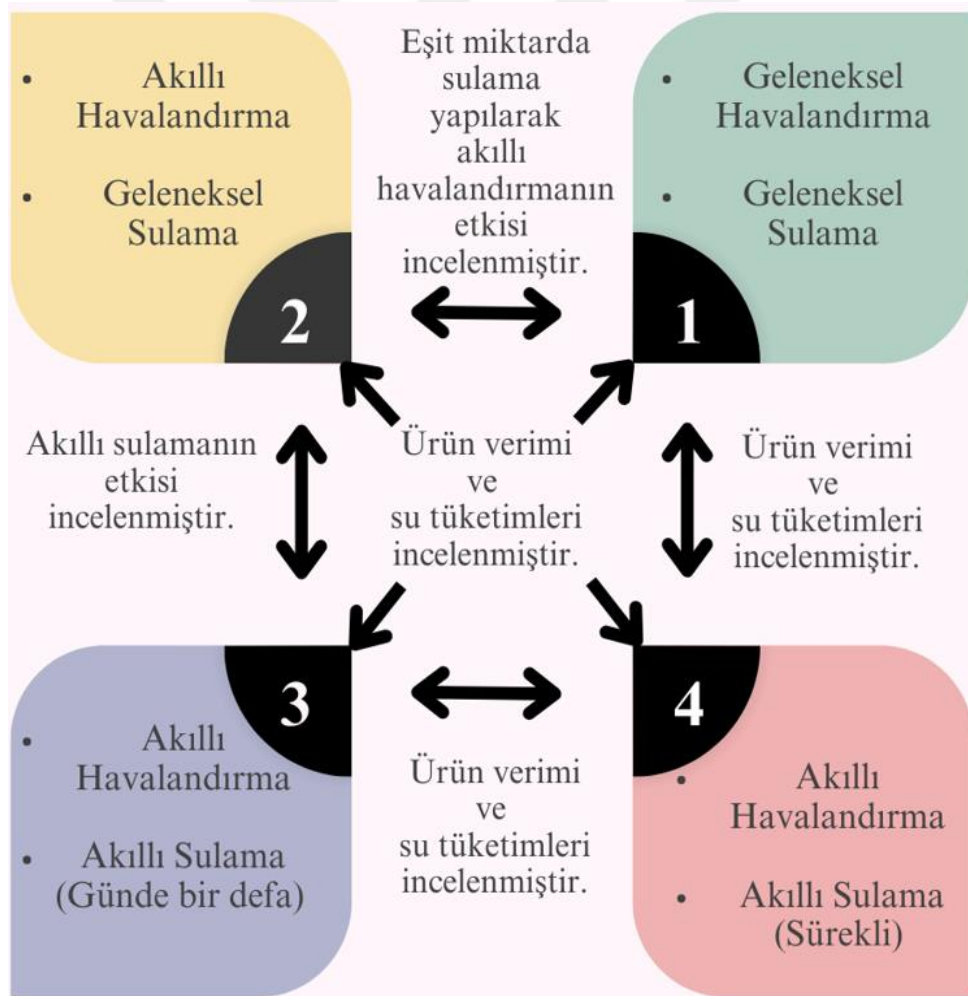
Roka bitkisinin ideal ekim zamanı, toprak sıcaklığının 18°C'ye ulaştığı dönemdir (Yılmaz D., 05.05.2024). Roka ekolojik koşullara duyarlı bir sebzedir. Sıcaklığın 10°C'nin altına düşmesi durumunda tohumların çimlenmesi ve bitki gelişimi yavaşlar. Optimum

çimlenme sıcaklığı 20 - 25 °C'dir (Sönmez, 2023). Rokada optimum gelişme sıcaklığı 18 - 20°C 'dir (Alberici ve diğerleri, 2007). Sulama sabah veya akşam, yağmurlama sistemi ile veya damlama sulama yöntemi ile yapılmalıdır (Özer, 05.05.2024).

Karasekreter ve Fidan (2011) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, toprak sıcaklığının düşük olduğu sabah erken saatlerde bitkinin su ihtiyacına uygun miktarda sulama yapılmasının, bir önceki yıla kıyasla %40 oranında su tasarrufu sağladığı tespit edilmiştir.

Tekirdağ'ın Hayrabolu ilçesinde, 10 Mart 2024 - 28 Nisan 2024 tarihleri arasında gerçekleştirilen bu çalışmada, akıllı sera ve geleneksel sera sistemlerinde roka yetiştiriciliği yapılmıştır. Karşılaştırma düzeneği, eşit şartlarda ve eşit miktarda tohum kullanılarak hazırlanmış, her biri 4 litre hacminde olan dört saksı ile oluşturulmuştur. Bu saksılardan üçü akıllı seraya, bir tanesi ise geleneksel seraya yerleştirilmiştir.

Ürünlerin yetiştirme biçimleri Çizelge 3.8.'de ve Şekil 3.14.'te ayrıntılı olarak verilmiştir.



