



**T.C.**  
**NECMETTİN ERBAKAN**  
**ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



**SERALARDA SU KULLANIMININ OPTİMİZE**  
**EDİLMESİ İÇİN KABLOSUZ ALGILAYICI**  
**VE EYLEYİCİ AĞ TABANLI SİSTEM**  
**TASARIMI**

**Muhammed Furkan KOŞUM**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Anabilim**  
**Dalı**

**Mayıs - 2022**  
**KONYA**  
**Her Hakkı Saklıdır**

## **TEZ BİLDİRİMİ**

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atf yapıldığını bildiririm.

## **DECLARATION PAGE**

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Muhammed Furkan KOŞUM

Tarih: 12 / 05 / 2022

## ÖZET

### YÜKSEK LİSANS TEZİ

## SERALARDA SU KULLANIMININ OPTİMİZE EDİLMESİ İÇİN KABLOSUZ ALGILAYICI VE EYLEYİCİ AĞ TABANLI SİSTEM TASARIMI

Muhammed Furkan KOŞUM

Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü  
Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Ali Osman ÖZKAN

2022, 90 Sayfa

Jüri

Dr. Öğr. Üyesi Ali Osman ÖZKAN

Dr. Öğr. Üyesi Hakkı SOY

Dr. Öğr. Üyesi Yusuf DİLAY

Artan dünya nüfusu ile birlikte gıda ihtiyacı da gün geçtikçe artmaktadır. Aynı zamanda kişisel kullanım, endüstriyel ve tarımsal üretimde kullanılan su miktarının artması ve dünyanın birçok yerinde yaşanan iklim sorunu küresel bir su sorunu yaratmıştır. Su kaynaklarının israfını önlemek ve suyu verimli kullanmak için birçok çalışma yapılmıştır ve bu konuda çalışmalar devam etmektedir. Tarımda bilinçsiz sulama ve bitkinin su ihtiyacının öngörülememesi hem su israfına hem de verim kayıplarına neden olmaktadır. Aynı zamanda çiftçinin gübreleme ve ilaçlama miktarını tahmin edememesi, bitkinin yanı sıra toprağa ve çevreye zarar vermektedir. Bu gereksinimleri karşılamak, verimliliği artırmak ve su kaynaklarını daha iyi kullanmak için yenilikçi fikirlere ve teknolojilere ihtiyaç vardır. Bu ihtiyaçları karşılayabilecek yöntemlerden biri de tarımda dijitalleşmedir. Dijital tarım yöntemleri; verimliliğin artırılmasında, işgücünün, çevre kirliliğinin, su israfının ve tarımsal mücadelede kullanılan kimyasalların azaltılmasında etkili olacaktır. Dijital tarım, bu ihtiyaçların karşılanması ve gıda ihtiyaçlarının sürdürülebilir bir şekilde sağlanması için iletişim teknolojilerinin modern tarım endüstrisine uygulanmasıdır.

Bu tez çalışmasında iki ayrı sera ortamı oluşturulmuştur. Bunların ilkinde geleneksel tarım yöntemleri uygulanmıştır. İkincisinde ise mevcut çevresel veriler (toprak nemi, ortam sıcaklığı, ortam nemi ve ortam ışığı) algılayıcılar tarafından toplanarak çiftlik yönetim sistemine aktarılmış ve eyleyiciler tarafından gerekli aksiyonlar alınmıştır. Böylelikle, veri paketlerini doğru bir şekilde yönlendiren ve çoklu iletişimi sağlayan bir algılayıcı ve eyleyici ağı kullanılarak dijital tarım yöntemleri uygulanmıştır. Algılayıcı ve eyleyici düğümleri ile yönetim sistemi arasında ağ üzerinden veri alışverişini sağlamak için bir ağ geçidi oluşturulmuştur. Ağ geçidi aracılığıyla oluşturulan veri tabanına anlık ve saatlik veriler kaydedilmiştir. Veri tabanına aktarılan anlık değer eşik değerinin altında ise eyleyici tarafından otomatik sulama yapılmıştır. Kullanılan su miktarı veri tabanına kaydedilmiştir. Ayrıca tasarlanan mobil uygulama ile veri tabanından anlık ortam verilerini izlemek ve eyleyiciyi kontrol etmek mümkündür.

Sonuç olarak iki sulama yönteminin verimliliği karşılaştırılmış ve kablosuz ağ tasarımının daha verimli olduğu görülmüştür. Toplanan veriler WEKA ve Minitab programları aracılığıyla sınıflandırma ve tahmin algoritmaları ile analiz edilmiştir. Çevresel verilerin su tüketimi ve bitki büyümesi üzerindeki etkisi matematiksel bir denkleme dönüştürülmüştür. Böylece daha uzun süreler için kullanılacak su miktarı ve bitki büyümesinin tahmini sağlanabilmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Dijital Tarım, IEEE 802.15.4 (802.11), Kablosuz Algılayıcı ve Eyleyici Ağ, Regresyon Analizi, Verimlilik.

## **ABSTRACT**

### **MS THESIS**

#### **WIRELESS SENSOR AND ACTUATOR NETWORK BASED SYSTEM DESIGN FOR OPTIMIZING WATER USE IN GREENHOUSES**

**Muhammed Furkan KOŞUM**

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF  
NECMETTİN ERBAKAN UNIVERSITY  
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE IN ELECTRICAL AND  
ELECTRONIC ENGINEERING**

**Advisor: Asst. Prof. Dr. Ali Osman ÖZKAN**

**2022, 90 Pages**

#### **Jury**

**Asst. Prof. Dr. Ali Osman ÖZKAN  
Asst. Prof. Dr. Hakkı SOY  
Asst. Prof. Dr. Yusuf DİLAY**

With the increasing world population, the need for food is increasing day by day. At the same time, the increase in the amount of water used in personal use, industrial and agricultural production and the climate problem in many parts of the world have created a global water problem. Many studies have been carried out to prevent wastage of water resources and to use water efficiently, and studies continue on this subject. Unconscious irrigation in agriculture and unpredictability of the plant's water needs cause both water wastage and yield losses. At the same time, the farmer's inability to predict the amount of fertilization and spraying damages the soil and the environment as well as the plant. Innovative ideas and technologies are needed to meet these requirements, increase efficiency and better use water resources. One of the methods that can meet these needs is digitalization in agriculture. Digital farming methods; It will be effective in increasing productivity, reducing workforce, environmental pollution, water waste and chemicals used in agricultural struggle. Digital agriculture is the application of communication technologies to the modern agriculture industry to meet these needs and to provide food needs in a sustainable way.

In this thesis study, two separate greenhouse environments were created. In the first of these, traditional farming methods were applied. In the second, the existing environmental data (soil moisture, ambient temperature, ambient humidity and ambient light) were collected by the sensors and transferred to the farm management system and necessary actions were taken by the actuators. Thus, digital farming methods have been applied by using a sensor and actuator network that accurately directs the data packets and provides multiple communications. A gateway is established to exchange data over the network between the sensor and actuator nodes and the management system. Instant and hourly data are recorded in the database created through the gateway. If the instantaneous value transferred to the database is below the threshold value, automatic irrigation was performed by the actuator. The amount of water used was recorded in the database. In addition, with the designed mobile application, it is possible to monitor instantaneous media data from the database and control the actuator.

As a result, the efficiency of the two irrigation methods was compared and it was seen that the wireless network design was more efficient. The collected data were analyzed with classification and estimation algorithms through WEKA and Minitab programs. The effect of environmental data on water consumption and plant growth was transformed into a mathematical equation. Thus, the amount of water to be used for longer periods and the estimation of plant growth can be provided.

**Keywords:** Digital Agriculture, IEEE 802.15.4 (802.11), Productivity, Regression Analysis, Wireless Sensor and Actuator Network.

## ÖNSÖZ

Yüksek lisans ve lisans eğitimin boyunca bilgi ve deneyimlerini esirgmeden rehberlik eden yüksek lisans danışmanım Sayın Dr. Öğr. Üyesi Ali Osman ÖZKAN'a, yardım ve tavsiyeleriyle yol gösteren lisans danışmanım Sayın Dr. Öğr. Üyesi Hakkı SOY'a ve değerli bölüm başkanımız Sayın Prof. Dr. Mehmet Akif ERİŞMİŞ'e en içten teşekkürlerimi sunarım. Son olarak, sevgi ve desteklerini her an yanımda hissettiğim aileme şükranlarımı sunarım.

Muhammed Furkan KOŞUM

KONYA - 2022

# İÇİNDEKİLER

<b>ÖZET</b> .....	<b>iii</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>iv</b>
<b>ÖNSÖZ</b> .....	<b>v</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>vi</b>
<b>ŞEKİLLER LİSTESİ</b> .....	<b>viii</b>
<b>ÇİZELGELER LİSTESİ</b> .....	<b>x</b>
<b>KISALTMALAR</b> .....	<b>xi</b>
<b>1. GİRİŞ VE KAYNAK TARAMASI</b> .....	<b>1</b>
1.1. Kablosuz Algılayıcı Ağlar .....	2
1.1.1. Algılayıcı düğüm mimarisi .....	3
1.1.2. Ağ mimarisi ve protokol yığını .....	6
1.1.2.1. Fiziksel katman .....	7
1.1.2.2. Veri bağlantı katmanı.....	7
1.1.2.3. Ağ katmanı.....	8
1.1.2.4. Taşıma katmanı .....	8
1.1.2.5. Uygulama katmanı .....	9
1.1.3. IEEE 802.15.4 (802.11) ve ZigBee standartları.....	9
1.1.4. MAC protokolü tasarımı .....	11
1.1.5. Katmanlar arası tasarım ve optimizasyon .....	15
1.2. Kablosuz Algılayıcı Ağları ile Modern Tarım Çalışmaları .....	17
1.2.1. Kablosuz algılayıcı ağlarına dayalı tarımsal sulama .....	17
1.2.2. Kablosuz algılayıcı ağlarına dayalı sera uygulamaları .....	20
1.2.3. Kablosuz algılayıcı ağlarına dayalı arıcılık.....	21
1.2.4. Kablosuz algılayıcı ağlarına dayalı bitki koruma .....	22
1.3. Sulama Seviyesine göre Yetiştiricilik .....	23
1.4. Makine Öğrenmesi Teknikleri .....	25
1.5. WEKA Programı.....	26
1.5.1. LR algoritması.....	28
1.5.2. GPR algoritması.....	29
1.5.3. MLP algoritması .....	29
1.5.4. SMOreg algoritması.....	29
1.5.5. MS algoritması.....	29
1.5.6. M5Rules algoritması.....	30
1.6. Regresyon Analizi.....	30
1.7. Yapay Sinir Ağları .....	30
1.8. Destek Vektör Makinesi.....	31
1.9. Minitab Programı .....	31
1.10. Tezin Amacı ve Önemi .....	35
<b>2. MATERYAL VE YÖNTEM</b> .....	<b>36</b>

2.1. Ağ Tasarımı.....	36
2.1.1. Algılayıcı düğüm tasarımı.....	37
2.1.2. Gelişmiş düğüm tasarımı .....	41
2.1.3. Mobil uygulama tasarımı .....	45
2.1.4. Firebase veri tabanı .....	47
2.2. Uygulama Tasarımı.....	48
2.2.1. Araştırma yeri ve özellikleri .....	48
2.2.2. Toprak özellikleri.....	49
2.2.3. Seranın kurulması .....	50
2.2.4. Sulama Suyu ve Sulama Sistemi Özellikleri .....	51
2.2.5. Toprak nemi ve ortam verileri ölçümü .....	53
2.2.6. Bitkilerin yetiştirilmesi ve kültürel işlemler .....	54
<b>3. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....</b>	<b>58</b>
3.1. Lineer Regresyon Sonuçları.....	61
3.2. GPR Sonuçları .....	62
3.3. SMOReg Sonuçları .....	63
3.4. MLP Sonuçları.....	65
3.5. MS Sonuçları .....	65
3.6. M5Rules Sonuçları.....	67
3.7. Minitab Programı Regresyon Sonuçları.....	67
<b>4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....</b>	<b>78</b>
4.1 Sonuçlar .....	78
4.2 Öneriler .....	81
<b>5. KAYNAKLAR .....</b>	<b>83</b>

## ŞEKİLLER LİSTESİ

<b>Şekil 1.1</b>	Çalışma alanına dağılmış algılayıcı düğümleri	2
<b>Şekil 1.2</b>	Bir algılayıcı düğüm örneği	3
<b>Şekil 1.3</b>	Algılayıcı düğümünün genel donanım mimarisi	4
<b>Şekil 1.4</b>	Alıcı/verici devre blok diyagramı	5
<b>Şekil 1.5</b>	MicaZ düğümünün güç tüketiminin dökümü	5
<b>Şekil 1.6</b>	Algılayıcı ağı protokol yığını	7
<b>Şekil 1.7</b>	IEEE 802.15.4 ve ZigBee standartları arasındaki ilişki	10
<b>Şekil 1.8</b>	IEEE 802.15.4 topolojilerinden bazıları	10
<b>Şekil 1.9</b>	CSMA/CA mekanizması	13
<b>Şekil 1.10</b>	Katmanlar arası tasarımla fırsatçı zamanlama planı	16
<b>Şekil 1.11</b>	Crossbow firması tarafından üretilen MicaZ algılayıcı düğümü	18
<b>Şekil 1.12</b>	Tarımsal sulama uygulamasında kablosuz algılayıcı ağ mimarisi	19
<b>Şekil 1.13</b>	Önerilen kontrol sisteminin yapısı	19
<b>Şekil 1.14</b>	Algılayıcı sisteminin yapısı	21
<b>Şekil 1.15</b>	Düğümünün mimarisi	22
<b>Şekil 1.16</b>	İzinsiz giriş tespit mekanizması	23
<b>Şekil 1.17</b>	WEKA programı giriş ara yüzü	26
<b>Şekil 1.18</b>	Explorer ara yüzü ön işleme ekranı	27
<b>Şekil 1.19</b>	Yapay sinir ağı modeli	31
<b>Şekil 1.20</b>	Minitab programı ara yüzü	32
<b>Şekil 1.21</b>	Assistant – Regression ara yüzü	33
<b>Şekil 1.22</b>	Fit Regression Model ara yüzü	34
<b>Şekil 1.23</b>	Multiple Regression ara yüzü	34
<b>Şekil 2.1</b>	Ağ mimarisi	36
<b>Şekil 2.2</b>	Algılayıcı düğüm akış diyagramı	37
<b>Şekil 2.3</b>	GrovePi+ kartı ile birlikte Raspberry Pi kartı	38
<b>Şekil 2.4</b>	DHT11 sıcaklık ve nem algılayıcısı	38
<b>Şekil 2.5</b>	Grove ışık algılayıcısı	39
<b>Şekil 2.6</b>	Toprak nem algılayıcısı ve kontrol kartı	40
<b>Şekil 2.7</b>	Algılayıcı düğüm	41
<b>Şekil 2.8</b>	Gelişmiş düğüm akış diyagramı	41
<b>Şekil 2.9</b>	ESP8266 Wi-Fi alıcı/verici kartı	42