Şekil 3.14. Ürünlerin yetiştirilme biçimleri

Çizelge 3.8. Ürün yetiştirme biçimi

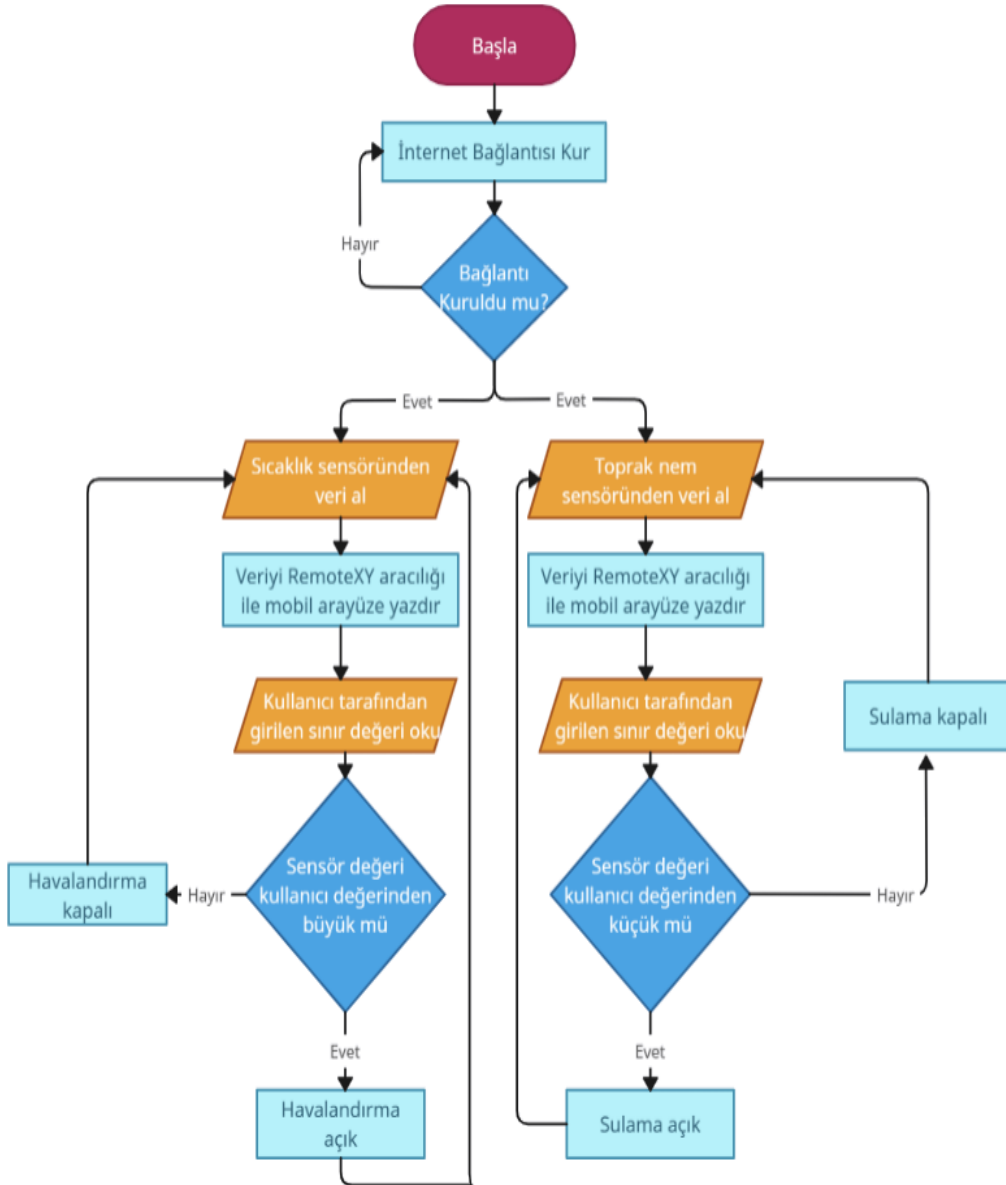
Ürün Numarası	Yetiştirme Biçimi
1	Ürün, geleneksel serada yetiştirilmiş olup, sıcaklık kontrolü ve sulama işlemleri tamamen insan gücü kullanılarak geleneksel yöntemlere uygun şekilde gerçekleştirilmiştir. Sulama işlemi, her gün 08.00 - 09.00 saatleri arasında, 2 numaralı ürünle aynı zaman diliminde ve eşit miktarda su kullanılarak yapılmıştır.
2	Ürün, akıllı serada yetiştirilmiş olup, sıcaklık kontrolü otomatik olarak gerçekleştirilmiştir. Sera içerisindeki sıcaklık 18 °C'yi aştığında, otomatik olarak devreye giren sera kapakları ve havalandırma fanları ile ortam sıcaklığı istenen seviyede tutulmuştur. Sulama işlemi ise manuel olarak, her gün 08.00 - 09.00 saatleri arasında geleneksel yöntemlere uygun şekilde gerçekleştirilmiştir. 1 numaralı ürünle aynı zaman diliminde ve eşit miktarda sulanmıştır.
3	Ürün, akıllı serada yetiştirilmiş olup, sıcaklık kontrolü otomatik olarak sağlanmıştır. Sera içerisindeki sıcaklık 18 °C'yi aştığında, sera kapakları ve havalandırma fanları devreye girerek ortam sıcaklığının kontrolü sağlanmıştır. Sulama, toprak nem sensörlerinden alınan verilere dayalı olarak sabah 08.00 - 09.00 saatleri arasında otomatik olarak gerçekleştirilmiştir. Bu uygulamanın 4 numaralı üründen farkı ise, sulamanın günde sadece bir kez yapılmasıdır.
4	Ürün, akıllı serada yetiştirilmiş olup, sıcaklık kontrolü otomatik sistemler aracılığıyla gerçekleştirilmiştir. Sera içerisindeki sıcaklık 18 °C'yi aştığında, otomatik olarak devreye giren sera kapakları ve havalandırma fanları ile sıcaklık istenen seviyede tutulmuştur. Sulama işlemi ise toprak nem sensörlerinden gelen verilere dayalı olarak otomatik şekilde yapılmıştır. Toprak nemi %65'in altına düştüğünde, dalgıç pompa devreye girmiş ve sabit açılı mini sprink sistemi kullanılarak yağmurlama yöntemiyle sulama gerçekleştirilmiştir. Gün boyunca, toprak nemi belirlenen seviyenin altına düştüğü her durumda otomatik sulama işlemi uygulanmıştır.

Bu çalışmada, 1 ve 2 numaralı ürünlere eşit miktarda sulama yapılarak bitki gelişimine akıllı havalandırma sisteminin etkisi incelenmiştir.

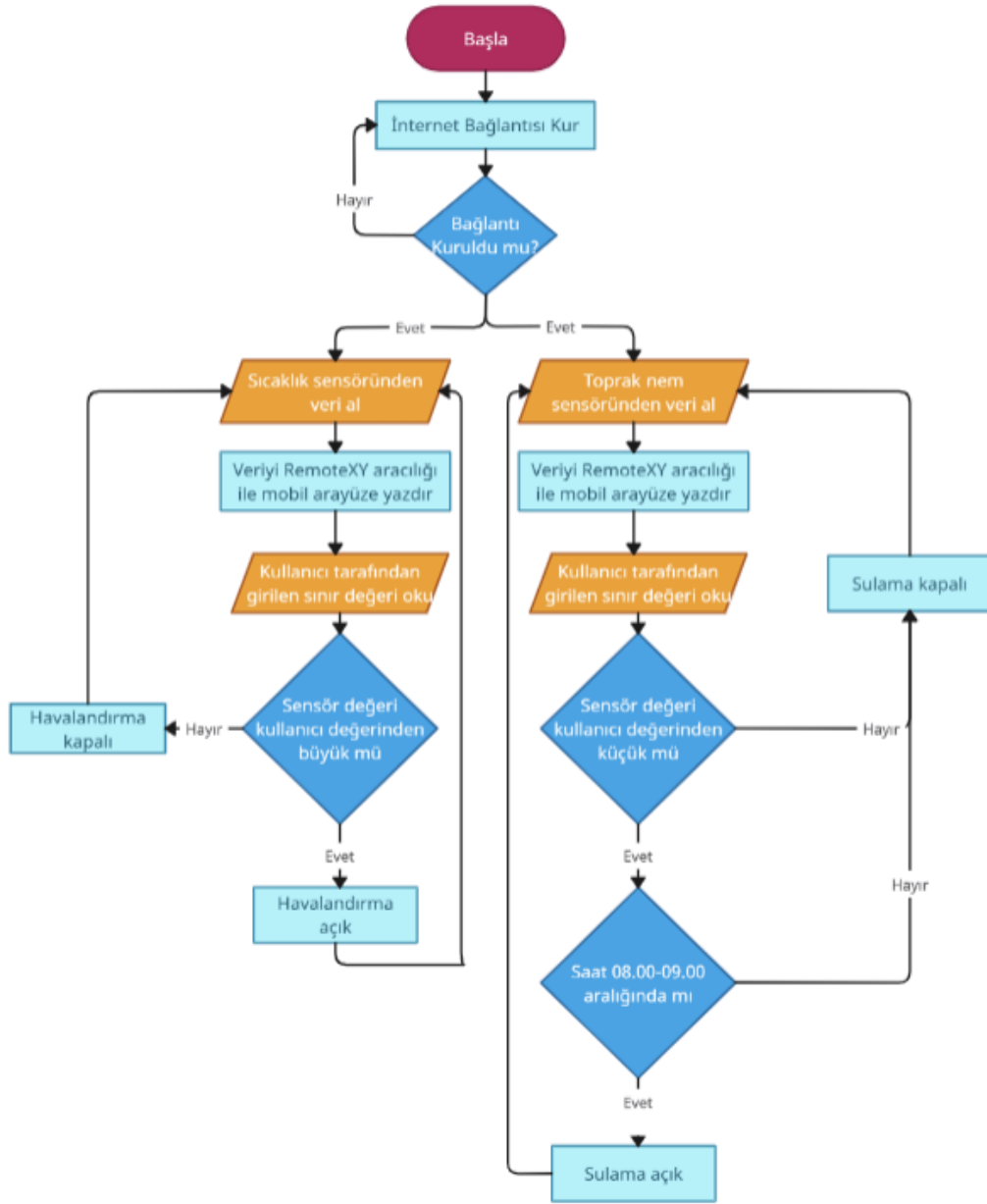
3 ve 4 numaralı ürünlere ise toprak nem sensörlerinden alınan verilere dayalı olarak sulama yapılmıştır. 4 numaralı ürüne, toprak nemi her %65'in altına düştüğünde sulama uygulanmış, 3 numaralı ürüne ise sadece sabah 08.00 - 09.00 saatleri arasında, toprak nemi %65'e ulaşana kadar sulama yapılmıştır.