<b>Şekil 2.10</b>	YF-S201 su akış algılayıcısı	42
<b>Şekil 2.11</b>	DC 12 V su pompası	43
<b>Şekil 2.12</b>	Sürücü devresi	44
<b>Şekil 2.13</b>	Gelişmiş düğüm	44
<b>Şekil 2.14</b>	Mobil uygulama akış diyagramı	45
<b>Şekil 2.15</b>	Mobil uygulama ara yüzü	46
<b>Şekil 2.16</b>	Firestore çevresel veriler kayıt listesi	47
<b>Şekil 2.17</b>	Firestore gerçek zamanlı veri tabanı ara yüzü	48
<b>Şekil 2.18</b>	Toprak nemi sınıfları	49
<b>Şekil 2.19</b>	TN-200 ve PH-200 ile bölge toprağının pH ölçümleri	50
<b>Şekil 2.20</b>	Kurulan araştırma alanı	50
<b>Şekil 2.21</b>	TN-200 ve PH-200 ile sera toprağının pH ölçümleri	51
<b>Şekil 2.22</b>	PH-200 ile şebeke suyu ve sulama suyunun pH ölçümleri	52
<b>Şekil 2.23</b>	Damla sulama sistemi	52
<b>Şekil 2.24</b>	Algılayıcı çubuğun aşınması	53
<b>Şekil 2.25</b>	Algılayıcıların seradaki yerleri	54
<b>Şekil 2.26</b>	Seyrekleştirme işleminden önce fideler	55
<b>Şekil 2.27</b>	Tek gövdede yetiştirme	56
<b>Şekil 2.28</b>	Fidelerde görülen yeşil yaprak bitleri	56
<b>Şekil 2.29</b>	1. fide (6 Eylül 2021) ve 6. fide (16 Ağustos 2021) boy ölçümleri	57
<b>Şekil 3.1</b>	Kablosuz algılayıcı ve eyleyici ağ ile toplanan verilerin grafiği	60
<b>Şekil 3.2</b>	Geleneksel tarım yöntemi verileri	61
<b>Şekil 4.1</b>	Su tüketim grafiği	78
<b>Şekil 4.2</b>	Bitki boyu grafiği	79

## ÇİZELGELER LİSTESİ

<b>Çizelge 1.1</b>	Tez çalışmasında kullanılan ARFF veri formatının bir kısmı	28
<b>Çizelge 2.1</b>	Fidelerin tarihlere göre ölçülen boyları	57
<b>Çizelge 3.1</b>	Çalışmada toplanan veriler	59
<b>Çizelge 3.2</b>	WEKA programı LR algoritması su (ml) ve boy (cm) için tahmin sonuçları MAPE değerleri	62
<b>Çizelge 3.3</b>	WEKA programı GPR algoritması su (ml) ve boy (cm) için tahmin sonuçları MAPE değerleri	63
<b>Çizelge 3.4</b>	WEKA programı SMOreg algoritması su (ml) ve boy (cm) için tahmin sonuçları MAPE değerleri	64
<b>Çizelge 3.5</b>	WEKA programı MLP algoritması su (ml) ve boy (cm) için tahmin sonuçları MAPE değerleri	65
<b>Çizelge 3.6</b>	WEKA programı MS algoritması su (ml) ve boy (cm) için tahmin sonuçları MAPE değerleri	66
<b>Çizelge 3.7</b>	WEKA programı M5Rules algoritması su (ml) ve boy (cm) için tahmin sonuçları MAPE değerleri	67
<b>Çizelge 3.8</b>	Minitab programı su (ml) için regresyon analizi Katsayılar tablosu	69
<b>Çizelge 3.9</b>	Sıcaklık (°C) değişkeni çıkarılarak Minitab programı su (ml) için regresyon analizi Katsayılar tablosu	69
<b>Çizelge 3.10</b>	Nem (°C) değişkeni çıkarılarak Minitab programı su (ml) için regresyon analizi Katsayılar tablosu	70
<b>Çizelge 3.11</b>	Su (ml) için Minitab programı ile elde edilen tahmin sonuçlarının MAPE değerleri	71
<b>Çizelge 3.12</b>	Su (ml) için yapılan analizlerin Model Özetleri	71
<b>Çizelge 3.13</b>	Minitab programı boy (cm) için regresyon analizi Katsayılar tablosu	72
<b>Çizelge 3.14</b>	Boy (cm) için Minitab programı ile elde edilen tahmin değerleri	74
<b>Çizelge 3.15</b>	Boy (cm) için Minitab programı ile elde edilen tahmin sonuçlarının MAPE değerleri	75
<b>Çizelge 3.16</b>	Boy (cm) için yapılan analizlerin Model Özetleri	75
<b>Çizelge 3.17</b>	19.07.2021 – 09.09.2021 tarihleri arası verileri kullanılarak sekiz farklı algoritma ile su (ml) ve boy (cm) ortalama MAPE değerleri	76
<b>Çizelge 4.1</b>	Çevresel verilerin su (ml) ve boy (cm) üzerindeki etkisi	80

## KISALTMALAR

ACK	:	(Acknowledge) Alındı onayı
ADC	:	(Analog to Digital Converter) Analog dijital dönüştürücü
AP	:	(Access Point) Erişim noktası
APK	:	(Android Application Package) Android uygulama paketi
ARFF	:	(Attribute Relation File Format) Nitelik ilişki dosya formatı
ASCII	:	(American Standard Code for Information Interchange) Bilgi değişimi için Amerikan standart kodu
B-MAC	:	(Berkeley Medium Access Control Protocol) Berkeley ortam erişim kontrol protokolü
BLE	:	(Bluetooth Low Energy) Bluetooth düşük enerji
CDMA	:	(Code Division Multiple Access) Kod bölmeli çoklu erişim
CPLD	:	(Complex Programmable Logic Device) Karmaşık programlanabilir mantık cihazı
CSMA	:	(Carrier Sense Multiple Access) Taşıyıcı duyarlı çoklu erişim
CSMA/CA	:	(Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance) Çarpışma sakıncalı taşıyıcı duyarlı çoklu erişim
CTS	:	(Clear to Send) Gönderime uygun
DAC	:	(Digital to Analog Converter) Dijital analog dönüştürücü
DC	:	(Direct Current) Doğru akım
DIFS	:	(Distributed Interframe Space) Dağıtılmış çerçeveler arası boşluk
EKG	:	(Electrocardiography) Elektrokardiyografi
FDMA	:	(Frequency Division Multiple Access) Frekans bölmeli çoklu erişim
FRM	:	(Fit Regression Model) Uygun regresyon modeli
GPIO	:	(General Purpose Input Output) Genel amaçlı giriş çıkış
GPR	:	(Gaussian Processes Regression) Gauss süreci regresyonu
GPS	:	(Global Positioning System) Küresel konumlandırma sistemi
GSM	:	(Global System for Mobile Communications) Mobil iletişim için küresel sistem
IEEE	:	(The Institute of Electrical and Electronics Engineers) Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü
IFA	:	(Intermediate Frequency Amplifier) Ara frekans kuvvetlendirici
IFS	:	(Interframe Space) Çerçeveler arası boşluk

IoT	:	(Internet of Things) Nesnelerin internet
LAN	:	(Local Area Network) Yerel alan ağı
Li-Ion	:	(Lithium Ion) Lityum iyon
LLC	:	(Logical Link Control) Lojik bağlantı kontrolü
LNA	:	(Low Noise Amplifier) Düşük gürültülü kuvvetlendirici
LO	:	(Local Oscillator) Lokal osilatör
LR	:	(Linear Regression) Lineer regresyon
MAC	:	(Media Access Control) Ortam erişim kontrolü
MACA	:	(Multiple Access with Collision Avoidance) Çarpışma önleme ile çoklu erişim
MAPE	:	(Mean Absolute Percentage Error) Ortalama mutlak yüzde hatası
MCU	:	(Microcontroller) Mikrodenetleyici
MLP	:	(Multi-Layer Perceptron) Çok katmanlı algılayıcı
MPX	:	(Microsoft Project Exchange File Format) Microsoft proje değişim dosya formatı
MR	:	(Multiple Regression) Çoklu regresyon
MS	:	(Multi Search) Çoklu arama
NTC	:	(Negative Temperature Coefficient) Negatif sıcaklık katsayısı termistörü
OFDMA	:	(Orthogonal Frequency Division Multiple Access) Ortogonal frekans bölmeli çoklu erişim
PDA	:	(Personal Digital Assistant) Taşınabilir el cihazları
pH	:	(Power of Hydrogen) Hidrojenin gücü / potansiyel hidrojen
PIR	:	(Passive Infrared Sensor) Pasif kızılötesi algılayıcı
RAM	:	(Random Access Memory) Rasgele erişimli hafıza
RF	:	(Radio Frequency) Radyo frekans
RTS	:	(Request To Send) Gönderim isteği
RX	:	(Receive) Alın
S-MAC	:	(Sensor Medium Access Protocol) Algılayıcı ortam erişim protokolü
SIFS	:	(Short Interframe Space) Kısa çerçeveler arası boşluk
SMO	:	(Sequential Minimal Optimization) Sıralı minimum optimizasyon
SMOreg	:	(Sequential Minimal Optimization Regression) Sıralı minimum optimizasyon regresyonu

SVM	:	(Support Vector Machine) Destek vektör makinesi
T-MAC	:	(Timeout Medium Access Control) Zaman aşımı ortam erişim protokolü
TDMA	:	(Time Division Multiple Access) Zaman bölmeli çoklu erişim
TFT LCD	:	(Thin Film Transistor Liquid Crystal Display) İnce tabakalı transistör sıvı kristal ekran
TX	:	(Transmit) İletim
UART	:	(Universal Asynchronous Receiver Transmitter) Evrensel asenkron alıcı verici
USB	:	(Universal Serial Bus) Evrensel seri veri yolu
UV	:	(Ultraviolet) Ultraviyole
VIF	:	(Variance Inflation Factor) Varyans enflasyon faktörü
WEKA	:	(The Waikato Environment for Knowledge Analysis) Bilgi analizi için Waikato ortamı
Wi-Fi	:	(Wireless Fidelity) Kablosuz bağlantı alanı
WLAN	:	(Wireless Local Area Network) Kablosuz yerel alan ağı

## 1. GİRİŞ VE KAYNAK TARAMASI

Artan dünya nüfusu ile birlikte gıda ihtiyacı da gün geçtikçe artmaktadır. Aynı zamanda kişisel kullanım, endüstriyel ve tarımsal üretimde kullanılan su miktarının artması ve dünyanın birçok yerinde yaşanan iklim sorunu küresel bir su sorunu yaratmıştır. Su kaynaklarının israfını önlemek ve suyu verimli kullanmak için birçok çalışma yapılmış ve bu konuda çalışmalar devam etmektedir. Tarımda bilinçsiz sulama ve bitkinin su ihtiyacının öngörülememesi hem su israfına hem de verim kayıplarına neden olmaktadır. Aynı zamanda çiftçinin gübreleme ve ilaçlama miktarını tahmin edememesi, bitkinin yanı sıra toprağa ve çevreye zarar vermektedir.

Bu gereksinimleri karşılamak, verimliliği artırmak ve su kaynaklarını daha iyi kullanmak için yenilikçi fikirlere ve teknolojilere ihtiyaç vardır. Bu ihtiyaçları karşılayabilecek yöntemlerden biri de tarımda dijitalleşmedir. Dijital tarım yöntemleri; verimliliğin artırılmasında, işgücünün, çevre kirliliğinin, su israfının ve tarımsal mücadelede kullanılan kimyasalların azaltılmasında etkili olacaktır. Dijital tarım, bu ihtiyaçların karşılanması ve gıda ihtiyaçlarının sürdürülebilir bir şekilde sağlanması için iletişim teknolojilerinin modern tarım endüstrisine uygulanmasıdır.

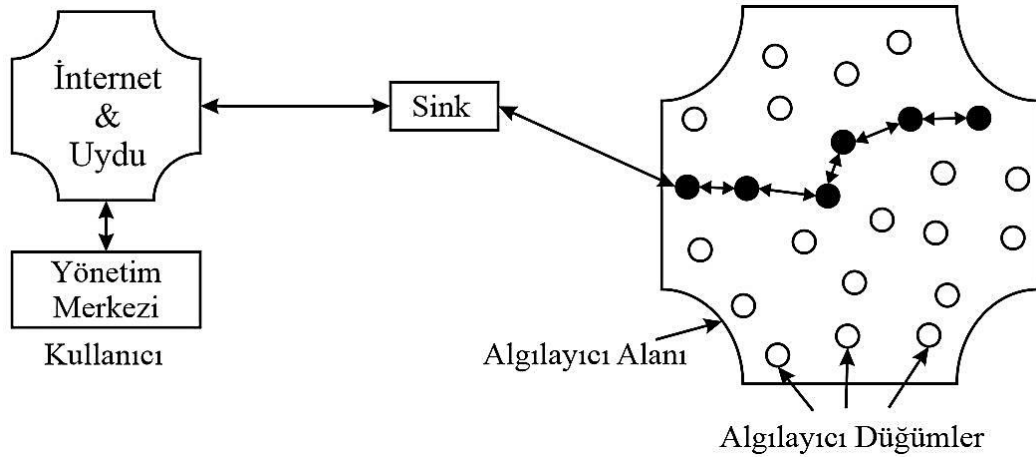
Modern tarım sistemlerinde çevresel veriler algılayıcılar tarafından toplanarak çiftlik yönetim sistemine aktarılır ve eyleyiciler tarafından gerekli aksiyonlar alınır. Bu nedenle veri paketlerini doğru bir şekilde yönlendiren ve çoklu iletişim sağlayan bir algılayıcı ve eyleyici ağına ihtiyaç vardır.

Kablosuz algılayıcı ve eyleyici ağları; çeşitli algılayıcılar ve eyleyiciler içeren birçok algılayıcı/eyleyici düğümünden ve toplanan verileri sunucuya iletmek için merkezi bir çıkış düğümünden oluşur. Algılayıcı ve eyleyici düğümleri ile yönetim sistemi arasında ağ değişimini sağlayacak bir ağ geçidi mevcuttur. Kablolulu sisteme göre kullanışlı yapısı ile çiftlik yönetiminin ihtiyaçlarına daha az maliyetle hızlı cevap verir. Bu açıdan tarımsal uygulamalarda kablosuz algılayıcı ve eyleyici ağının kullanılması uygundur.

Toplanan veriler, sınıflandırma ve tahmin algoritmaları ile analiz edilebilir ve çevresel verilerin (toprak nemi, ortam sıcaklığı, ortam nemi ve ortam ışığı) su tüketimi ve bitki büyümesi üzerindeki etkisi matematiksel bir denkleme dönüştürülebilir. Böylece su tüketimi ve bitki büyümesi üzerinde hangi parametrenin en önemli etkiye sahip olduğu tahmin edilebilir.

## 1.1. Kablosuz Algılayıcı Ağlar

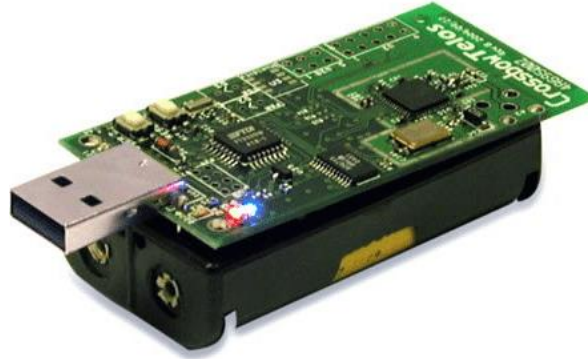
Kablosuz algılayıcı ağlar, bir görevi gerçekleştirmek için belirli bir etüt alanına konuşlandırılmış ve düğüm adı verilen birçok akıllı cihazdan oluşan bir ağıdır. Sıcaklık, ses, kirlilik seviyeleri, nem, rüzgâr vb. fiziksel ve çevresel büyüklükleri izlemek, kaydetmek ve toplanan verileri merkezi bir yerde düzenlemek maksadıyla görev yapar (Mahalik, 2007; Al Ameen ve ark., 2010). Mikro Elektro-Mekanik Sistemler teknolojisi, kablosuz iletişim ve dijital elektronik alanındaki olumlu yönde ilerlemeler sayesinde, küçük boyutlu ve kısa mesafelerde kablosuz iletişim kuran düşük maliyetli, düşük güçlü, çok işlevli algılayıcı düğümlerinin geliştirilmesi sağlanmıştır (Akyıldız ve Vuran, 2010). Algılayıcı düğümlerin kendileri bağımsız kaynaklar olarak hareket edebilir ve etrafında veri toplayabilir. Ayrıca etrafındaki diğer algılayıcı düğümlerden veri alır ve Şekil 1.1’de gösterildiği gibi çıkış düğümüne (sink) iletilmesini sağlar. Çıkış düğümü bir ağ geçidi olarak davranır ve toplanan verileri kablolu (internet) veya kablosuz (GSM, uydu) iletişim aracılığıyla uzaktan kumanda merkezinde bulunan kullanıcıya iletir (Akyıldız ve ark., 2002).