Geleneksel serada havalandırma işlemi insan gücü ile yapılmıştır. Bu çalışmada, ürünlere uygulanan sulama ve havalandırma yöntemlerinin bitki gelişimine olan etkisi ile su tasarrufu sağlayıp sağlamadığı incelenmiştir. Tohum ekiminden sonra 50. günde, ürünlere ait çeşitli ölçümler yapılmış ve bu veriler ışığında yapılan karşılaştırmalar, Bulgular ve Tartışmalar bölümünde sunulmuştur.

4 numaralı ürün için tasarlanan sistemin akış diyagramı Şekil 3.15.'te, 3 numaralı ürün için tasarlanan sistemin akış diyagramı ise Şekil 3.16.'da verilmiştir. Bu diyagramlar, uygulanan sulama ve havalandırma sistemlerinin işleyişini detaylı bir şekilde açıklamaktadır.



Şekil 3.15. Dört numaralı ürüne ait akış diyagramı



Şekil 3.16. Üç numaralı ürüne ait akış diyagramı

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Ürün yetiştirme süreci sonunda, tüketilen toplam su miktarları ile ürünlerin gövde uzunluğu, yaprak uzunluğu ve yaprak genişliği değerlerine ilişkin sonuçlar Şekil 4.1.'de sunulmuştur.

	1	2	3	4
Roka Yetiştiriciliği	• Geleneksel Havalandırma • Geleneksel Sulama (Günde bir kez 08.00-09.00 arasında)	• Akıllı Havalandırma • Geleneksel Sulama (Günde bir kez 08.00-09.00 arasında)	• Akıllı Havalandırma • Akıllı Sulama (Günde bir defa)	• Akıllı Havalandırma • Akıllı Sulama (Sürekli)
Kullanılan Su Miktarı (ml)	2820	2820	2517	3315
Son Ölçümde Ürün Boyu (cm)	10	12,8	13,2	17
Son Ölçümde Yaprak Boyu (cm)	4,1	5	5,4	7
Son Ölçümde Yaprak Eni (cm)	2,2	2,7	2,5	2,7

Şekil 4.1. Ürünlerin karşılaştırılması

4.1. Akıllı Havalandırmanın Etkisinin İncelenmesi

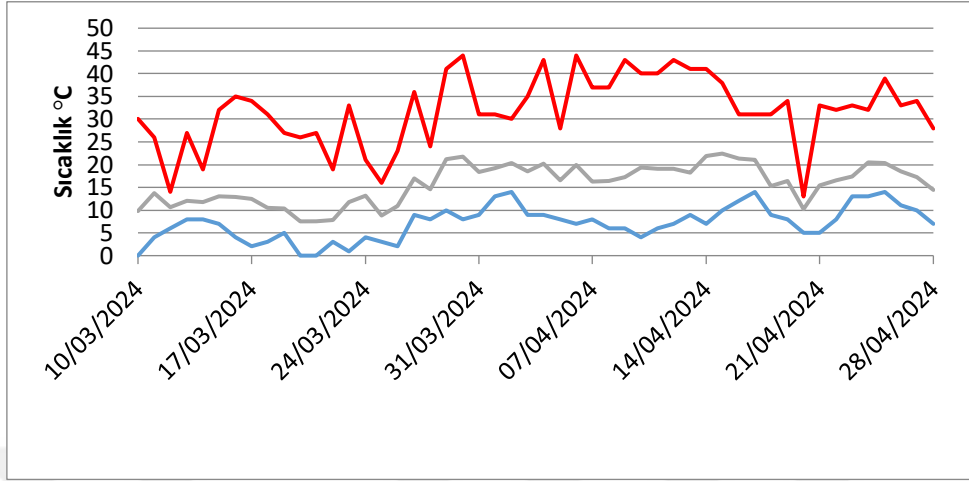
Eşit miktarda sulama yapılan ürünlerden, 1 numaralı ürün referans alınarak 2 numaralı ürünün gelişimsel farklılıkları yüzdelik olarak Çizelge 4.1.'de sunulmuştur.

Çizelge 4.1. Akıllı havalandırma sisteminin ürün gelişimine etkisi

Ürün	Havalandırma Tipi	Sulama Tipi	Su Tüketimi (%)	Boy Uzunluğu Gelişimi (%)	Yaprak Boyu Gelişimi (%)	Yaprak Eni Gelişimi (%)
1. Ürün	Geleneksel	Geleneksel (Günde bir kez)	Referans	Referans	Referans	Referans
2. Ürün	Akıllı	Geleneksel (Günde bir kez)	0	+28	+21,95	+22,73

Karşılaştırma sonuçlarına göre, akıllı havalandırma sistemine sahip ürünlerin gelişimi, boy uzunluğu açısından %28, yaprak boyu açısından %21,95 ve yaprak eni açısından %22,73 oranında daha fazla olmuştur.

Roka yetiştiriciliğinin gerçekleştirildiği mart ve nisan aylarında dış ortam sıcaklıklarının günlük dalgalanmalarını gösteren Şekil 4.2.'de, en yüksek ve en düşük sıcaklıklar arasında belirgin farklar olduğu gözlemlenmiştir.



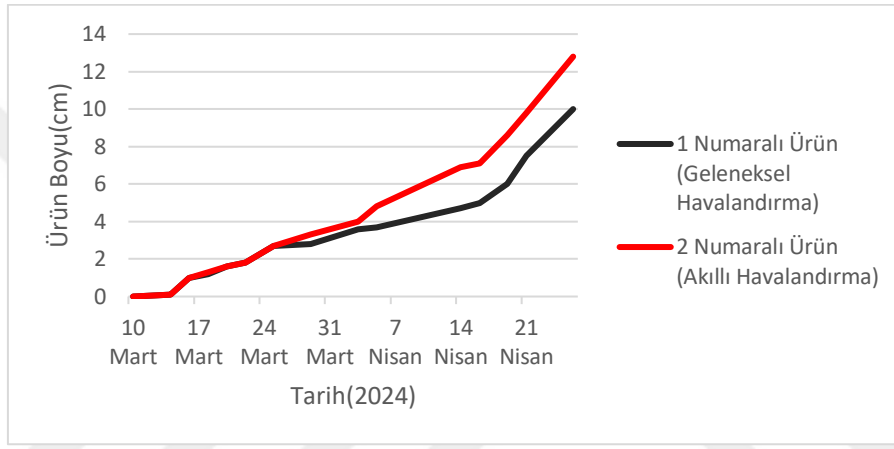
Şekil 4.2. Dış ortam sıcaklık verileri(°C)

Geleneksel sera içindeki sıcaklık değerlerinin, sınır değer olarak belirlenen 18°C'nin üzerine çıkıp altına düştüğü saatler, Çizelge 4.2'de detaylı bir şekilde verilmiştir.

Çizelge 4.2. Sera içi sıcaklığın sınır değerlerin dışına çıktığı saatler

Tarih	Sera içi sıcaklığın 18 °C üzerine çıktığı saat	Sera içi sıcaklığın 18 °C altına indiği saat
10.03.2024	08:22:19	14:55:58
15.03.2024	08:15:29	19:40:21
16.03.2024	08:03:50	16:38:29
20.03.2024	09:34:33	13:44:54
20.03.2024	14:26:15	14:46:55
20.03.2024	14:53:08	15:20:02
21.03.2024	08:09:30	13:46:35
22.03.2024	08:19:03	16:02:27
25.03.2024	10:25:02	11:29:10
26.03.2024	08:28:39	14:38:46
30.03.2024	07:42:29	17:44:18
01.04.2024	06:10:47	17:25:28
03.04.2024	08:02:25	16:25:58
05.04.2024	07:56:31	17:10:12
13.04.2024	07:36:42	17:30:18
15.04.2024	07:19:17	18:55:32
16.04.2024	06:15:12	18:43:09
17.04.2024	01:06:26	02:10:40
17.04.2024	06:06:54	17:49:22
18.04.2024	08:22:29	15:52:07
19.04.2024	08:14:38	13:54:29
19.04.2024	14:48:21	15:31:53
19.04.2024	15:48:27	15:58:49
21.04.2024	08:32:46	15:50:58
22.04.2024	10:02:30	21:02:14
23.04.2024	08:49:55	15:13:19
24.04.2024	06:40:38	20:39:11
25.04.2024	05:26:09	23:24:14
26.04.2024	06:48:15	18:35:03
27.04.2024	07:51:22	16:35:38

İncelenen verilere göre, seradaki iç sıcaklığın her gün farklı saatlerde 18°C'nin altına düştüğü ve üzerine çıktığı tespit edilmiştir. Bu durum, ürünlerin ideal sıcaklık koşullarının sağlanabilmesi için havalandırma sisteminin açılıp kapanma zamanlarının her gün değişkenlik gösterdiğini ortaya koymaktadır. Akıllı sera, sıcaklık verilerini algılayarak, ürünlerin ihtiyaç duyduğu sıcaklık aralığını sağlamak amacıyla havalandırma ünitelerini tam zamanında kontrol edebilmiştir. Buna karşın, geleneksel serada havalandırma işlemlerinin yalnızca insan gücüyle yapılması, havalandırmanın hassas bir zamanlamayla gerçekleştirilmesini zorlaştırmıştır. Akıllı havalandırmanın zamana bağlı olarak ürünün gelişimi üzerindeki etkisinin gösterildiği grafik Şekil 4.3.'te verilmiştir.



Şekil 4.3. Akıllı havalandırmanın zamana bağlı olarak ürünün gelişimine etkisi

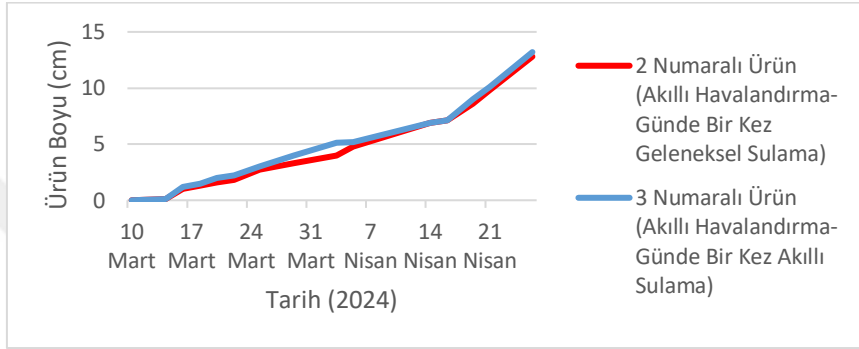
4.2. Akıllı Sulamanın Etkisinin İncelenmesi

Bu çalışmada, 2 numaralı ürün referans alınarak 3 numaralı ürün ile su tasarrufu ve ürün gelişimi arasındaki farklar yüzdelik olarak değerlendirilmiş ve elde edilen sonuçlar Çizelge 4.3'te sunulmuştur. Bu karşılaştırma, akıllı sulama sisteminin etkilerini incelemeyi amaçlamaktadır.

Çizelge 4.3. Akıllı sulama sisteminin su tasarrufu ve ürün gelişimine etkisi

Ürün	Havalandırma Tipi	Sulama Tipi	Su Tüketimi (%)	Boy Uzunluğu Gelişimi (%)	Yaprak Boyu Gelişimi (%)	Yaprak Eni Gelişimi (%)
2. Ürün	Akıllı	Geleneksel (Günde bir kez)	Referans	Referans	Referans	Referans
3. Ürün	Akıllı	Akıllı (Günde 1 kez, toprak nemi %65'e gelene kadar)	-10.74	+3.13	+8.00	-7.41

3 numaralı ürünlerde, 2 numaralı ürüne kıyasla %10,74 daha az su kullanıldığı halde, 3 numaralı ürün boy uzunluğu açısından %3,13, yaprak boyu açısından ise %8 daha fazla gelişim göstermiştir. Yaprak eni açısından ise 2 numaralı ürüne göre %7,41 oranında daha az gelişim göstermiştir. 3 numaralı üründe sulamanın daha kontrollü bir şekilde yapılması, toprak nem dengesinin sağlanmasına yardımcı olduğu ve kök bölgesinin optimum oksijen alımını destekleyerek bitki gelişimini hızlandığı düşünülmektedir. Akıllı sulamanın zamana bağlı olarak ürün gelişimi üzerindeki etkisinin gösterildiği grafik Şekil 4.4.'te sunulmuştur.



Şekil 4.4. Akıllı sulamanın zamana bağlı olarak ürün gelişimine etkisi

Çiftçilerde “ürüne ne kadar çok su verirsem o kadar fazla ürün alırım.” şeklinde yanlış bir düşünce bulunmaktadır. Bitkilerin ihtiyacından fazla sulanması toprak gözeneklerini doldurarak kök bölgesinin hava almasına engel olur ve bitki gelişimini olumsuz etkileyerek verimi düşürür (Samsun İl Tarım ve Orman Müdürlüğü, 2018; Aras, 2010; Kösetürkmen & Bilim, 2024). Bu uygulamada, 3 numaralı ürünün daha az sulanmasına rağmen 1 ve 2 numaralı ürünlere göre daha fazla gelişim göstermesi, kontrolsüz sulamanın ürün gelişimi üzerindeki olumsuz etkilerini ve otomatik sulama sistemlerinin önemini açıkça ortaya koymaktadır.

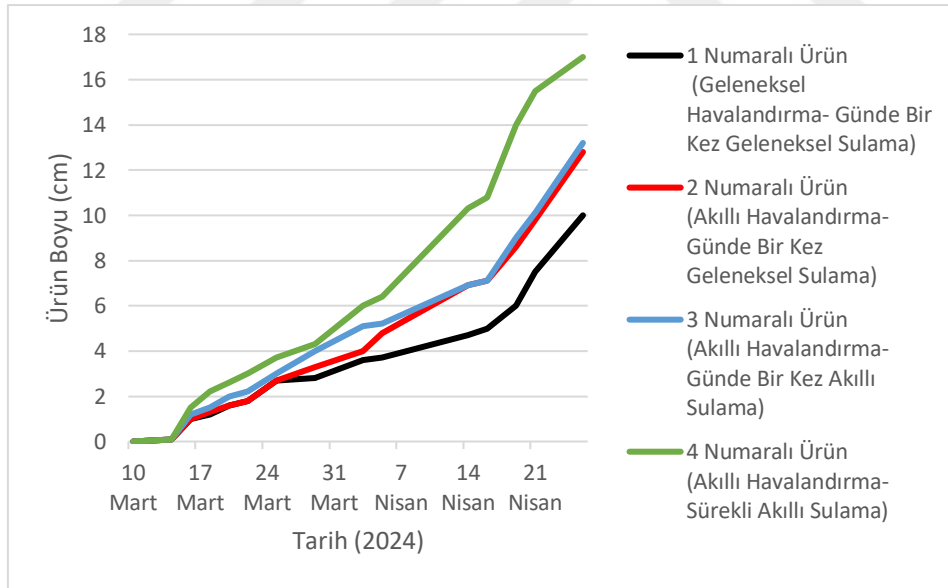
4.3. Genel Değerlendirme

Nesnelerin interneti tabanlı akıllı serada yetiştirilen 3 numaralı ürüne, geleneksel serada yetiştirilen 1 numaralı ürüne kıyasla %10,74 daha az su verilmesine rağmen, 3 numaralı ürün boy uzunluğu açısından %32, yaprak boyu açısından %31,71 ve yaprak eni açısından %13,64 oranında daha fazla gelişim göstermiştir. Karşılaştırma sonuçları Çizelge 4.4.'te verilmiştir.