Şekil 1.1 Çalışma alanına dağılmış algılayıcı düğümleri (Akyıldız ve Vuran, 2010)

Kablosuz algılayıcı ağları; otomatik algılama, gömülü bilgi işlem ve kablosuz ağ görevlerinin küçük, ucuz ve düşük enerjili cihazlarda gerçekleştirilmesini sağlar. Bir algılayıcı düğüm örneği Şekil 1.2’de gösterilmiştir. Kablosuz bir ağ yardımıyla birbirine bağlandığında güçlü ve esnek bir yapıya sahip olan algılayıcı düğümlerin bireysel yetenekleri oldukça sınırlıdır. Birbirleriyle işbirliği yaparak, geniş bir çalışma alanı boyunca dağınık algılama görevi kolaylıkla gerçekleştirilebilir. Planlı veya rastgele

olarak sahaya yerleştirilir. Gerekli algılayıcı düğümlerinin sayısı, ilgilenilen şantiyenin boyutuna ve uygulamanın gerektirdiği hassasiyete bağlı olarak değişir (Soy, 2013).



Şekil 1.2 Bir algılayıcı düğüm örneği (Marques, 2017)

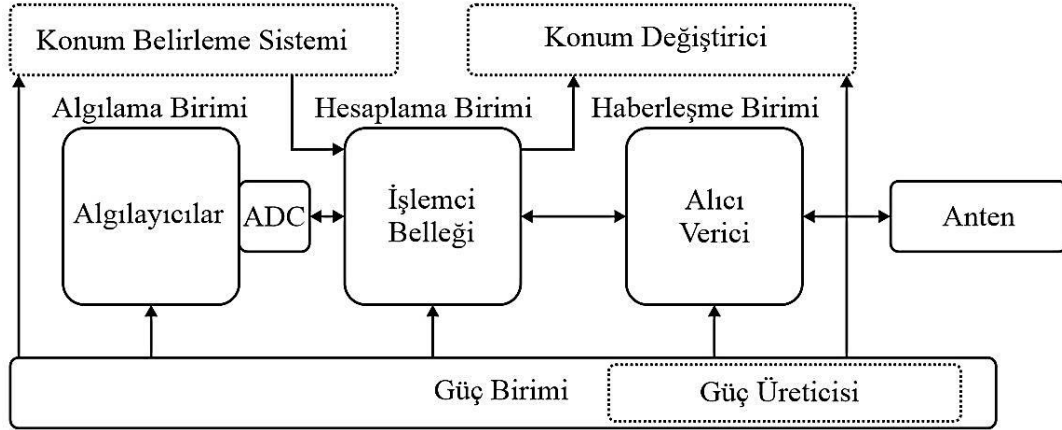
Kablosuz algılayıcı ağların temel uygulama amacı, istenen bir çalışma alanının uzaktan izlenmesine odaklanmaktadır. Algılayıcı düğümlerin hızla azalan maliyeti ve boyutları ile kablosuz algılayıcı ağların uygulama alanları hızla genişlemektedir (Al Ameen ve ark., 2010). Bu uygulamalara örnekler:

- Askeri alanda; dost/düşman birliklerin takibi, nükleer ve biyolojik saldırı alarmı
- Çevresel alanda; hava kirliliği, orman yangınları, sel ve deprem gibi doğa olaylarının erken tespiti
- Sağlık alanında; doktor ve hasta takibi, tansiyon, EKG gibi hayati verilerin uzaktan izlenmesi
- Trafik alanında; araç izleme, hız tespiti, sinyal yönetimi, trafik sıkışıklığının ve yol tehlikelerinin erken tespiti
- Endüstriyel alanda; önleyici bakım, riskli ortamların gözetimi
- Tarım alanında; meteorolojik veri izleme, sulama, ilaçlama ve gübreleme yönetimi verilebilir (Akyıldız ve ark., 2002; Mahalik, 2007).

### 1.1.1. Algılayıcı düğüm mimarisi

Algılayıcı düğümleri; algılama, hesaplama, veri depolama ve haberleşme gibi rutin işlemler, istenen görevleri yerine getirmek için tasarlanmıştır (Akyıldız ve ark., 2002). Şekil 1.3'te gösterildiği gibi algılayıcı düğümleri; bir mikro kontrolör, radyo arabirimi ve çeşitli algılayıcıların yanında bir enerji kaynağı olarak pil ile

donatılmaktadır (Dilay ve ark., 2012). Aynı zamanda kullanılacak uygulamaya göre algılayıcı düğümleri üzerine küresel konum belirleme sistemi (global position system, GPS) ve konum değiştirici gibi birimler yerleştirilebilir (Soy, 2013).

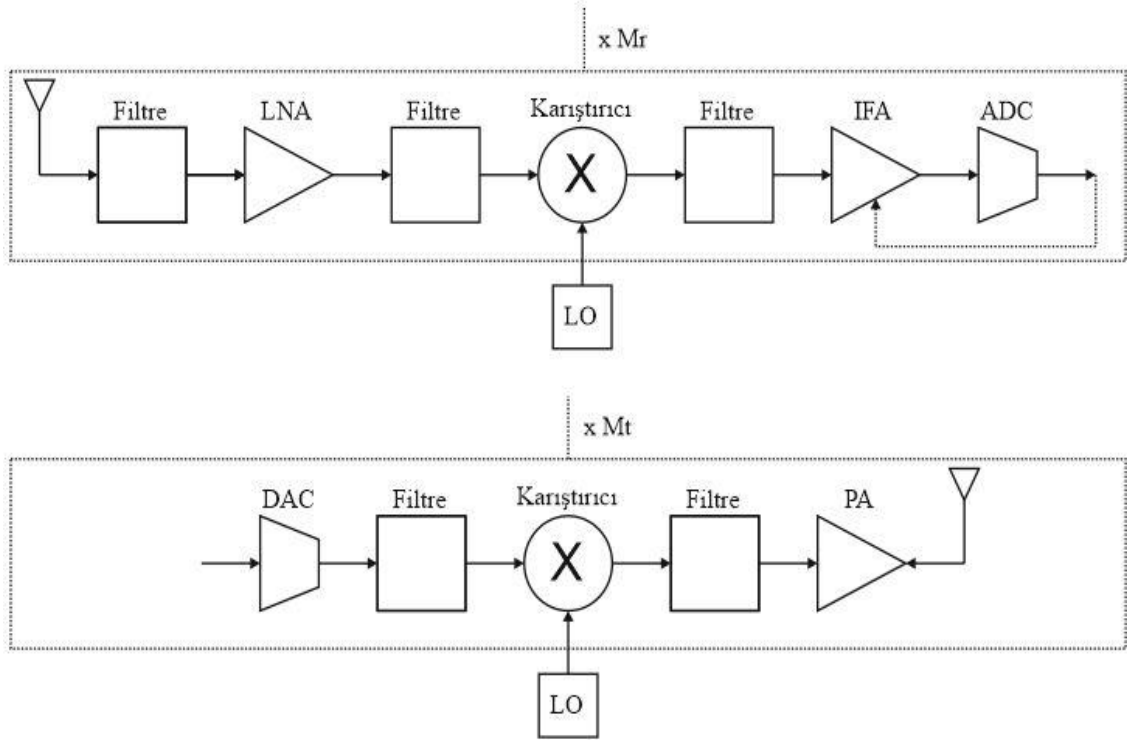


Şekil 1.3 Algılayıcı düğümünün genel donanım mimarisi (Akyıldız ve Vuran, 2010)

Düğüm dört ana birimden oluşur. Bunlar; algılama birimi, hesaplama birimi, haberleşme birimi ve güç birimidir. Algılama biriminde veri toplayan çok sayıda algılayıcı olabilir. Algılayıcılar tarafından toplanan veri sinyalleri, analog dijital dönüştürücü (analog digital converter, ADC) tarafından dönüştürülür ve hesaplama birimine gönderilir (Soy, 2013). Hesaplama birimi, algılayıcı düğümde gerçekleştirilen tüm yönetim işlemlerinden sorumludur. Genellikle küçük bir hafıza birimi (< 128 kB ROM + 10 kB RAM) ile bütünleştirilir. Haberleşme birimi, düğümün ağa bağlanmasını sağlar. Güç birimi, algılayıcı düğümlerinin çalışma ömrü için önemli bir ünedir (Akyıldız ve ark., 2002). Pratikte çoğu uygulamalarda pili değiştirmek veya yeniden şarj etmek mümkün değildir. Bu nedenle enerji tüketimini azaltmak ve çalışma ömrünü uzatmak temel tasarım hedeflerindedir (Shih ve ark., 2004). Algılayıcı biriminde toplanan veriler, çıkış düğümüne gönderilmeden önce düğümde sinyal işlemeye tabi tutulabilir. Böylece, algılayıcı düğümde önemsiz veri paketleri filtrelenerek iletişim yoğunluğu azaltılır ve haberleşme biriminde harcanan güç azaltılabilir (Aboelaze ve Aloul, 2005).

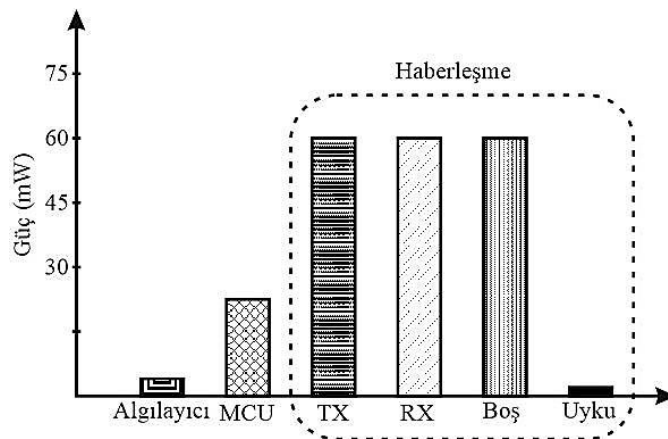
Şekil 1.4'te gösterildiği gibi, bit dizisi formatında gönderilecek veriler algılayıcı düğüm tarafından paketlenir ve alıcı/verici üzerinden radyo frekansı (radio frequency, RF) sinyallerine dönüştürülür. Benzer şekilde, dışarıdan alınan RF sinyalleri, alıcı/verici vasıtasıyla bit dizileri halinde veri paketlerine dönüştürülür. Algılayıcı düğümler

arasındaki veri aktarımı genellikle çok düşük hızlarda (10 – 250 kbps) gerçekleştirilir (Soy, 2013).



Şekil 1.4 Alıcı/verici devre blok diyagramı (Cui ve ark., 2004)

Modülasyon, demodülasyon, filtreleme ve yükselteç devrelerini içeren haberleşme birimi, Şekil 1.5'te görüldüğü gibi algılayıcı düğümlerin en çok güç tüketen birimidir (Akyıldız ve Vuran, 2010). Algılayıcı düğümlerin daha uzun süre çalışabilmesi için haberleşme biriminde ve diğer birimlerde güç tüketimini azaltacak geliştirmeler yapılması gerekmektedir (Yao ve Giannakis, 2005).



Şekil 1.5 MicaZ düğümünün güç tüketiminin dökümü (Akyıldız ve Vuran, 2010)

Haberleşme birimindeki güç tüketiminin kaynağı, sinyal iletimi için sinyal kuvvetlendirici ve sinyal işleme için diğer devreler tarafından harcanan güçtür (Cui ve ark., 2004). Kısa menzilli iletişim, enerji verimliliği açısından kablosuz algılayıcı ağları için sinyal kuvvetlendiricinin güç tüketimini azaltır. Veriler, kısa mesafelerde çok atlamalı (multi-hop) haberleşme kullanılarak çıkış düğümüne iletilir. Bu, her algılayıcı düğümün sinyallerini almak, iletmek ve göndermek için ekstra güç kullanmasına neden olur. Nitekim kanal yoğunluğuna ve sinyal girişimine neden olabilir (Li ve Dai, 2005).

Gerçekçi durumlar düşünüldüğünde, verimlilik konusunda hala belirsizlikler vardır. Tek atlamalı (single-hop) haberleşmede, veriler doğrudan çıkış düğümüne gönderilirse; sinyal kuvvetlendirici tarafından harcanan güç artırılsa da, yönlendirme ve sinyal işleme devreleri için güç boşa harcanmaz (Sharifkhan ve Beaulieu, 2009). Sinyal kuvvetlendiricinin harcadığı güce karşı uzun menzilli haberleşmede aşırı güç tüketimini önlemek için çeşitleme tekniği kullanılarak bağlantı güvenliği ve dolayısıyla verimlilik artırılabilir (Haenggi, 2004). Birden fazla anten kullanarak, anten çeşitlendirme tekniği ile veri iletimi sırasında güç tüketimi azaltılabilir (Siam ve Krunz, 2009). Bununla birlikte veri iletiminde yönlü antenler ile verimlilik sağlanabilmektedir (Zhang ve Datta, 2005).

Görev çevrimi (duty cycling), algılayıcı ağlarında güç verimliliği açısından yaygın olarak tercih edilen bir mekanizmadır. Haberleşme biriminde veri iletimi olmadığında alıcı/verici devreleri uyku (sleep) moduna geçirilir. Algılayıcı düğümlerin uyku moduna girişi ve çıkışı sırasında harcanan güç, haberleşme biriminde harcanan güçten daha fazla olabilir. Dolayısıyla, algılayıcı düğümlerinin sürekli mod değiştirmesi, güç verimliliği için olumsuzdur (Al Ameen ve ark., 2010). Ayrıca, algılayıcı düğümlerin gereksiz veri aktarımı için uyku modundan çıkarılmasının önüne geçmek amacıyla ağ üzerinden veriye dayalı (data driven) paketler gönderilir (Anastasi ve ark., 2009).

### 1.1.2. Ağ mimarisi ve protokol yığını

İletişim protokolü tasarımında bağımsız katmanlara ayrılma fikri, modüler tasarım için farklı kavramsal katmanların işlevsel olarak ayrılması anlamına gelir (Dimić ve ark., 2004). Algılayıcı düğümleri tarafından kullanılan protokol yığını Şekil 1,6'da gösterilmiştir. Protokol yığını temel olarak fiziksel katman, veri bağlantı katmanı, ağ katmanı, taşıma katmanı ve uygulama katmanından meydana gelir. Ayrıca

yerelleştirme düzlemi, senkronizasyon düzlemi, topoloji yönetim düzlemi, güç yönetimi düzlemi, hareketlilik yönetim düzlemi ve görev yönetimi düzleminde oluşur (Akyıldız ve Vuran, 2010).



Şekil 1.6 Algılayıcı ağı protokol yığını (Akyıldız ve Vuran, 2010)

### 1.1.2.1. Fiziksel katman

Fiziksel katman (physical layer), kablosuz iletişimde veri toplama, iletim ve modülasyon gereksinimlerini karşılar. Frekans seçimi, taşıyıcı frekans üretimi, sinyal algılama, modülasyon ve veri şifreleme gibi görevlerden sorumludur. Uzun mesafeli kablosuz iletişimin güç tüketimi ve uygulama karmaşıklığı açısından maliyetli olduğu bilinmektedir. Bu nedenle algılayıcı ağlar için fiziksel katman tasarımı, güç tüketimi, yayılma ve sönmleme etkileri açısından büyük önem taşımaktadır (Akyıldız ve ark., 2002). Haberleşme birimindeki modülasyon ve uyku modu gibi işlemler fiziksel katmandaki güç tüketimini etkiler. Fiziksel katman tasarımındaki iyileştirmeler, algılayıcı ağlarının verimliliğini artırılabilir ve çalışma sürelerini uzatılabilir (Soy, 2013).