Çizelge 4.4. Akıllı sistemlerin ürün verimi ve su tüketimine etkisi

Ürün	Havalandırma Tipi	Sulama Tipi	Su Tüketimi (%)	Boy Uzunluğu Gelişimi (%)	Yaprak Boyu Gelişimi (%)	Yaprak Eni Gelişimi (%)
1. Ürün	Geleneksel	Geleneksel (Günde bir kez)	Referans	Referans	Referans	Referans
3. Ürün	Akıllı	Akıllı (Günde 1 kez, toprak nemi %65'e gelene kadar)	-10.74	+32.00	+31.71	+13.64
4. Ürün	Akıllı	Akıllı (Gün içinde toprak nemi her%65'in altına düşünce)	+17.55	+70.00	+70.73	+22.73

4 numaralı ürün, 1 numaralı ürüne kıyasla boy uzunluğu açısından %70, yaprak boyu açısından %70,73 ve yaprak eni açısından %22,73 oranında daha fazla gelişim göstermiştir. Bu sonuçlar, akıllı havalandırma ve akıllı sulama sistemlerinin ürün verimi üzerinde önemli bir etkisi olduğunu ortaya koymaktadır. Yetiştirme sürecinde 4 numaralı ürün, 1 numaralı ürüne göre %17,55 oranında daha fazla su tüketmiştir. Bu durumun, 1 numaralı üründe insan kaynaklı hatalar nedeniyle oluşan eksik sulama ve buharlaşma kayıplarından kaynaklandığı düşünülmektedir. Ürünlerin yetiştirilme sürecine ait zamana bağlı boy uzunluğu gelişim grafiği Şekil 4.5.'te sunulmuştur.



Şekil 4.5. Tüm ürünlerin karşılaştırılması

Bu uygulamada, toprak nem sensörü kullanılarak toprak neminin sürekli sabit tutulması, ürün verimini artırmıştır. Ancak, en fazla su tüketiminin 4 numaralı üründe gerçekleştiği gözlemlenmiştir. Bu duruma neden olduğu düşünülen unsurlar aşağıda açıklanmıştır:

1. 1, 2 ve 3 numaralı ürünlere günde bir kez yapılan sulamanın yetersiz kaldığı; 1 ve 2 numaralı ürünlerde ise insan kaynaklı sulama hatalarının meydana geldiği düşünülmektedir. Bu ürünlerde, sabah saatlerinde ihtiyaç duyulan miktarın üzerinde sulama yapılırken, akşam saatlerinde bitkinin ihtiyaç duyduğu suyun sağlanamaması bu duruma neden olmuş olabilir. 3 numaralı ürün ise 1 ve 2 numaralı ürünlerle karşılaştırma yapabilmek amacıyla günde bir kez sulanmıştır.
2. Bitkilerin sulama zamanı, buharlaşma miktarını etkileyen önemli bir faktördür. En uygun sulama, güneş doğmadan önce ve gün batımından sonra yapılmalıdır. Bu dönemlerde sıcaklık daha düşük olduğundan, suyun buharlaşma oranı azalır ve bitkiler tarafından emilme olasılığı artar. Gün batımından sonra sulamak, sabah saatlerine göre daha etkili olmasa da gündüz sulamasına göre daha avantajlıdır (Askalan, 2022). Bu çalışmada da 4 numaralı ürüne güneşin dik açıyla geldiği ve yüksek sıcaklıkların gözlemlendiği saatlerde yapılan sulama sırasında buharlaşma kayıplarının meydana geldiği düşünülmektedir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Bu çalışmada, mobil arayüz üzerinden belirlenen çalışma koşullarına göre otomatik olarak çalışan bir IoT tabanlı akıllı sera sistemi tasarlanmıştır. Kullanıcı, seradaki sıcaklık, nem, toprak nemi gibi parametrelerin sınır değerlerini mesafe kısıtlaması olmaksızın mobil uygulama aracılığıyla ayarlayabilmektedir. Bu özellik, kullanıcıya esneklik sağlamış ve sera yönetimini daha verimli hale getirmiştir.

Tasarlanan sistemde havalandırma, aydınlatma ve sulama üniteleri, IoT entegrasyonu sayesinde eş zamanlı olarak izlenebilmekte ve kontrol edilebilmektedir. Kullanıcı, mobil uygulama üzerinden bu sistemleri sürekli izleyerek her bir ünitenin anlık durumunu takip edebilmektedir. Ayrıca, çıkış ünitelerinde meydana gelen arızalar, IoT sistemi aracılığıyla kullanıcıya bildirilmekte ve hızlı müdahale imkanı sunulmaktadır. Bu özellik, arızaların erken tespitini kolaylaştırmış ve zamanında müdahale edilmesine olanak tanımıştır.

Seralarda sulama ve havalandırmanın insan gücüyle yapılması, zaman ve emek gerektiren bir süreçtir. Zaman yetersizliği, bilgi eksiklikleri ve insan hatalarından kaynaklanan aşırı veya yetersiz sulama gibi durumlar, yetiştiricilikte verim kayıplarına yol açmaktadır. Ürünün ihtiyacı olan su miktarının sensörlerle belirlenmesi, fazla veya eksik sulama gibi hataların önüne geçilmesine yardımcı olarak verimliliği artırmaktadır.

Çalışmada, akıllı serada ve geleneksel serada ürün yetiştiriciliği yapılarak, IoT tabanlı akıllı seraların seracılığa sağladığı katkılar değerlendirilmiştir. Sonuç olarak, IoT tabanlı akıllı sera sistemi, sera yönetimini daha verimli hale getirmiş ve kullanıcıların çevresel parametreleri ve çıkış ünitelerinin durumunu uzaktan izlemelerine imkan tanımıştır. Bu sayede iş gücü daha etkin kullanılabilmiş, hata oranları azalmış, zaman, maliyet ve su tasarrufu sağlanmıştır. Çalışma, IoT teknolojisinin tarım sektöründeki verimliliği artırma potansiyelini ortaya koymuş, IoT tabanlı akıllı sera uygulamalarının sürdürülebilirlik ve verimlilik açısından önemli fırsatlar sunduğunu göstermiştir.

Seralarda ürünlerin en iyi şekilde gelişmesini sağlayan optimum koşulların tespit edilmesine yönelik yapılacak çalışmalar, birim alandan maksimum ürün elde edilmesine

ve sürdürülebilir bir çevre için su kaynaklarının etkin kullanılmasına önemli katkılar sağlayacaktır. Bu tür araştırmalar, farklı sebze ve meyve türlerinin en yüksek verime ulaşabileceği toprak nem oranı, sıcaklık, sulama zamanı gibi parametreler hakkında bilimsel veriler sunarak su tasarrufu sağlama imkanını artıracaktır. Böylece tarımsal üretimde verimlilik artırılarak ülke ekonomisine katkı sağlanacak ve su kaynaklarının daha etkin kullanımı açısından önemli avantajlar elde edilecektir. Yapılacak tüm çalışmalarda akıllı seralarda yetiştirilen ürünler ile geleneksel seralarda yetiştirilen ürünlerin karşılaştırılması, çiftçilere erkencilik, verim, su tüketimi konularında somut veriler sunacağından seralarda dijital dönüşümün yaygınlaşmasına katkı sağlayacaktır.

Bu bölümde, akıllı havalandırma sisteminin ürün verimine etkisi ile akıllı sulama sisteminin hem ürün verimine hem de su tüketimine olan etkisi, birbirlerinden bağımsız olarak analiz edilmiş ve iki ayrı başlık altında sunulmuştur.