### 1.1.2.2. Veri bağlantı katmanı

Veri bağlantı katmanı (data link layer), veri akışlarının çoğaltılmasından, veri çerçevesi tespitinden, ortam erişiminden ve kontrolünden sorumludur. Bir iletişim ağında güvenilir noktadan noktaya ve noktadan çok noktaya bağlantılar sağlar. İki alt katmandan oluşur; ortam erişim kontrolü (media access control, MAC) ve lojik bağlantı kontrolü (logical link control, LLC). MAC katmanı, çalışma alanındaki algılayıcı düğümlerin veri iletimi için ağ altyapısı oluşturarak, mevcut kaynakları adil ve verimli

bir şekilde dağıtmaktır (Akyıldız ve ark., 2002). Kanal erişimi ve paket aktarımları MAC katmanı aracılığıyla kontrol edilir. LLC katmanı; adresleme, çoğullama, çerçeve algılama, akış denetimi, gecikmeyi azaltma, hata denetimi, yeniden paket gönderme ve şifreleme gibi görevleri gerçekleştirir (Soy, 2013).

Kablosuz algılayıcı ağların iletişimi dar bant olduğundan frekans bölmeli çoklu erişim (frequency division multiple access, FDMA) tekniği yüksek verim sağlayamamaktadır ve kanal paylaşımı için tercih edilmemektedir. Kod bölmeli çoklu erişim (code division multiple access, CDMA) ve ortogonal frekans bölmeli çoklu erişim (orthogonal frequency division multiple access, OFDMA) teknikleri de güç tüketimini artıran karmaşıklık nedeniyle, maliyeti artıracığından tercih edilmemektedir. Bu nedenlerle kanal paylaşımında zaman bölmeli çoklu erişim (time division multiple access, TDMA) tekniği tercih edilmektedir (Akyıldız ve Vuran, 2010). TDMA sisteminde, tüm algılayıcı düğümler ortak bir frekans bandı kullanır. MAC katmanı için, algılayıcı düğümlerinin ağda kalma sürelerinin değişkenliğinden yararlanılarak verimlilik artırılabilir. MAC için rasgele dağıtılmış zamanlama şeması, algılayıcı düğümlerinin eşzamanlı paket iletimlerinde çakışmaya neden olur. Bu sorunu önlemek için eşik seviyesi optimizasyonuna ihtiyaç duyulur (Miao ve ark., 2009).

### **1.1.2.3. Ağ katmanı**

Ağ katmanı (network layer), her bir algılayıcı düğüm tarafından elde edilen verilerin ağdaki çıkış düğümüne veya başka bir algılayıcı düğümüne baştan sona iletilmesi ve korunması görevini yerine getirir. Ağ katmanında; komuta, kontrol sistemleri ve harici ağlarla bağlantıların izleyeceği rota, yönlendirme protokolü (routing protocol) tarafından belirlenir. Çıkış düğümleri diğer algılayıcı düğümleri tarafından ağ geçidi olarak kullanılmasına izin verirken, aynı zamanda bir algılayıcı düğümün çıkış düğümü tarafından ağ geçidi olarak kullanılmasına da izin verir. Dinamik kaynak paylaşımı ve verimli yönlendirme protokolü tasarımı ile kanal kapasitesi artırılabilir (Akyıldız ve Vuran, 2010).

### **1.1.2.4. Taşıma katmanı**

Taşıma katmanı (transport layer), veri iletimi sırasında güvenilirlik ve tıkanıklık kontrolü işlevlerini yerine getirir. Kablosuz algılayıcı ağlarda uçtan uca güvenilirlik

mekanizması kaynak ve enerji maliyeti açısından elverişsiz olacağından yerleştirilmiş bir güvenilirlik mekanizmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Aşırı yoğunluğun neden olduğu tıkanıklık, taşıma katmanı protokolleriyle azaltılabilir. Ağa internet veya diğer harici ağlar aracılığıyla erişilmesi planlandığında özellikle gereklidir (Akyıldız ve Vuran, 2010).

#### **1.1.2.5. Uygulama katmanı**

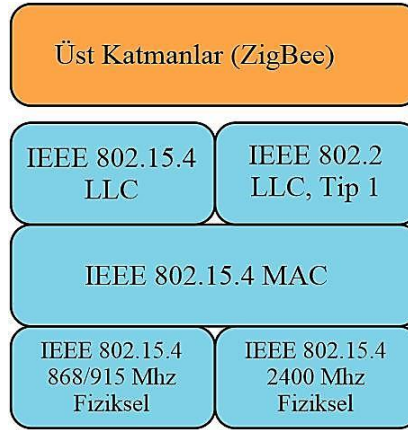
Uygulama katmanı (application layer), kaynak kodlama, sorgu işleme ve ağ yönetimi işlevlerinin yanı sıra her uygulamaya özel uygulama kodunu içerir. Ayrıca kullanıcının fiziksel ortamla etkileşime girmesine izin veren ara yüzleri içerir (Akyıldız ve Vuran, 2010).

#### **1.1.3. IEEE 802.15.4 (802.11) ve ZigBee standartları**

IEEE 802.15.4 standardı, uzun pil ömrü, düşük veri hızı ve düşük güçlü kablosuz alıcı/verici cihazlar için IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) tarafından geliştirilen IEEE 802.11 standardının eşdeğeri. IEEE 802.15.4 standardına uygun olarak üretilen farklı alıcı/verici cihazlar birbirleri ile haberleşebilmektedir. IEEE 802.15.4, fiziksel ve MAC katmanlarını içerir ve üst katman çözümleri için esneklik sağlar.

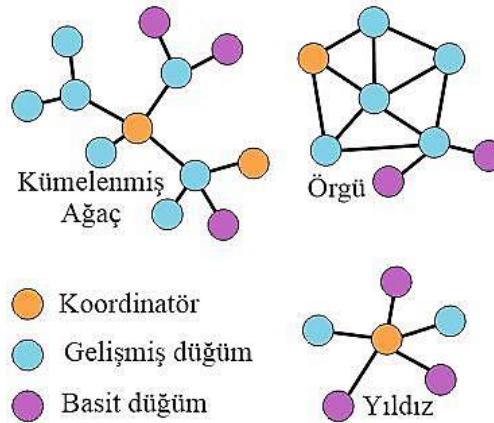
Fiziksel katmanda üç farklı frekans bandında çalışır; 2,4 GHz (Global – 250 kbps), 915 MHz (Amerika – 40 kbps) ve 868 MHz (Avrupa – 20 kbps). Bu bantlar arasında 47 kanal; 2,4 GHz için 16 kanal, 915 MHz için 30 kanal ve 868 MHz için 1 kanal olarak dağıtılır. Düşük güç modunda, algılayıcı düğümlerinin iletişim mesafesi 20-250 Kbps veri hızlarıyla 10 ile 100 metre arasındadır (Mahalik, 2007; Langendoen, 2008; Akyıldız ve Vuran, 2010).

ZigBee standardı, IEEE 802.15.4 üzerinde ortak uygulamalar geliştirmek için tasarlanmıştır. ZigBee, ağ ve uygulama katmanlarını belirler. Şekil 1.7'de IEEE 802.15.4 ve ZigBee standartları arasında protokol yığınındaki ilişki gösterilmiştir (Mahalik, 2007; Akyıldız ve Vuran, 2010).



Şekil 1.7 IEEE 802.15.4 ve ZigBee standartları arasındaki ilişki

Yıldız (star), örgü (mesh) ve kümelenmiş ağaç (cluster tree) topolojileri gibi mimariler, Şekil 1.8’de gösterildiği gibi MAC katmanında desteklenir (Mahalik, 2007). İşlevsel olarak iki gruba ayrılır; basit ve gelişmiş. Gelişmiş düğümlerden biri koordinatör olarak hareket eder ve ağdaki diğer herhangi bir cihazla iletişim kurabilir. Basit düğümler yalnızca bir ağ koordinatörü ile haberleşebilir, yönlendirici ve koordinatör işlevlerine sahip değildir (Akyıldız ve Vuran, 2010).



Şekil 1.8 IEEE 802.15.4 topolojilerinden bazıları

IEEE 802.15.4 standardı; kılavuz etkinleştirilmiş (beacon enabled) ve kılavuz etkinleştirilmemiş (non-beacon enabled) olmak üzere iki farklı kanal erişim yöntemini destekler. Kılavuz etkinleştirilmiş yöntem, görev çevrimi içinde güç yönetimi mekanizması oluşturur. Koordinatör, periyodik olarak aktif ve pasif aralıklar oluşturacak kılavuz sinyaller üretir. Aktif aralıkta, düğümler ilgili koordinatörleriyle iletişim kurar. Pasif aralıkta, düğümler güç tasarrufu yapmak için düşük güç moduna geçer (Anastasi ve ark., 2009).

Kılavuz etkinleştirilmemiş yöntemde, düğümler her zaman aktiftir, kanal erişimi ve veri iletimi için güç tasarrufu yapılmaz. IEEE 802.15.4 kılavuz etkinleştirilmiş yöntem, kanal yoğunluğunu olumsuz etkilemiyorsa, yıldız topolojisindeki tek atlamalı senaryolar için uygundur (Anastasi ve ark., 2009).

Kablosuz algılayıcı ağ uygulamalarında, güç tüketimi ile birlikte gecikme süresi ve adaletlilik gibi parametrelere özel önem verilmektedir. Ancak iletişim için gereken spektral verim, kullanılan algılayıcı modeline göre tespit edilir. İletişim protokolü, gerekli kalite standartlarını karşılayacak şekilde tasarlanmıştır. Fiziksel ve MAC katmanlarını tanımlayan IEEE 802.15.4 standardı, kablosuz algılayıcı ağlarında sınırlı sayıda uygulamada kullanılmıştır. Literatürde güç verimliliğini yükseltmek amacıyla fiziksel ve MAC katmanları ile diğer katmanlar üzerinde birçok çalışma bulunmaktadır. Çalışmaların çoğu kablosuz algılayıcı ağlarında MAC protokol tasarımı odaklanmıştır (Soy, 2013).

#### **1.1.4. MAC protokolü tasarımı**

Kablosuz algılayıcı ağlar, altyapı tabanlı ağlara kıyasla sınırlı kaynaklara sahip olduğundan, kablosuz algılayıcı ağlarda etkin bir MAC protokolü en önemli gereksinimdir. MAC protokolü, bir ağdaki düğümlerin kanal erişimini ve paket iletimlerini kontrol eder. Algılayıcı ağları için bir MAC protokolü tasarlamak, ağın değişken doğası ve uygulamanın zorluğu nedeniyle kolay olmayabilir. MAC protokolünün temel tasarım gereksinimleri, güç verimliliği, etkin ağ kontrolü ve yönetimidir. Kablosuz algılayıcı ağların sınırlı bir güç ünitesine sahip olması nedeniyle MAC protokol tasarımı güç verimliliğinin artırılması önemlidir (Al Ameen ve ark., 2010; Mendes ve Rodrigues, 2010).

Sınırlı donanım yapısı, kablosuz kanalın korumasız doğası ve kendi kendini yapılandıran ağ nedeniyle, geleneksel kablosuz ağlara kıyasla kablosuz algılayıcı ağlarında bir MAC protokolü tasarlamak zordur (Yigitel ve ark., 2011). Güç verimliliğini artırmak için tasarlanmış MAC protokolü; gecikme, iletişim kapasitesi, paket kaybı oranı, bağlantı güvenilirliği ve adaletlilik gibi parametreler açısından gerekli yetkinliği sağlayamaz. Dolayısıyla MAC protokol tasarımı parametreler arasında ters orantılı bir kayıp/kazanç vardır (Langendoen, 2008; Zogovic ve ark., 2009).

Algılayıcı düğümlerinin aşırı güç tüketimini önlemek için tasarlanan MAC protokolünde, haberleşme birimindeki iletişimin en aza indirilmesi ve hesaplama birimindeki işlemlerin azaltılması amaçlanmaktadır (Demirkol ve ark., 2006). Hesaplama biriminin karmaşıklığını azaltarak, güç tüketimi ve donanım masrafları büyük ölçüde azaltılır (Yao ve Giannakis, 2005). Literatürde kablosuz algılayıcı ağlarında enerji verimliliğini artırmak için birçok MAC protokolü geliştirilmiştir (Naik ve Sivalingam, 2004; Demirkol ve ark., 2006; Kredo II ve Mohapatra, 2007; Langendoen, 2008; Wang ve ark., 2008). Geliştirilen MAC protokolleri zamanlama tabanlı ve rekabetçi olmak üzere iki grupta incelenmektedir. (Ye ve Heidemann, 2004).

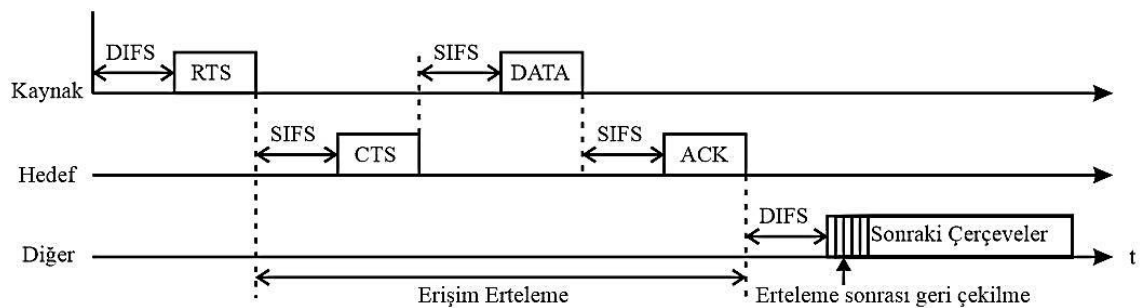
Zamanlama tabanlı MAC protokollerinde zaman boyutu çerçevelere ayrılır. TDMA tekniği ile çerçeveler belirli zaman dilimlerine bölünerek bir zamanlama planı oluşturulur. Her bir algılayıcı düğüm, tahsis edilen zaman dilimlerinde paketleri gönderir, Bu, iletimlerin herhangi bir çarpışmaya maruz kalmamasını sağlar. Zamanlama planı ile algılayıcı düğümlerin iletişim kurmaları gerekmeyen görev döngüsü aralıklarının çoğunda uyumalarına izin verilir ve bu da enerji tüketimini azaltır (Rajendran ve ark., 2003). Algılayıcı düğümlerinin aralarındaki uyumluluğa bağlı olarak, zamanlama tabanlı bir MAC protokolü tasarlanabilir. Algılayıcı düğüm sayısı ve ağ topolojisi değişirse uyum bozular, bu nedenle ölçeklenebilirlik ve esneklik elde edilemez. Zamanlama tabanlı MAC protokollerinin dezavantajı, çok sayıda algılayıcı düğümden oluşan büyük ölçekli ağlarda gecikme sürelerinin çok uzun ve kanal kullanım sürelerinin çok kısa olmasıdır (Rajendran ve ark., 2003).

Rekabetçi MAC protokollerinde algılayıcı düğümlerin kanal erişimi rastgele olduğu için, hangi algılayıcı düğümün kanal erişimine izin verileceğini rekabet mekanizması belirler. Düğüm sayısı ve ağ topolojisinin değiştirilmesi, algılayıcı düğümleri arasında uyumluluğa ihtiyaç olmadığı için sorun teşkil etmez. Bu nedenle, rekabetçi MAC protokollerinin ölçeklenebilirlik özellikleri vardır. Çarpışma olasılığı daha düşük olduğundan, özellikle düşük veri trafiğine sahip uygulamalarda, rekabetçi MAC protokolleri daha etkilidir. Rekabetçi MAC protokolleri daha çok topoloji değişiminin hızlı olduğu uygulamalarda tercih edilmektedir (Anastasi ve ark., 2009). Rekabetçi MAC protokollerinin dezavantajı, ağın düşük güç verimliliğidir. Çünkü, kontrol veya veri paketlerinin yük ile çarpışma olasılığı arttığı için paketlerin doğru alımı garanti edilemez (Rajendran ve ark., 2003).

Rekabetçi MAC protokollerinde, algılayıcı düğümlerinin kanal erişimi iki şekilde düzenlenir. Bunlar; ALOHA ve taşıyıcı duyarlı çoklu erişim (carrier sense

multiple access, CSMA) tekniğidir. ALOHA (Abramson, 1970) ve bölünmüş (slotted) ALOHA (Roberts, 1972) protokollerinde algılayıcı düğümler, ileteceği paketi bulunduğu beklemeden anında gönderilir. Bir çarpışma meydana gelirse, paket bir süre sonra tekrar gönderilir (Lin, 2009). CSMA tabanlı MAC protokollerinde, algılayıcı düğümleri paketleri gönderilmeden önce, çerçeveler arası boşluk (inter frame space, IFS) olarak adlandırılan, belirli bir süre boyunca kanalın meşgul olup olmadığını dinler. Kanal meşgul değilse paket gönderilir. Kanal meşgul ise paket iletimini bekletir ve kanalı dinlemeye devam eder (Akyıldız ve Vuran, 2010).

CSMA mekanizmasının ana eksiklerinden biri, kanaldaki paket iletiminin, tespit edilmemiş gizli terminallerin neden olduğu çarpışmalara eğilimli olmasıdır. Gönderilen veri paketi uzunsa, gizli terminal çarpışmalarının olasılığı artar. Bu sorunu çözmek için, gönderim isteği (request to send, RTS), gönderime açık (clear to send, CTS) ve alındı onayı (acknowledge, ACK) sinyalleri kullanılarak bir çarpışmadan sakınmalı CSMA (carrier sense multiple access/collision avoidance, CSMA/CA) mekanizması kurulmuştur. Hemen hemen her kablosuz yerel alan ağı (wireless local area network, WLAN) kartının MAC protokolü olan IEEE 802.11, MAC protokolünün bir parçası olduğu için CSMA/CA mekanizması bu tip sistemlerde oldukça sık kullanılmaktadır. RTS, CTS, ACK ve CSMA tabanlı protokol paketleri gibi çok fazla kontrol paketinin varlığı, gereksiz güç tüketimine neden olur (Akyıldız ve Vuran, 2010; Al Ameen, 2010). Bu tür protokollerin örnekleri MACA (Karn, 1990), S-MAC (Ye ve Heidemann, 2004), B-MAC (Polastre ve ark., 2004), T-MAC (Van Dam ve Langendoen, 2003)'dir (Akyıldız ve Vuran, 2010). CSMA/CA mekanizması Şekil 1.9'da gösterilmiştir.



Şekil 1.9 CSMA/CA mekanizması (Akyıldız ve Vuran, 2010)

MAC protokol tasarımı üzerine yapılan çalışmalar neticesinde, zamanlama tabanlı ve rekabetçi MAC protokollerinin bazı kendine özgü yeteneklerini içeren melez (hybrid) MAC protokolleri geliştirilmiştir. Melez MAC protokolleri, rekabetçi MAC

protokollerinde rasgele kanal erişimi ve rekabet mekanizmasını ve zamanlama tabanlı MAC protokollerinde TDMA tekniğini birleştirerek kanal tahsisindeki ödünleşimlerden yararlanır. Melez MAC protokolleri, veri trafiğine ve topoloji değişikliklerine uyum sağlayarak çarpışmadan kaçınma ve güç tüketimi açısından performans iyileştirmeleri sağlar (Akyıldız ve Vuran, 2010).

Kablosuz algılayıcı ağları için MAC protokolü tasarımı, hata toleransı, ölçeklenebilirlik, gecikme süresi, doğruluk, enerji verimliliği/sistem ömrü ve kurulum maliyeti açısından zorludur. Kablosuz algılayıcı ağların hata toleransı düşüktür. Çünkü beklenen performans ancak her algılayıcı düğümün yardımıyla elde edilebilir. Gücü olmayan algılayıcı düğümlerin ağı terk etmesi ve bu düğümlerin daha sonradan ağa katılması nedeniyle, algılayıcı düğüm sayısı değişir. Tasarlanan MAC protokolü ölçeklenebilirlik sağlamalı ve algılayıcı düğüm sayısındaki değişimden etkilenmeden kullanılmalıdır. İstenen doğruluk, gecikme ve enerji verimliliği arasında bir ödünleşim vardır. Sistem ömrü, ağı istenen bilgileri sağlayamaması gibi uygulama parametreleri ile hesaplanabilir. MAC protokolü tasarımında algılayıcı düğümlerin sınırlı güç kapasitesini verimli bir şekilde kullanmak için etkin güç yönetimi gereklidir. Ayrıca kurulum maliyeti, tasarım aşamasında dikkate alınması gereken etkili bir parametredir (Tilak ve ark., 2002).

Algılayıcı düğümler, uygulamaya bağlı olarak paket iletimini farklı şekillerde gerçekleştirir. Bunlar; periyodik, olay tabanlı ve sorgu tabanlı paket iletimleridir. Periyodik paket iletimi belirli zaman aralıklarında gerçekleşir. Olaya dayalı paket iletimi, önceden tanımlanmış bir olay meydana geldiğinde gerçekleşir. Sorgu tabanlı paket iletimi, kullanıcı tarafından kontrol merkezinden bir sorgu yapıldığında gerçekleşir (Tilak ve ark., 2002).

MAC protokolü tasarımı, kablosuz algılayıcı ağlarda enerji israfını önlemek için başlıca gereksinimlerden biridir. Algılayıcı ağlarda enerji israfının temelinde; boşta dinleme (idle listening), çarpışma (collision), kulak misafiri olma (overhearing), aşırı yayma (over emitting) ve ek sinyal yükü (overhead) vardır. Bir düğümün, paketlerin alınabileceği beklentisiyle boş bir kanalı dinlemesi, aynı anda gönderilen paketlerin çarpışması ile paketi yeniden göndermesi, kendisine ait olmayan paketleri dinlemesi ve alıcının hazır olmadığı durumda paketi yeniden göndermesi nedeniyle, büyük enerji israfı meydana gelmektedir. Ayrıca RTS, CTS, ACK gibi çok sayıda kontrol paketinin bulunması gereksiz enerji tüketimine neden olmaktadır. Paketlerin yeniden iletilmesi,

enerji tüketimini artırarak, gecikmeyi ve spektral verimliliği olumsuz etkiler (Sichitiu, 2004; Al Ameen ve ark., 2010).

Algılayıcı ağların gerçekçi uygulamalarında, kablosuz kanal üzerindeki bozucu etkenler (sönümlenme ve gürültü) nedeniyle, algılayıcı düğümün paket iletimi başarısız olabilir. Paket iletimi kanalın durumuna göre gecikeceği için; uzun gecikme süreleri oluşabilir, spektral verimlilik düşer ve enerji israfı meydana gelir. Bu nedenle, kablosuz algılayıcı ağlarda MAC protokolü tasarlanırken; spektral verimlilik ve enerji verimliliği arasında bir kayıp/kazanç ilişkisi göz önünde bulundurulmalıdır. MAC protokolü tasarımında, kanal duruma göre kanal erişimine izin verilirken spektral verimlilik ile enerji verimliliği arasında bir uyum sağlanmalıdır. Nitekim protokol yığını katmanlar arası tasarım ile optimize etmek düşünülebilir (Soy, 2013).

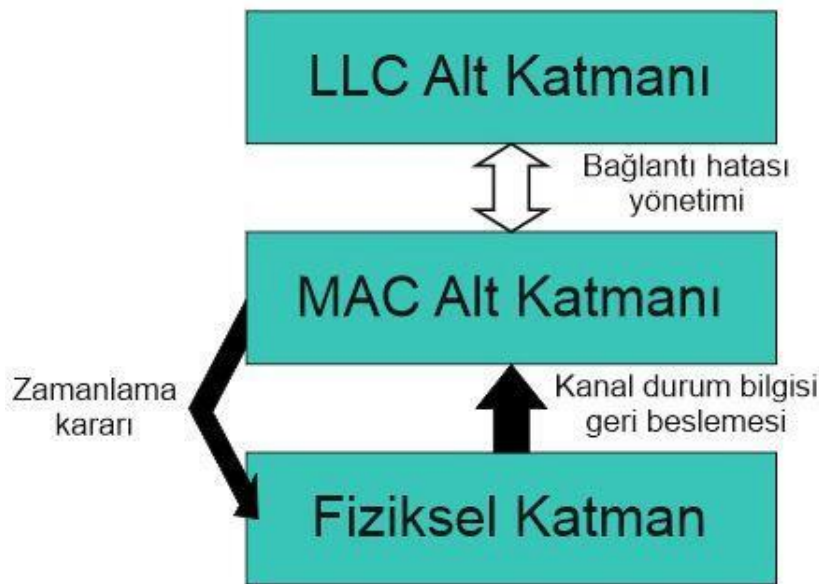
### **1.1.5. Katmanlar arası tasarım ve optimizasyon**

Geleneksel kablolu ağlarda, fiziksel katman, MAC katmanı ve üst katmanlar, iletişim protokolü tasarımını ve ağ bakımını kolaylaştıran bir yaklaşım olan katmanlı (layered) mimariyle birbirinden bağımsız olarak tasarlanır. Bu yaklaşımın kablosuz ağlarda benimsenmesi, kablosuz ağların doğası gereği katmanlar arasında güçlü bir uyum gerektirdiğinden istenilen verimliliği sağlayamaz (Yu ve Giannakis, 2006). Ancak kablosuz algılayıcı ağ kaynaklarının kısıtlı olması, protokol tasarımının zorlaşması nedeniyle, sistem kalitesini iyileştirmek için katmanlar arasında eşzamanlılık kullanmak büyük önem taşımaktadır (Yu ve Giannakis, 2006; Zhou ve ark., 2010). Bu gereksinimleri ve ortaya çıkan sorunları çözmek için farklı katmanlar arasındaki bağlantılar ortaya çıkarılmış ve sistem tasarımında yeni bir mimari olarak katmanlar arası (cross layer) tasarım yapılmıştır (Shakkottai ve ark., 2003; Berry ve Yeh, 2004). Katmanlar arası tasarım, performans kazanımları elde etmek için protokol katmanları arasındaki bağımlılıktan etkin bir şekilde yararlanan, bir iletişim protokolü tasarım yöntemidir. Bu yöntem ile protokol yığınındaki katmanlar arasında bilgi alışverişi ve işbirliği yapılarak, protokol tasarımında birden fazla katmanın bir arada optimize edilmesiyle, performans artışı elde edilir (Srivastava ve Motani, 2005).

Kablosuz algılayıcı ağlarda, protokol yığınındaki her katman; enerji verimliliği, gecikme, spektral verimlilik gibi etkin hizmet kalitesi kriterleri açısından sistem performansını etkiler. Birincil sorun, hangi parametrelerin kriterlere göre katmanlar arasında paylaşarak optimize edileceğidir. Goldsmith ve Wicker (2002), enerji kısıtlı

ağlarda istenen hizmet kalitesini karşılamak için katmanlar arası tasarımın kullanımını incelemiştir. Katmanlar arası tasarım kullanarak kablosuz algılayıcı ağlarında güç tüketimini azaltmak (Kulkarni ve ark., 2006), etkin yönlendirme sağlamak (Choi ve ark., 2005) ve ideal bir zamanlama planı oluşturmak (Cui ve ark., 2007; Shu ve Krunz, 2009) mümkündür. Algılayıcı düğümler tarafından elde edilen veriler çıkış düğümüne iletilirken, protokol yığınındaki tüm katmanlar bit başına güç tüketimini etkilediğinden katmanlar arasında ortak tasarım gerektirir. Özellikle fiziksel, MAC ve ağ katmanları, güç tüketimini en aza indirmek ve hizmet kalitesini artırmak için, birlikte optimize edilir (Melodia ve ark., 2006; Cui ve ark., 2007).

Kablosuz algılayıcı ağlarda katmanlar arası tasarım yapılırken, ağ verimliliğini en üst düzeye çıkarmak için yönlendirme, güç kontrolü ve zamanlama gibi yöntemlerden biri tercih edilir (Cui ve ark., 2007). Zamanlayıcının çalıştığı MAC katmanında fiziksel katmandan erişilen kanal durum bilgisini kullanarak çok kullanıcı çeşitlemesinden yararlanmak, katmanlar arası veri alışverişinin önemli uygulamalarından biridir (Qin ve Berry, 2003; Jeon ve ark., 2010). Bu şekilde, fiziksel ve MAC katmanları birlikte optimize edilerek, düzenlenen fırsatçı zamanlama planı ile spektral verimlilik artırılabilir (Dinic ve ark., 2004; Adireddy ve Tong, 2005). Güç kontrolü, fırsatçı zamanlama planı ile birlikte yapıldığında, algılayıcı düğümlerinin güç tüketimini azaltmak mümkündür (ElBatt ve Ephremides, 2004; Cui ve ark., 2007). Katmanlar arası tasarımla fırsatçı zamanlama planı Şekil 1.10'da gösterilmiştir.



Şekil 1.10 Katmanlar arası tasarımla fırsatçı zamanlama planı

Katmanlar arası optimizasyon planında, haberleşme biriminde tüketilen güç dikkate alınırken, çoğunlukla donanımsal güç tüketimi göz ardı edilir. Bu, çok atlamalı iletişim için uygun olmasa da, tek atlamalı iletişim durumunda geçerlidir. Tek atlamalı iletişimde, uzun menzilli paket iletim gücü, devre işlem gücünden daha ağır basacaktır. Ancak algılayıcı ağlarda, devre işlem gücü, iletim gücüyle kıyaslanabilir. Bu nedenle iletim gücü ve devre işlem gücü birlikte düşünülmelidir ve katmanlar arası tasarımda kullanılması faydalı çıktılar verir (Cui ve ark., 2007).

## **1.2. Kablosuz Algılayıcı Ağları ile Modern Tarım Çalışmaları**

Kablosuz algılayıcı ağ, fiziksel ortam parametrelerini algılamak ve iletmek için kullanışlı bir sistemdir. Verimli tarım için; toprak nemi, toprak sıcaklığı, toprağın elektriksel iletkenliği ve dış ortam parametrelerinin izlenmesi ve kontrol edilmesi önemlidir. Bu nedenle kablosuz algılayıcı ağlar; tarımsal sulama, örtü altı yetiştiriciliği, arıcılık, bitki koruma gibi uygulamalarda tercih edilmektedir. Birçok araştırmacının kablosuz algılayıcı ağların tarımda kullanımına yönelik çalışmaları bulunmaktadır (Yoo ve ark., 2007; Li ve ark., 2008; Xiong ve ark., 2009; De Lima ve ark., 2010; Jiber ve ark., 2011; Keshtgari ve Deljoo, 2012; Dilay ve ark., 2012; Soy ve ark., 2013a; Soy ve ark., 2013b; Roham ve ark., 2015; Edwards-Murphy ve ark., 2016; Gondchawar ve Kawitkar, 2016; Kassim ve Harun, 2016; Soy ve ark., 2016; Bapat ve ark., 2017; Gia ve ark., 2019; Hasan ve ark., 2019; Boursianis ve ark., 2020; Pandiyaraju ve ark., 2020; Popescu ve ark., 2020).