5.1.1. Akıllı havalandırmanın ürün verimine etkisi

Yetiştiricilik sürecinde, 1 ve 2 numaralı ürünlere her gün aynı saatlerde eşit miktarda sulama uygulanmıştır. Ürünler arasındaki tek fark, havalandırma yöntemleridir. 1 numaralı ürün geleneksel havalandırma yöntemleriyle, 2 numaralı ürün ise akıllı havalandırma sistemleriyle havalandırılmıştır. Havalandırma ünitelerinin açılıp kapanma zamanları, hava sıcaklığına bağlı olarak önemli ölçüde değişkenlik göstermektedir. Özellikle bazı günlerde, havalandırma ünitelerinin gün içerisinde birden fazla kez devreye girmesi gerekmektedir. Örneğin, sabah saatlerinde havalandırma ihtiyacı doğduğunda üniteler açılmakta, bir süre sonra kapanmakta ve günün ilerleyen saatlerinde yeniden havalandırma ihtiyacı doğduğunda tekrar açılıp yeniden kapanmaktadır. Bu durum, bitkilerin ihtiyaç duyduğu sıcaklık koşullarında optimal gelişim gösterebilmesi için havalandırmanın hassas bir zamanlamayla manuel olarak yapılmasının oldukça zor olduğunu göstermektedir. Akıllı sera, yetiştirilen ürünlerin havalandırma ihtiyaçlarına tam zamanında cevap vererek, havalandırma süreçlerini etkili bir şekilde yönetmiştir. Karşılaştırma sonuçlarına göre, akıllı havalandırma sistemine sahip ürünlerin gelişimi, boy uzunluğu açısından %28, yaprak boyu açısından %21,95 ve yaprak eni açısından %22,73 oranında daha iyi olmuştur.

5.1.2. Akıllı sulamanın ürün verimi ve su tüketimine etkisi

DSİ verilerine göre 2021 yılında kullanılan su miktarının %77'si tarımsal sulamada, %23'ü içme, kullanma ve sanayide kullanılmıştır. Çiftçilerin suyu gelişi güzel

kullanmaları hem kendi üretimlerini hem de doğal kaynakları olumsuz etkileyerek ülkeye zarar vermektedir. Bu bilinçsiz sulama uygulamaları, verim kayıplarına yol açmaktadır.

Bitkilerin ihtiyaç duyduğu zamanda ve uygun miktarda yapılan sulamanın ürün verimini artırdığı tespit edilmiştir. Bitkilerin sulama işleminin toprak nem sensörlerinden gelen verilere dayanarak gerçekleştirilmesi hem aşırı sulamanın hem de yetersiz sulamanın önüne geçilmesini sağlamaktadır. Aşırı sulama, bitki sağlığını ve ürün verimini olumsuz etkileyerek su kaynaklarının verimsiz kullanımına neden olmaktadır. Öte yandan, yetersiz sulama ise ürün veriminde düşüşe yol açmaktadır. Geleneksel sulama yöntemleriyle sulama işlemini doğru zaman ve miktarda gerçekleştirmek ise oldukça zordur.

Bu çalışmada, %10,74 oranında daha az sulama yapılan ürünlerin, fazla sulanan ürünlere kıyasla daha fazla gelişim gösterdiği tespit edilmiştir. Bu sonuç, suyun verimli kullanımı açısından önemli bir bulgudur. Modern tarım uygulamalarında kullanılan dijital teknolojiler sayesinde sağlanan %10,74'lük su tasarrufu, içme, kullanma ve sanayi amaçlı tüketilen toplam su miktarının %46,70'ine denk gelmektedir. Bu durum, doğru zaman ve miktarda yapılan akıllı sulamanın hem su kaynaklarının korunmasına hem de tarımsal verimliliğin artırılmasına katkı sağladığını göstermektedir.

5.2. Öneriler

Gelecekte bu konuda yapılacak çalışmalarda buharlaşma kayıplarını önlemek amacıyla, güneşin dik açılarla geldiği saatlerde sulama yapılmaması için LDR sensöründen ya da sıcaklık sensöründen gelen veriler kullanılabilir. Işık şiddetine ya da sera içi sıcaklık değerlerine göre sulama yapılmasının ürün verimi ve su tasarrufuna etkisi incelenebilir.

Uygulamada kullanılacak toprak nem sensörleri korozyona karşı dirençli olmalıdır. Toprak nem sensörünün bağlantı pinlerinde korozyona bağlı kopma durumu aşırı sulamaya sebep olabilir. Bu çalışmada en geç 4-5 günde bir toprak nem sensörleri değiştirilmiştir.

Bu tez kapsamında yapılan denemelerde toprak nem oranı %80 olarak belirlenen bir yetiştiricilikte, ürünler aşırı sulamadan dolayı zarar gördüğünden deneme yarıda kalmıştır. Bu nedenle yapılan karşılaştırmada da sulama için toprak nemi %65 olarak seçilmiştir. Daha sonraki çalışmalarda bu oran değiştirilerek ya da alt ve üst sınırlar belirlenerek (%65-%75 gibi) karşılaştırma yapılabilir.

Tasarlanan uygulamada internet üzerinden ürünlere led ışıklar verilebilmesi sağlanmıştır. Ancak ışıkların ürün verimine etkisi incelenmemiştir. Daha sonra yapılacak çalışmalarda farklı renkte led ışıkların ürün verimine etkisi incelenebilir.



KAYNAKLAR

- Abou-Mehdi-Hassani, F., Bouh, H. A., Boudnaya, J., Chmaimi, M., falaki, Y. E., Anar, E., & Mkhida, A.** (2023). Design and Remote Monitoring of a wireless-Controlled Smart Agricultural Greenhouse. . In *E3S Web of Conferences* (Vol. 469, p. 00038). EDP Sciences.
- Akben, İ., & Ös, M.** (2019, June). Akıllı ve veriye dayalı tedarik zincirleri. In *3 rd International EMI Entrepreneurship & Social Sciences Congress* (pp. 28-30).
- Akdemir, N.** (2024). *Akıllı seralarda led lambalı otomasyon kontrol sistemi*. (Yüksek Lisans Tezi). Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzincan.
- Akkurt, M.** (2019). *Nesnelerin interneti uygulamalarının cupcarbon ile benzetimi: Akıllı şehir örnekleri* (Yüksek Lisans Tezi). Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- Aktaş, O.** (2024). *Fotovoltaik Sistemlerde Makine Öğrenmesi İle Enerji Üretim Tahmini*. (Yüksek Lisans Tezi). Kırklareli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırklareli.
- Al-Samarraei, Y. S. H.** (2018). *Smart home design with IoT (Home automation)* (Yüksek Lisans Tezi). Çankaya Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Ankara.
- Alberici, A., Quattrini, E., Penati, M., Martinetti, L., Marino Gallina, P., Ferrante, A., & Schiavi, M.** (2007, October). Effect of the reduction of nutrient solution concentration on leafy vegetables quality grown in floating system. In *International Symposium on High Technology for Greenhouse System Management: Greensys2007* 801 (pp. 1167-1176).
- Aras, G.** (2010). *Aksu ovası taban suyu derinlik ve tuzluluk haritalarının coğrafi bilgi sistemleri kullanılarak hazırlanması ve değerlendirilmesi*. (Yüksek Lisans Tezi). Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Antalya.
- Ashton, K.** (2009). That ‘internet of things’ thing. . *RFID journal*, 22(7), 97-114.
- Askalan, O. A.** (2022). *Sera koşullarında yetiştirilen ve damla sulamayla sulanan domates bitkisinde sürdürülebilir sulama suyu yönetimi: Mogadişu/Somali örneği*. (Yüksek Lisans Tezi). Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- Babayiğit, B., & Büyükpatpat, B.** (2019). Nesnelerin interneti tabanlı sulama ve uzaktan izleme sisteminin tasarımı ve gerçekleştirimi. . *Türkiye Bilişim Vakfı Bilgisayar Bilimleri ve Mühendisliği Dergisi*, 12(2), 13-19.
- Bachler, B.** (2020). Open, Seamful and Slow: A More-Than-Human Internet of Things.
- Baysal, K., Özcan, M. O., Özdüven, F. F., & Beynek, B.** (2018). Nesnelerin İnterneti Tabanlı Bir Sera Takip Sistemi. *Ejovoc (Electronic Journal of Vocational Colleges)*, 8(2), 49-56.