### **1.2.1. Kablosuz algılayıcı ağlarına dayalı tarımsal sulama**

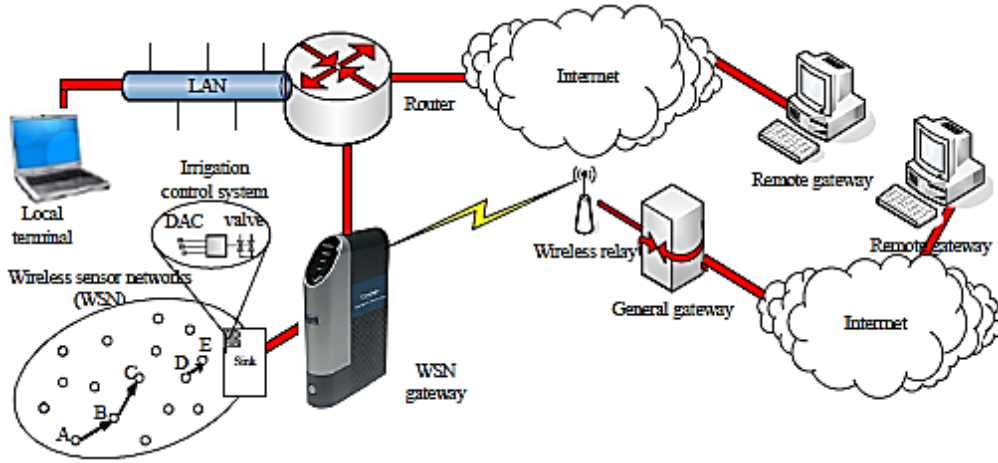
Dünya genelinde su tüketiminin artması ve iklimin bozulması, su kıtlığını da beraberinde getirmiştir. Tarımda bilinçsiz sulama ve bitkinin su ihtiyacının öngörülememesi hem su israfına hem de verim kayıplarına neden olmaktadır. Su kaynaklarının israfını önlemek ve verimli üretim sağlamak için, bitkinin su ihtiyacının bilinmesine dayalı olarak teknolojik ve yenilikçi çalışmalar geliştirilmiştir. Kablosuz algılayıcı ağların tarımsal sulamada kullanılması fikri, birçok araştırmacı tarafından önerilmiştir (Xiong ve ark., 2009; De Lima ve ark., 2010; Soy ve ark., 2013a; Soy ve ark., 2013b; Soy ve ark., 2016). Kablosuz algılayıcılar ile periyodik olarak toprak ve

bitki verileri izlenerek, sulama sistemleri geliştirilerek, gereksiz su tüketimi önenebilir ve verimli ürün elde edilebilir.

Xiong ve ark. (2009) tarafından bitki su stresini önlemek için, akustik emisyon ilkesine dayalı kablosuz algılayıcı ağı teknolojisi kullanılarak, hassas bir sulama sistemi geliştirilmiştir. Sistem algılayıcı düğüm ve ağ geçidinden oluşmaktadır. Düğüm; IEEE 802.15.4/ZigBee standartlarına uygun, RF alıcı/vericiye sahip, MicaZ kartı ve birçok algılayıcıyı (ses, ışık, sıcaklık ve iki eksenli manyetometre vb.) barındıran, MTS310CB algılayıcı kartından oluşan bir cihazdır. Örnek bir MicaZ algılayıcı düğümü Şekil 1.11’de gösterilmiştir. Ağ geçidi; bir Ethernet arabirimi ve iki USB 2.0 bağlantısı içeren Crossbow’un NB100 cihazıdır. Algılayıcı düğümler, kendi kendini organize etme modunda kablosuz ağ oluşturmaktadır. Algılayıcı düğümler, çalışma alanındaki bitkinin akustik emisyon sinyalini alır ve işler. Düğümler, kümelmiş ağaç topolojisine dayalı çok atlamalı iletişim mekanizması kullanarak çıkış düğümüne veri gönderir. Çıkış düğümüne bağlı ağ geçidi, verileri internet üzerinden uzak terminale gönderir. Veriler, uzaktan kumanda merkezindeki sistemler tarafından merkezi olarak işlenir. Sulama sisteminin nasıl çalışacağına ilişkin ayarlar için kablosuz algılayıcı ağlarındaki düğümlere aksiyon komutları gönderilebilmektedir. Tarımsal sulama uygulamasında kablosuz algılayıcı ağ mimarisi Şekil 1.12’de gösterilmiştir. Bu sistem yapısı güçlü, kullanımını kolay, yapılandırılabilir ve genişletilebilirdir (Xiong ve ark., 2009).

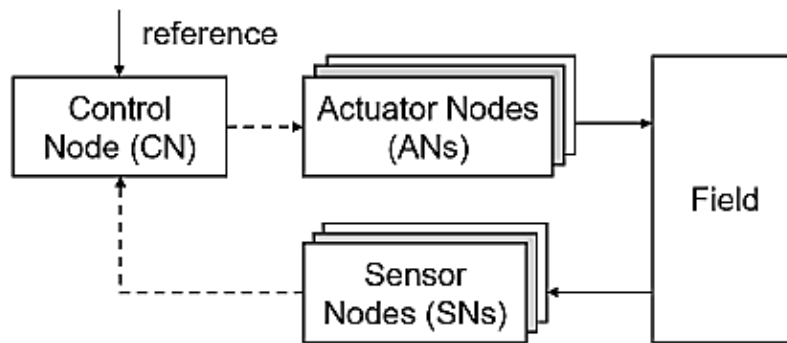


**Şekil 1.11** Crossbow firması tarafından üretilen MicaZ algılayıcı düğümü (Soy, 2013)



Şekil 1.12 Tarımsal sulama uygulamasında kablosuz algılayıcı ağ mimarisi (Xiong ve ark., 2009)

Soy ve ark. (2016), kablosuz algılayıcı ve eyleyici ağ tabanlı bir sulama kontrol sistemi önermişlerdir. Sistem; algılayıcı düğümler, eyleyici düğümler ve kontrol düğümlerinden oluşmaktadır. Algılayıcı düğüm; Arduino Nano, nRF20L01+ 2,4 GHz bandında düşük güçlü alıcı/verici kartı ve kapasitif toprak nem algılayıcısından oluşan bir cihazdır. Kontrol düğümü; Arduino Nano, nRF24L01+ 2,4 GHz bandında düşük güçlü alıcı/verici kartı ve TFT LCD ekrandan oluşan bir cihazdır. Eyleyici düğüm; Arduino Nano, nRF24L01+ 2,4 GHz bandında düşük güçlü alıcı/verici kartı ve sürücü devresine bağlı bir solenoid vanadan oluşan bir cihazdır. Algılayıcı düğümler, çalışma alanındaki bilgileri toplar ve kontrol düğümlerine gönderir. Yarı otomatik olarak kurulan kontrol düğümü, su planlama kararlarını verir. Kontrol düğümleri, alınan bilgileri istenen değerlerle karşılaştırır. Karşılaştırma sonucunda düzenleme yapılması gerekiyorsa, eyleyici düğümlere komut sinyalleri gönderir. Eyleyici düğümleri eyleyicileri istenen düzeyde çalıştırır ve sulama gerçekleştirilir. Önerilen kontrol sisteminin yapısı Şekil 1.13'te gösterilmiştir. Damla sulama ve yağmurlama sulamada kullanılabilir bir sistemdir (Soy ve ark., 2016).

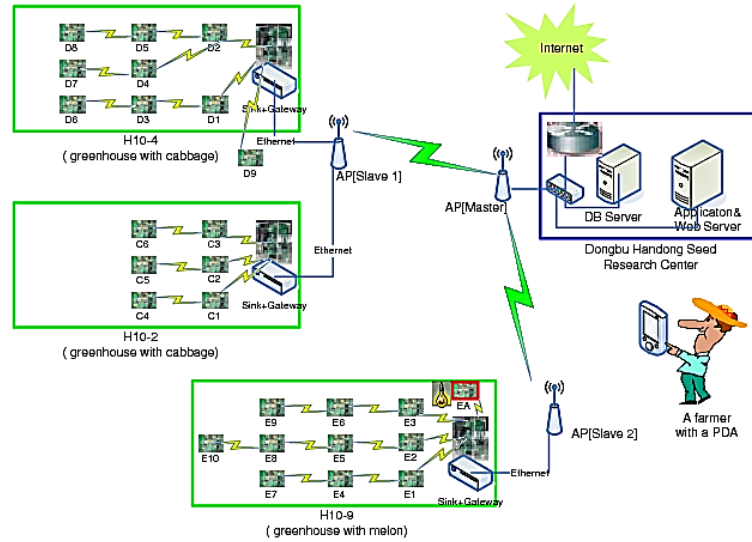


Şekil 1.13 Önerilen kontrol sisteminin yapısı (Soy ve ark., 2016)

### 1.2.2. Kablosuz algılayıcı ağlarına dayalı sera uygulamaları

Sera, ürünün hızlı bir şekilde yetiştirilmesi için gerekli ekosistemin insan eliyle uygulanması olarak tanımlanabilir. Günümüzde insan nüfusunun hızla artması ile birlikte tarımsal üretime olan ihtiyaç da artmıştır. Bu nedenle daha verimli seracılık için çalışmaların yapılmasına gerek duyulmuştur. Gelişmiş teknolojik imkânlar sayesinde yenilikçi çözümler kullanılabilir hale gelmiştir. Seralarda kablosuz algılayıcı ağların uygulanması fikri birçok araştırmacı tarafından öne sürülmüştür (Yoo ve ark., 2007; Li ve ark., 2008; Roham ve ark., 2015; Kassim ve Harun, 2016). Seralarda kablosuz algılayıcı ağlarının kullanılması ile gübreleme, sulama, izleme ve ilaçlama gibi faaliyetler daha verimli ve daha az maliyetli hale gelmektedir.

Yoo ve ark. (2017) tarafından bir seraya yerleştirilmek ve seranın çevresel parametrelerini algılamak için bir tarımsal algılayıcı düğümü geliştirilmiştir. Düğüm; 8 bit MCU, IEEE 802.15.4 standardına uygun 2,4 GHz bandında alıcı/verici, karmaşık programlanabilir mantık cihazı (complex programmable logic device, CPLD), ortam algılayıcıları (ışık, nem ve sıcaklık), lityum iyon pil ve nemden etkilenmemesi için uygulanan koruyucu boya ile donatılmış bir cihazdır. Uygulamada 25 algılayıcı düğümü, 1 eyleyici düğümü ve 3 çıkış düğümünden oluşan bir algılayıcı ağ tasarlanmıştır. Ağdaki algılayıcılar aktif bir dönem içerisinde seranın sıcaklık, nem ve parlaklık bilgilerini okur ve algılayıcı düğümleri aracılığıyla çıkış düğümlerine aktarır. Düğümler iletecek paketleri varsa, önce kanalın durumunu dinler ve kanal boşsa paketleri gönderir. Paketleri alacak düğümden herhangi bir onay yoksa MAC katmanı paketleri üç defaya kadar yeniden gönderir. Algılayıcı düğümler, aktif dönemleri dışında algılayıcıları kapatır ve alıcı/verici birimleri uyku moduna geçirir. Verileri çıkış düğümlerinden RS232 seri bağlantı yoluyla sunucuya yönlendirmek için 3 adet bilgisayar tabanlı ağ geçidi (gateway) vardır. Kablosuz algılayıcı ağları ve yönetim birimi arasındaki iletişim, yönlü antenlere sahip WLAN erişim noktaları (access point, AP) tarafından sağlanmaktadır. Yönetim birimi bir web sunucusunu barındırmaktadır ve kablosuz algılayıcı ağları, taşınabilir el cihazları (personal data assistant, PDA) ile kolayca yönetilmektedir. Algılayıcı sisteminin yapısı Şekil 1.14'te gösterilmiştir (Yoo ve ark., 2007).

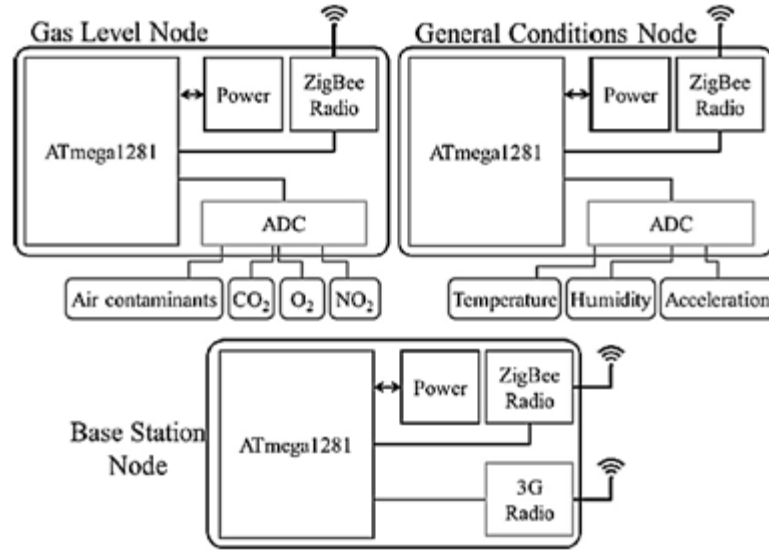


Şekil 1.14 Algılayıcı sisteminin yapısı (Yoo ve ark., 2007)

### 1.2.3. Kablosuz algılayıcı ağlarına dayalı arıcılık

Dünyadaki bal arısı nüfusunun korunması ve verimli arıcılık, araştırmacılar için önemli bir konudur. Kovan koşulları, arıların davranışları gibi parametrelerin takip edilmesi ve biyolojik analizlerin yapılması gerekmektedir. Bu tür bir çalışma için kablosuz algılayıcı ağı fikri pratikte erişilebilirlik açısından oldukça uygun olacaktır.

Edwards-Murphy ve ark. (2016), kovan koşullarını incelemek için kablosuz algılayıcı ağ tabanlı bir sistem tasarlamışlardır. Sistem, gaz algılama düğümü ve ortam koşulları düğümü olmak üzere iki tür algılayıcı düğümden oluşmaktadır. Ayrıca bir baz istasyonu düğümü bulunmaktadır. Gaz algılama düğümü, ATmega1281, ZigBee protokolü, TGS4161, MiCS-2710, TGS2600, TGS2602, dönüştürücü ve güç biriminden oluşan ve kovadaki çeşitli gazların yoğunluğunu ölçen bir cihazdır. Ortam koşulları düğümü, ATmega1281, ZigBee protokolü, MCP9700A, 808H5V5, LIS331DLH, dönüştürücü ve güç biriminden oluşan ve nem, sıcaklık gibi diğer değerleri ölçen bir cihazdır. Baz istasyonu düğümü; ATmega1281, ZigBee protokolü, 3G ve güç biriminden oluşan bir cihazdır. Düğümlerin mimarisi Şekil 1.15'te gösterilmiştir. Kovana yerleştirilen gaz algılama ve ortam koşulları düğümleri, algılayıcılardan aldıkları verileri işler. Alınan veriler baz istasyonu düğümüne gönderilir. Baz istasyonu düğümünde bulunan 3G radyo tarafından bir sunucuya iletilir. Bu sayede nesnelerin interneti (internet of things, IoT) özellikli bir uygulama sağlanır. Elde edilen verilerle yapılan analizler, arı popülasyonunun korunmasına ve verimli arıcılık yapılmasına katkı sağlamaktadır (Edwards-Murphy ve ark., 2016).

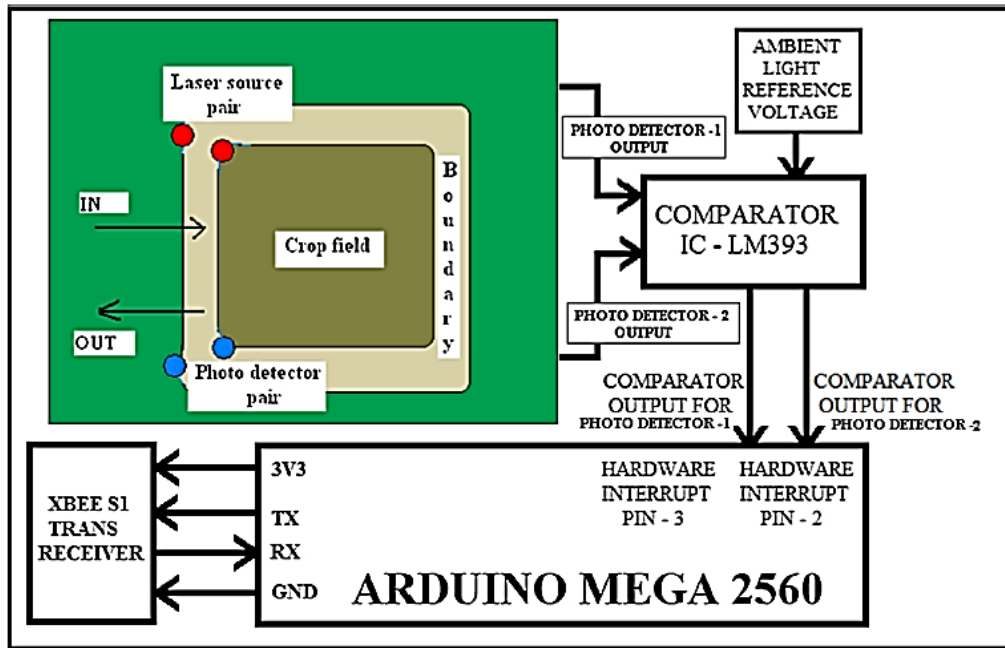


Şekil 1.15 Düğümlerin mimarisi (Edwards-Murphy ve ark., 2016)

#### 1.2.4. Kablosuz algılayıcı ağlarına dayalı bitki koruma

Tarım alanlarında hayvan saldırıları ve izinsiz girişler nedeniyle bitkiler zarar görmektedir. Hasar sonucunda ürünün verimi düşmekte ve çiftçinin emeği boşa gitmektedir. İnsanlar izinsiz girişleri önlemek için tarlalarına korkuluk koysalar bile hayvanları uzak tutmak yeterli değildir. Bunun için ekinlere zarar vermeden davetsiz misafirleri zamanında ve etkili bir şekilde uzaklaştırmak gerekir. Çözüm olarak kablosuz algılayıcı ağların kullanımı, çeşitli caydırıcılar ve uzaktan kolay erişim ile hayvanlara zarar vermeden gerçekleştirilebilir.

Bapat ve ark. (2017), çalışma sahasına izinsiz girişleri engellemek için algılayıcı ve eyleyici düğümlerden oluşan kablosuz algılayıcı ağ tabanlı bir sistem tasarlamışlardır. Algılayıcı düğümler, lazer destekli bir çevre algılayıcısıyla bütünleştirilmiştir. Bu algılayıcı düğümler, korunacak alanın sınır köşelerine yerleştirilmiştir. Baz istasyonu düğümü tarlanın merkezinde bulunur. İzinsiz girişleri not eder ve giriş bölgesindeki düğümleri etkinleştirir. Bölgedeki düğümler, izinsiz girişin yerini, zamanını ve yakınlığını tespit etmek için algılayıcılarla donatılmıştır. Eyleyici düğümler, baz istasyonu tarafından uyarıldığında, izinsiz giriş tarlanın dışında tutmak için flaşörleri ve ses cihazlarını etkinleştirir. İzinsiz giriş sınır seviyesini geçerse, sistem düğümlerindeki pasif kızılötesi algılayıcıları (passive infrared sensor, PIR) yerlerini belirler ve kovucu cihazları aktif hale getirilir. Güvenli alandaki tüm düğümler, izinsiz giriş tampon bölgeye yönlendirildikten sonra uyku moduna geçirilir. İzinsiz giriş tespit mekanizması Şekil 1.16'da gösterilmiştir (Bapat ve ark., 2017).



Şekil 1.16 İzinsiz giriş tespit mekanizması (Bapat ve ark., 2017)

### 1.3. Sulama Seviyesine göre Yetiştiricilik

Sulamada genel uygulama, sulama süresi belirlendikten sonra kök bölgesi su içeriğinin tarla kapasitesine ulaşmaya kadar ıslatılmasıdır. Sulama, bitkilerin normal gelişmeleri için ihtiyaç duydukları ve doğal yağışlarla karşılanamayan, toprağa ve bitki kök bölgesine zamanında ve yeterli miktarda su verilmesidir (Güngör ve ark., 2002). Sulamanın temel amacı, verim azalmasına veya düşük kaliteli ürün üretimine yol açabilecek su stresini ortadan kaldırmak için bitkiye yeterli suyu sağlamaktır. Sulama süresi ve uygulanacak su miktarı; bitki tipine ve toprağa göre belirlenen iklim şartlarına, bitkinin gelişme dönemine, toprağın su tutma kapasitesine ve bitki kök derinliğine bağlıdır (Kanber, 1999).

Bitki yetiştiriciliğinde, farklı sulama düzeyleri ve çeşitli yöntemler kullanılarak bitkinin gelişiminde ve veriminde meydana gelen değişimler gözlemlenmeye çalışılmıştır. Bu yöntemler arasında; topraktaki nem açığına göre sulama, belirli oranlarda kısıntılı sulama, buharlaşma kabı buharlaşma yüzdesine göre sulama, malç uygulamaları ile sulama ve toprak altı sulama gibi yöntemler bulunmaktadır. Bu başlık altında salatalık (*cucumis sativus*) bitkisi üzerinde bu yöntemlerin kullanıldığı çalışmalardan bahsedilmiştir.

Cemek ve ark. (2005) tarafından 2002 – 2003 yıllarında sera ortamında farklı sulama seviyelerinde ve nem açığına göre sulama yapılarak gerçekleştirilen çalışmada,

sulama suyu ve bitki su tüketiminin salatalık bitkisinin gelişimine ciddi etkileri olduğu gözlemlenmiştir. Günde bir kez olacak şekilde standart A-sınıfı buharlaşma kabı kullanılarak buharlaşma miktarı 0,60, 0,80, 1,00, 1,20 olmak üzere dört farklı seviyede sulama ve nem açığına göre sulama uygulanmıştır. En yüksek verim nem açığına göre sulamada elde edilmiştir. Nem açığına göre sulama yöntemi en fazla su tüketen ikinci yöntem olmuştur. Ayrıca salatalık bitkisinin verimi ile kullanılan su miktarını arasında ikinci derecen polinomial ilişki bulunmuştur.

Kaman ve ark. (2017) tarafından yapılan çalışmada, sera ortamında sulama suyu seviyesindeki kısıntı düzeylerinin salatalık bitkisinin gelişimine etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Konvansiyonel tam sulama ve altı farklı sınırlı sulama yöntemi uygulanmıştır: % 25, % 50 kısıntılı, % 25, % 50 yarı kısıntılı, % 25, % 50 tek yön kısıntılı sulama. En yüksek verim geleneksel tam sulama yönteminde elde edilmiştir. Toprak nem düzeyini tarla kapasitesine en yakın tutan yöntemin geleneksel tam sulama yöntemi olduğu görülmüştür. Ayrıca kısıntılı sulama yapılan bitkilerde susuzluk stresi görülmüştür.

Bozkurt ve Saylıkan Mansuroğlu (2017) tarafından sera ortamında farklı sulama seviyeleri ve farklı lateral derinlik uygulamaları yapılarak gerçekleştirilen çalışmada, farklı derinlik ve sulama seviyelerinin salatalık bitkisinin gelişimine etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Standart A-sınıfı buharlaşma kabı kullanılarak buharlaşma miktarı 0,20; 0,40; 0,60; 0,80; 1,00; 1,20 olmak üzere altı farklı seviyede sulama ve 0; 10; 20 cm olmak üzere üç farklı lateralde sulama yapılmıştır. En yüksek verim buharlaşma miktarı 0,80 ve 10 cm lateral derinlik uygulamasında elde edilmiştir. Sera yetiştiriciliğinde geçerli derinliklerde yeraltı sulama uygulamalarının yapılabileceği görülmüştür.

Karaca Bilgen ve ark. (2018) tarafından 2015 – 2016 yılları arasında farklı sulama düzeyleri ve malç uygulamaları ile yapılan çalışmada, farklı sulama ve malç uygulamalarının salatalık bitkisinin verimine etkilerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Malç, topraktaki nemin buharlaşmasını önlemek amaçlı kullanılan organik veya inorganik malzemelerdir. Kısıntsız, % 25 kısıntılı, % 50 kısıntılı olmak üzere üç farklı seviyede sulama ve malçsız, buğday sapı, agro tekstil olmak üzere üç farklı malç uygulaması yapılmıştır. En yüksek verim agro tekstil malç ile % 25 kısıntılı sulama yönteminde elde edilmiştir. Ayrıca malç uygulamalarının toprak neminin buharlaşmasını önleyerek bitkinin susuzluk stresinden daha az etkilenmesini sağladığı gözlemlenmiştir.

Söylemez ve ark. (2020) tarafından 2016 yılında perlit ve kokopit (cocopeat) ortamlarında farklı sulama seviyelerinde ve waterpad (su tutucu) kullanılarak yapılan çalışmada, bu uygulamaların salatalık bitkisinin gelişimi ve verimi üzerine etkilerinin anlaşılması amaçlanmıştır. Perlit, su tutma kapasitesi yüksek beyaz volkanik bir kayadır. Kokopit, Hindistan cevizi kabuğundan elde edilen toprak yerine kullanılan, su tutma kapasitesi yüksek bir malzemedir. Waterpad, saksıların dibine yerleştirilen polimerlerden oluşan bir üründür. İki farklı ortamda ve % 25 fazla, kısıtsız, % 25 kısıntılı olmak üzere üç farklı seviyede sulama gerçekleştirilmiştir. Sulama miktarları verilen suyun % 25'i drene olacak şekilde belirlenmiştir. Perlit ve kokopit ortamlarında en yüksek verim waterpad kullanılarak % 25 fazla sulama seviyesinde elde edilmiştir. Kokopit ortamında yapılan uygulamaların perlit ortamındaki uygulamalara göre daha verimli sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

#### **1.4. Makine Öğrenmesi Teknikleri**

Yapay zekânın kapsamlı bir alt alanı olan makine öğrenmesi, yapılan işi öğrenmesi ve bir sonraki eylemi daha verimli gerçekleştirme için sistemi modelleyen bilgisayar algoritmaları olarak adlandırılır. Makine öğrenimi, istatistiksel tekniklerle verilerden öngörüler elde ettiği için doğrudan istatistik ve veri madenciliği ile ilgilidir (Ardıl, 2009).

Uygulamalarda makine öğrenmesinden sıklıkla yararlandığı için birçok tahmin ve sınıflandırma yöntemi ve algoritması önerilmektedir. Tahmin algoritmaları, verilerden öngörüler elde edilen modellerde sistem çıktısının sayısal olduğu durumlarda kullanılan yöntemlerdir. Sınıflandırma algoritmaları, girdi verilerinin çıktıları sayısal olmadığında kullanılan ve her bir veri örneğinin hangi kategoriye dâhil olduğunu belirleyen yöntemlerdir (Durğun, 2018).

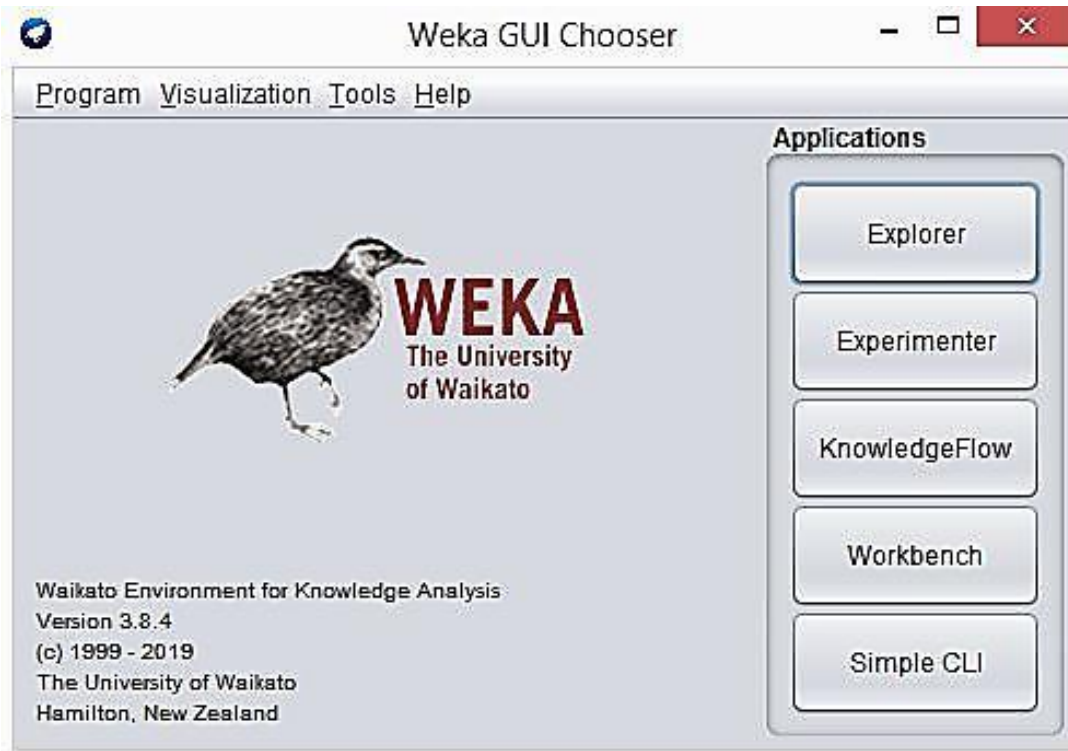
Zaman içinde hızla gelişen bilgi teknolojileri, telekomünikasyon ve veri toplama mekanizmaları geniş ölçekli veri kaynakları oluşturmuştur. Daha sonra bu gelişme çeşitli sorunlara neden olmuş ve bu veri kaynaklarından faydalı ve anlamlı veriler elde etme ihtiyacı doğurmuştur. Veri madenciliği, bu geniş çaplı veri kaynaklarından faydalı ve anlamlı verilerin edinilmesi işidir (Özkan, 2008).

Veri madenciliği yazılımlarından bazıları ticari olmakla birlikte KEEL, KNIME, ORANGE, R ve RAPIDMINER (YALE) gibi açık kaynak kodlu yazılımlar da mevcuttur (Kaya,2014).

## 1.5. WEKA Programı

WEKA (The Waikato Environment for Knowledge Analysis), Yeni Zelanda Waikato Üniversitesi'nin geliştirilen Genel Kamu Lisansı içerisinde açık kaynak kodlu bir makine öğrenmesi yazılımıdır. Program, yalnızca Yeni Zelanda'da yaşayan WEKA kuşunun adını almıştır. WEKA, veri madenciliği gereksinimleri için çeşitli algoritmalar içerir (veri hazırlama, sınıflandırma, regresyon, kümeleme, birliktelik kuralları madenciliği, görselleştirme vb.). Ayrıca WEKA'da kullanıcı kendi Java kodu ile algoritmalar oluşturabilir, veri setlerini işleyebilir ve sonuçları analiz edebilir (<https://www.cs.waikato.ac.nz/ml/weka/>).

WEKA programının giriş ara yüzü Şekil 1.17'de gösterilmiştir. *Applications* çerçevesi *Explorer*, *Experimenter*, *Knowledge Flow*, *Workbench* ve *Simple CLI* uygulamalarını içerir (Özkan ve ark., 2019).