- Baytürk, M., Çetin, G., & Çetin, A. (2013).** *Gömülü sunucu ile tasarlanmış internet tabanlı sera otomasyon sistemi uygulaması.* Bilişim Teknolojileri Dergisi, 6(2), 53-57.
- Bulut, Ö. Ü. A. (2022).** SAĞLIK HİZMETLERİNDE NESNELERİN İNTERNETİ. Dijital Etkileşimler: Sektörel Yansımaları 1, 23.
- Çağlar, K. (2017).** *Nesnelerin interneti ile akıllı sera uygulaması.* Eskişehir: (Doctoral dissertation, (Yüksek Lisans Tezi). Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Çakır, M., & Oral, O. (2017).** DERSLİK VE LABORATUVARLAR İÇİN RFID & BLUETOOTH KONTROLLÜ İKLİMLENDİRME SİSTEMİ. *INTERNATIONAL REFEREED JOURNAL OF ENGINEERING AND SCIENCES*, 70.
- Çakırer, G., Akan, S., Demir, K., & Yanmaz, R. (2017).** Bahçe bitkilerinde kullanılan ışık kaynakları. *Akademik Ziraat Dergisi*, 6, 63-70.
- Çeltek, S. A., Soy, H., & Hacıbeyoğlu, M. (2015).** Nesnelerin İnternetine Doğru: Güncel Konular ve Gelecekteki Eğilimler. *Akademik Bilişim*.
- Danita, M., Mathew, B., Shereen, N., Sharon, N., & Paul, J. J. (2018).** IoT based automated greenhouse monitoring system. *In 2018 Second International Conference on Intelligent Computing and Control Systems (ICICCS) (pp. 1933-1937). IEEE.*
- Dayıoğlu, M. A. (2013).** *Seralar için Bluetooth tabanlı kablosuz ölçüm sisteminin tasarımı: prototip geliştirme ve uygulama.* Tarım Makinaları Bilimi Dergisi, 9(2), 117-125.
- Dayıoğlu, M. A., Uğur, F., & Türker, U. (2016).** *Seralarda nesnelerin interneti teknolojisinin uygulanması: tasarım ve prototip geliştirme.* . Journal of Agricultural Faculty of Gaziosmanpaşa University (JAFAG), 33(Ek Sayı), 52-60.
- Dilbaz, A. Ş. (2017).** *Design and implementation of a smart greenhouse .* (Yüksek Lisans Tezi). Ortadoğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Doğan, M. F. (2022).** *Mobil uygulama ile sera otomasyon sistemlerinin kontrolü .* (Yüksek Lisans Tezi). Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Aydın.
- DSİ. (2019).** *DSİ'ce Geliştirilen Sulamalarda Uygulanan Sulama Yöntemleri (ha), 2018-2019.* DSİ.
- DSİ. (2022).** *Tarım ve Orman Bakanlığı Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü.*
- Elmash, İ. (2022).** *Akıllı sera kontrolü İçin farklı veri aktarım sistemlerinin karşılaştırılması.* (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Aydın Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul.
- Ercan, T., & Kutay, M. (2016).** Endüstride nesnelerin interneti (IoT) uygulamaları. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 16(3), 599-607.
- Ersin, Ç., Demiröz, A., Teke, M., Gencay, S., & Öz, A. (2019).** *İnternet Tabanlı Akıllı Tarımsal Sulama Sistemi.* Journal on Mathematic, Engineering and Natural Sciences (EJONS), 3(7), 131-143.

- Ersin, Ç., Yaz, M., & Karhan, M.** (2019). Savunma Sanayi İçin Örnek Bir IoT Uygulaması. *Electronic Letters on Science and Engineering*, 15(3), 66-73.
- Ghobakhloo, M.** (2020). Industry 4.0, digitization, and opportunities for sustainability. *Journal of cleaner production*, 252, 119869.
- Gövez, E.** (2023). TARIM SEKTÖRÜNE YENİLİKÇİ BİR BAKIŞ AÇISI: TARIM 4.0. *SOSYAL SORUNLAR (Teoriler, Politikalar, Uygulamalar)* (s. 87). içinde EFEAKADEMİ YAYINLARI.
- Gücük, M.** (2019). *Hassas tarım uygulamalarında nesnelerin interneti teknolojilerinin kullanımı* . (Yüksek Lisans Tezi). Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Gündüz, M. Z., & Daş, R.** (2018). Nesnelerin interneti: Gelişimi, bileşenleri ve uygulama alanları. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 24(2), 327-335.
- Hasan, M. K., Weichen, Z., Safie, N., Ahmed, F. R. A., & Ghazal, T. M.** (2024). A Survey on Key Agreement and Authentication Protocol for Internet of Things Application. *IEEE Access*.
- Imteaj, A., Rahman, T., Hossain, M. K., & Zaman, S.** (2016). IoT based autonomous percipient irrigation system using raspberry Pi. . In *2016 19th International Conference on Computer and Information Technology (ICCIT)* (pp. 563-568). IEEE.
- Kanat, Z.** (2019). Orta anadolu tarım havzasında farklı işletme tiplerinin ve bu işletmelerde üretilen bitkisel ürünlerin rekabet üstünlüklerinin tespiti üzerine bir araştırma.
- Karasekreter, N., & Fidan, U.** (2011). GSM/SMS TABANLI SULAMA OTOMASYONU KONTROL BYRYMYNYN GELY? TYRYLMESY VE UYGULANMASI. *Engineering Sciences*, 6(1), 71-77.
- Keçeli, S.** (2021). *Akıllı güvenlik için uzaktan etkileşimli robot araç tasarımı ve gerçekleştirilmesi* . (Yüksek Lisans Tezi). Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilecik.
- Khalid, M. I., & Yaacob, M. S.** (2023). Development of an Automated Indoor Plant with IoT System. . *Progress in Engineering Application and Technology*, 4(2), 145-154.
- Kılavuz, E., & Erdem, İ.** (2019). Dünyada tarım 4.0 uygulamaları ve Türk tarımının dönüşümü. . *Social Sciences*, 14(4), 133-157.
- Kiran, D. R.** (2019). Elements of production planning and control. *Production Planning and Control*, 481, 513.
- Kırkaya, A.** (2021). AKILLI TARIM TEKNOLOJİLERİ UYGULAMALARI.
- Kodali, R. K., Jain, V., & Karagwal, S.** (2016). IoT based smart greenhouse. In *2016 IEEE region 10 humanitarian technology conference (R10-HTC)* , (pp. 1-6). IEEE.
- Kour, V. P., & Arora, S.** (2020). Recent developments of the internet of things in agriculture: a survey. *Ieee Access*, 8, 129924-129957.

- Kösetürkmen, S., & Bilim, H. C.** (2024). Tarımsal Alanlarda Suyun Tasarruflu Kullanımı. *Antepfıstığı Araştırma Dergisi*, 2.
- Laghari, A. A., Wu, K., Laghari, R. A., Ali, M., & Khan, A. A.** (2021). A review and state of art of Internet of Things (IoT). *Archives of Computational Methods in Engineering*, 1-19.
- Mamur, H., Dicle, Z., & Erdener, S.** (2021). İç ortam bitkilerinin takibi için IoT tabanlı akıllı gömülü sistem tasarımı. *International Journal of Engineering Research and Development*, 14(2), 611-618.
- MEGEP.** (2012). *Elektrik-Elektronik Teknolojisi, Sensörler ve Transduserler* (s. 35-36). içinde Ankara: MEB. Erişim Adresi: https://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Sens%C3%B6rler%20Ve%20Transduserler.pdf
- Nakhuva, B., & Champaneria, T.** (2015). Study of various internet of things platforms. *International Journal of Computer Science & Engineering Survey*, 6(6), 61-74.
- Naseri, R. A.** (2019). *Design and implementation intelligent greenhouse system with less power consumption*. (Yüksek Lisans Tezi). Altınbaş Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Ömercikoğlu, M.** (2023). *Endüstri 4.0. ile akıllı tarım uygulamaları ve veri analizi= Smart agriculture applications and data analysis with Industry 4.0*. (Yüksek Lisans Tezi). Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Özer, H.** (05.05.2024). *Roka Yetiştiriciliği*. Ondokuz Mayıs Üniversitesi Erişim: 05.05.2024, [https://avys.omu.edu.tr/storage/app/public/haruno/66655/12.%20Hafta%20\(Roka%20Yeti%C5%9Fticili%C4%9Fi\).pdf](https://avys.omu.edu.tr/storage/app/public/haruno/66655/12.%20Hafta%20(Roka%20Yeti%C5%9Fticili%C4%9Fi).pdf)
- Özkan, M.** (2024). Tarım ve Orman Dergisi Erişim: 12.12.2024, <http://www.turktarim.gov.tr/Haber/1018/ortu-alti-varligi-bakimindan-dunyada-dorduncu-avrupada-ikinci-siradayiz>
- Öztürk, E., Çelik, Y., & Kırıcı, P.** (2021). *Akıllı Tarımda Sensör Uygulaması*. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, (28), 1279-1282.
- Perangin-angin, B., & Simanjuntak, H.** (2021). Soil Moisture Monitoring System in Arugula Plants (Eruca Sativa) Using Microcontroller Esp8266 NodeMCU. *Journal of Technomaterial Physics*, 3(2), 115-122.
- Rajalakshmi, P., & Mahalakshmi, S. D.** (2016). *IOT based crop-field monitoring and irrigation automation*. . In 2016 10th International Conference on Intelligent Systems and Control (ISCO) (pp. 1-6). IEEE.
- Romkey, J.** (2017). Toast of the IoT: the 1990 interop internet toaster. *IEEE Consumer Electronics Magazine*, 6(1), 116-119.
- Rzayev, J.** (2023). *Yapay Zeka Temelli Akıllı Sera Sistemi*. (Yüksek Lisans Tezi). Ostim Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Samsun İl Tarım ve Orman Müdürlüğü.** (2018). *Fazla (Aşırı) Sulamanın Zararları*. Samsun İl Tarım ve Orman Müdürlüğü Erişim: <https://samsun.tarimorman.gov.tr/Belgeler/Yayinlar/Lifletlerimiz/g-4.pdf>

- Sevli, O.** (2023). TARIM 4.0. ÖLÇEĞİNDE BİR DİJİTAL TARIM UYGULAMASI: ÇİFTLİK İZLEME VE YÖNETİM SİSTEMİ. *Uluslararası Sürdürülebilir Mühendislik ve Teknoloji Dergisi*, 7(2), 105-116.
- Sönmez, İ.** (2023). *Roka Yetiştiriciliği*. Antalya İl Tarım ve Orman Müdürlüğü Erişim:01.10.2024,
<https://antalya.tarimorman.gov.tr/Belgeler/Roka%20Yeti%C5%9Ftiricili%C4%9Fi%20Ders%20Notlar%C4%B1.pdf>
- Şahin, H.** (2024). Tarımsal Akıllı Sulama Sistemlerinde Yapay Zekâ, Derin Öğrenme ve Nesnelerin. *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 20(1), 41-60.
- Şimşek, M. S.** (2019). IOT teknolojisinin buzdolabı üzerinde uygulanması. (Yüksek Lisans Tezi). Konya Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Konya.
- Şimşek, A.** (2019). OTOMOTİV SEKTÖRÜNDE NESNELERİN İNTERNETİ UYGULAMALARI ÜZERİNE BİR DERLEME. *Black Sea Journal of Engineering and Science*, 2(2), 66-72.
- Tang, P., Liang, Q., Li, H., & Pang, Y.** (2024). Application of Internet-of-Things Wireless Communication Technology in Agricultural Irrigation Management: A Review. *Sustainability*, 16(9), 3575.
- Tarım ve Orman Bakanlığı.** (2021). *Tarımsal Sulama Sektör Politika Belgesi (2021-2025)*. erişim tarihi 11.10.2024,
https://www.tarimorman.gov.tr/TAGEM/Belgeler/yayin/Tar%C4%B1msal%20Sulama%20SPB_2021-2025.pdf
- Taşkesen, M.** (2018). *Wi-Fi ve nesnelerin interneti teknolojileri kullanılarak güncel hava durumu verileri ile tarla sulama sisteminin gerçekleştirilmesi*. (Yüksek Lisans Tezi). Kırıkkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırıkkale.
- Taştan, M.** (2019). Nesnelerin İnterneti Tabanlı Akıllı Sulama ve Uzaktan İzleme Sistemi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (15), 229-236.
- Tüzel, Y., Gül, A., Öztekin, G. B., Engindeniz, S., Boyacı, F., Duyar, H., . . . Durdu, T.** (2020). TÜRKİYE'DE ÖRTÜALTI YETİŞTİRİCİLİĞİ ve YENİ GELİŞMELER. Türkiye Ziraat Mühendisliği IX. Teknik Kongresi.
- Url-1** <<https://data.tuik.gov.tr/>>, erişim tarihi 11.10.2024
- Url-2** <<https://www.statista.com./>>, erişim tarihi 13.10.2024
- Url-3** <<https://www.suverimliligi.gov.tr/>>, erişim tarihi 18.05.2024
- Url-4** <<https://www.ankaratb.org.tr/>>, erişim tarihi 18.05.2024
- Url-5** <<https://store.arduino.cc/>>, erişim tarihi 27.04.2024
- Url-6** <<https://docs.ai-thinker.com/en/esp8266>>, erişim tarihi 27.04.2024
- Url-7** <<https://www.datasheet4u.com.>>, erişim tarihi 30.04.2024
- Url-8** <<https://www.towerpro.com.tw/product/mg995>>, erişim tarihi 01.05.2024
- Url-9** <<https://remotexy.com/en/help.>> erişim tarihi 04.05.2024
- Yaman, O., & Tuncer, T.** (2023). Akıllı Tarım Uygulamaları için Histogram ve Makine Öğrenimi. *Acta Infologica*, 7(1), 17-28.

- Yenikaya, M. A., Güvenoğlu, E., & Kondakçı, S.** (2022). Nesnelerin İnterneti (IoT) Tabanlı Akıllı Sulama ve Gübreleme Sistemi. *Türkiye Bilişim Vakfı Bilgisayar Bilimleri ve Mühendisliği Dergisi*, 15(1), 14-23.
- Yılmaz, A.** (2015). Küresel Isınmanın Dünya Su Rezervleri Üzerindeki Etkileri. . *Kent Akademisi*, 8(22), 63-72.
- Yılmaz, D.** (05.05.2024). *Roka*. Ankara Büyükşehir Belediyesi Erişim: 05.05.2024, https://www.ankara.bel.tr/files/5615/9100/9268/61-ROKA_ERUCA_VESCARA.pdf
- Yilmazer, E. B., & Tunahoğlu, R.** (2024). Akıllı Tarım Uygulamalarının Sektörel Bakış Açısıyla Değerlendirilmesi. *ÇOMÜ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 12(1), 55-66.
- Zhou, K., Liu, T., & Zhou, L.** (2015, August). Industry 4.0: Towards future industrial opportunities and challenges. In 2015 12th International conference on fuzzy systems and knowledge discovery (FSKD) (pp. 2147-2152). IEEE.
- Xu, L. D., Xu, E. L., & Li, L.** (2018). Industry 4.0: state of the art and future trends. *International journal of production research*, 56(8), 2941-2962.