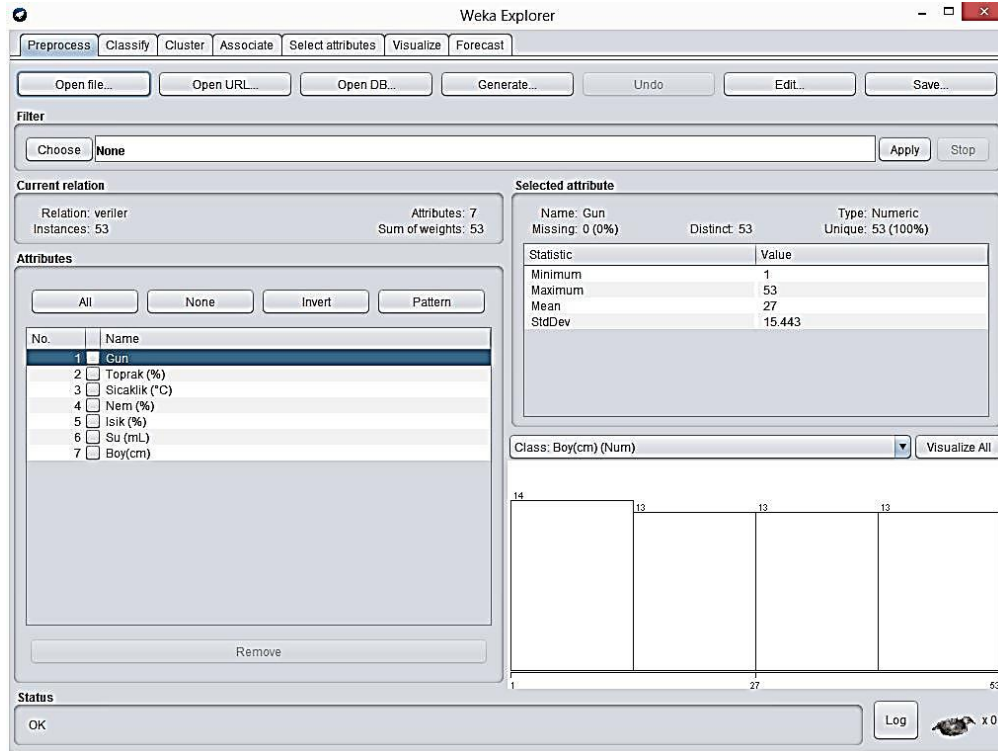


Şekil 1.17 WEKA programı giriş ara yüzü

*Explorer*, ön işleme ve çeşitli veri madenciliği uygulamalarının yapıldığı ara yüzüdür. *Experimenter*, bir veri seti üzerinde çeşitli algoritmaları denemek ve hangisinin daha iyi sonuç elde edildiğini öğrenmek için kullanılan ara yüzüdür. *Knowledge Flow*, sürükle ve bırak mekanizması ile veri akış diyagramı oluşturarak veri madenciliği

algoritmalarının uygulandığı bir ara yüzdür. *Simple CLI*, Java kodları yazılarak veri madenciliği uygulamalarının gerçekleştirilebildiği bir konsol ara yüzdür (İşler ve Narin, 2012).

Çalışmada *Explorer* uygulaması kullanılmıştır. *Explorer* ara yüzünde; *preprocess* (ön işleme), *classify* (sınıflandırma), *cluster* (kümeleme), *associate* (birliktelik kuralları), *select attribute* (nitelik seçme), *visualize* (görselleştirme) ve *forecast* (tahmin) ekranları bulunmaktadır. *Explorer* uygulaması ara yüzü ön işleme ekranı Şekil 1.18’de gösterilmiştir.



Şekil 1.18 Explorer ara yüzü ön işleme ekranı

WEKA'daki tüm algoritmalar, makine öğrenmesindeki basit ilişkiel tablo olan Nitelik-İlişki Dosya Formatını (attribute relation file format, ARFF) girdi olarak alabilir. WEKA ayrıca girdi olarak CSV, C4.5 dosya formatını da kullanabilir (Bouckaert, 2016).

ARFF veri formatında girilen veriler, programlama düzeyinde karakter dizileri olarak ifade edilir. Veri yapısını tanımlamak için @relation, @attribute ve @data terimleri kullanılır. @relation terimi, verilerin genel amacını veya adını tanımlar. @attribute terimi, veri tabanındaki sütunlara karşılık gelen öznelik adlarını tanımlar.

@data terimi, ham verilerin başladığı satıra işaret eder (Şaylan, 2013). Tez çalışmasında kullanılan ARFF veri formatının bir kısmı Çizelge 1.1’de gösterilmiştir.

**Çizelge 1.1** Tez çalışmasında kullanılan ARFF veri formatının bir kısmı

---

```

@relation WEKA_su-boy
@attribute Gun numeric
@attribute Toprak (\%) numeric
@attribute 'Sicaklik (°C)' numeric
@attribute 'Nem (\%)' numeric
@attribute 'Isik (\%)' numeric
@attribute 'Su (ml)' numeric
@attribute Boy(cm) numeric
@data
1,96.67,36.44,27.89,66,0,13
2,97.21,35.29,42.42,65.96,0,14.1
3,96.5,34.33,40.88,61.92,0,15.2
4,93.46,31.17,45.33,61.63,0,16.3
5,89.79,29.96,45.25,61.5,0,17.4
6,90.92,29.58,40.46,61.54,0,18.5
7,82.83,30.42,37.5,61.5,0,19.6
8,74.83,30.13,40.25,61.5,0,20.7
:
:
:
:
46,74.96,31.63,45.75,53.71,6750,57.74
47,60.33,29.42,39.13,53.58,6750,57.22
48,75.58,28.5,38.13,53.46,7416.67,56.71
49,79.13,29.83,38.13,53.42,7416.67,56.19
50,52.83,28.08,40.75,53.25,7416.67,55.67
51,38.83,26.88,39.42,53.21,7416.67,55.28
52,32.54,29,28.46,53.42,7416.67,54.89
53,19.13,31.47,27.53,52.93,7416.67,54.5

```

---

Veri formatı uzun olduğu için bir kısmı verilmiştir.

WEKA’daki veri madenciliği tahmin algoritmalarından çalışmada kullanılmak üzere; Linear Regression (LR), Gaussian Processes Regression (GPR), Multi-Layer Perceptron (MLP), Sequential Minimal Optimization Regression (SMOreg), Multi Search (MS) ve M5Rules algoritmaları seçilmiştir. Bu altı algoritma sıklıkla ve benzer çalışmalarda kullanıldığı için çalışmadaki veri seti için uygun bulunmuştur.

### 1.5.1. LR algoritması

LR algoritması, sayısal bir bağımlı değişken ile bir veya daha fazla bağımsız değişken arasındaki bağıntıyı formüle etmenin bir yoludur. LR algoritması, girilen bağımlı ve bağımsız değişken verilerine dayalı olarak bağımlı değişkenin gelecekteki değerinin tahmin edilmesini sağlar (Karaca ve Karacan, 2016).

### 1.5.2. GPR algoritması

GPR algoritması, nicel değişkenleri modellemek ve sınıflandırma tahmini yapmak için etkili bir makine öğrenmesi algoritmasıdır. Gauss süreç modelleri, öğrenme verilerinden bilinmeyen bir noktanın değerini tahmin etmek için çekirdek tabanlı bir olasılık fonksiyonu ile noktalar arasındaki ortalama mesafeyi belirler (<http://platypusinnovation.blogspot.com/2016/05/a-simple-intro-to-gaussian-processes.html>).

### 1.5.3. MLP algoritması

MLP algoritması, bir girdi katmanı, bir çıktı katmanı ve bir veya daha fazla gizli orta katman yazılımı içerir. Girdi katmanı, sınır ağındaki giriş nöronlarından girdileri alır ve gizli orta katmanlara aktarır. Girdi katmanındaki faaliyet birimleri, bir sonraki gizli orta katmandaki faaliyet birimlerine bağlanarak algoritmayı etkinleştirir. Daha çok lineer olmayan veri setlerinin analizinde tercih edilir (Sebik ve Bülbül, 2018).

### 1.5.4. SMOreg algoritması

SMOreg algoritması, Destek Vektör Makinesine (SVM) dayanmaktadır ve regresyon sorunlarını analiz etmek için uygun bir modeldir. 1998'de Smola ve Scholkopf, SVM kullanarak regresyon sorunlarını analiz etmek için Sıralı Minimal Optimizasyon (SMO) olarak tanımladıkları tekrarlamalı bir algoritmayı öne sürdüler. Shevade ve Keerthi, Smola ve Scholkopf'un regresyon sorunlarını analiz etmek için SMOreg olarak tanımladıkları SMO algoritmasını geliştirmede başarılı oldular. SMOreg algoritması, SMO'daki regresyon değerini daha da artırır ve buna bağlı olarak daha verimli ve daha iyi bir başarımlar sağlar (Chaoqun ve Liangxiao, 2006).

### 1.5.5. MS algoritması

MS algoritması, diğer algoritmalar gibi her defasında iki değişkenin optimize edilmesini gerektirmeden rastgele sayıda değişken arar. Daha sonra gerçek seçim ve öğrenmeyi sağlayacak en uygun ikiliyi ayırır (<https://github.com/fracpete/multisearch-weka-package>).

### 1.5.6. M5Rules algoritması

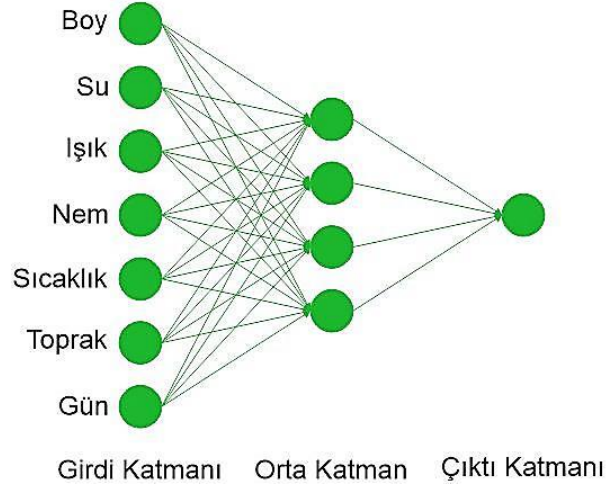
M5Rules algoritması, regresyon sorunları için ayır ve yönet metodu ile karar dizileri hazırlar. Her tekrarlama (iterasyon) M5 kullanarak bir model ağacı oluşturur. En uygun yaprağı kural haline getirir ve veri setindeki diğer örnekleri bu kurala göre analiz eder (Ebren Kara ve Şamlı, 2021).

### 1.6. Regresyon Analizi

Regresyon analizi, iki veya daha fazla değişken arasındaki bağıntıyı tanımlayabilen ve bu bağıntı aracılığıyla ileriye dönük çıkarımlarda bulunabilen yaklaşımlardan biridir. Regresyon, bağımsız değişken sayısına göre basit regresyon ve çoklu regresyon olarak tanımlar. Bir bağımlı ve bir bağımsız değişkenden oluşan lineer bir bağıntıya basit regresyon adı verilir. Birden fazla bağımsız değişken içeren regresyon ise çoklu regresyon olarak adlandırılır. Birden fazla bağımsız değişken, aralarında lineer veya lineer olmayan bir bağıntıya sahip olabilir. Regresyon analizinde sıklıkla tercih edilen metotlardan biri de en küçük kareler metodudur. Değişkenler arasındaki bağıntıyı matematiksel bir denkleme dönüştürmek için lineer, eğrisel, üstel, logaritmik gibi birçok eğri formu kullanılır (Demirel, 2009; Sönmez, 2015).

### 1.7. Yapay Sinir Ağları

Yapay Sinir Ağları, insan beyninin işleyiş prensiplerini örnek alarak, bilgisayar algoritmalarında yapay nöronlar ve sinapslar ile matematiksel bir sinir ağının tasarımına odaklanır. Sinir ağı tasarımı, girdiler ve çıktılar arasındaki bağıntıyı belirlemek için en iyi veri kümesi ile eğitilebilir ve yeni bir girdi oluştuğunda en iyi ve doğru çıktılar alınabilir. Yapay sinir ağlarının en önemli üstünlüğü olan öğrenme yeteneğine ek olarak uyarlanabilir ve genişletilebilir özellikleri bulunmaktadır. En önemli eksikliği ise sistemin işleyişinin analiz edilemiyor olmasıdır (Çetin, 2003; Öztemel, 2003). Şekil 1.19'da yapay sinir ağı modeli gösterilmiştir.



**Şekil 1.19** Yapay sinir ağı modeli

Yapay sinir ağlarının temel kullanımlarından biri, değişkenler arasındaki tespit edilmesi zor bağlantıları açıklayarak geleceği tahmin edebilmeleridir. Veri kümelerindeki girdi ve çıktı değişkenleri hakkında malumat ve öngörü gerektirmeden lineer olmayan bir tasarım gerçekleştirebilir. Sinir ağına verilen girdi ve çıktı verileri ile girdi ve çıktı arasındaki bağıntıyı öğrenerek eğitim sağlar. Yapay sinir ağları geleceği tahmin etmede neredeyse parametrik metotlar kadar pozitif analizler yapmaktadır. Özellikle lineer olmayan veri kümelerindeki etkinliği nedeniyle bir tahmin aracı gibi kullanılmasına yol açmıştır (Çetin, 2003; Öztemel, 2003; Sönmez, 2015).

### 1.8. Destek Vektör Makinesi

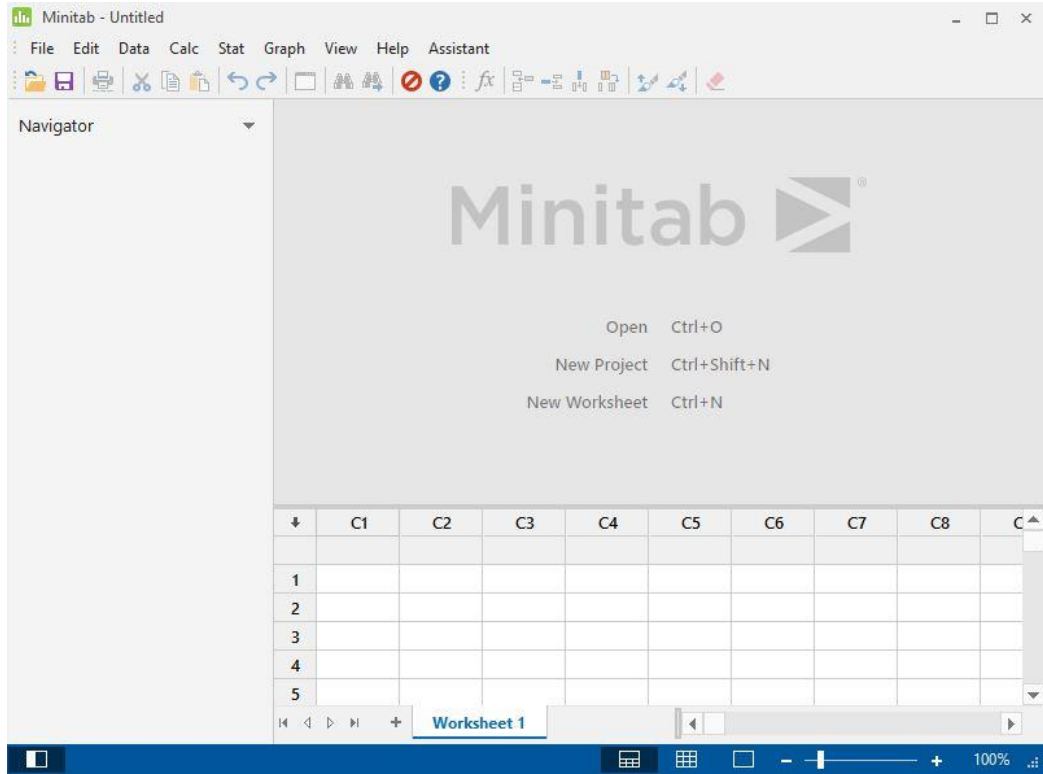
Destek vektör makinesi; sınıflandırma ve regresyon sorunlarını analiz eden, istatistiksel öğrenme kuramına dayalı, aktüel ve etkili bir algoritmadır. Destek vektör makinelerinde esas ilke yapısal riskin en aza indirilmesidir. Girdi alanındaki kompleks işlevleri yorumlamaya çalışan sinir ağlarının aksine, verileri lineer olmayan bir şekilde büyük ölçekli alana eşlemek için çekirdek işlevlerini kullanır. Devamında haritalanmış alanda basit karar sınırları oluşturmak için basit lineer işlevleri kullanır (Durğun, 2018).

### 1.9. Minitab Programı

Minitab, lisanslı bir sütun tabanlı istatistik yazılımdır. Windows işletim sisteminde kullanılır. Endüstriyel çalışmalarda, özellikle Altı Sigma'da yaygın olarak kullanılmaktadır. Minitab'ın geniş bir bibliyografyası vardır. Minitab işlevlerine

erişmenin yanı sıra, istatistiklerle ilgili birçok bilgiye de ulaşılabilir (<https://tr.wikipedia.org/wiki/Minitab>).

Minitab programının giriş ara yüzü Şekil 1.20’de gösterilmiştir. Giriş ara yüzü *File, Edit, Data, Calc, Stat, Graph, View, Help, Assistant, Navigator* ve *Worksheet* alt bileşenlerinden oluşur.

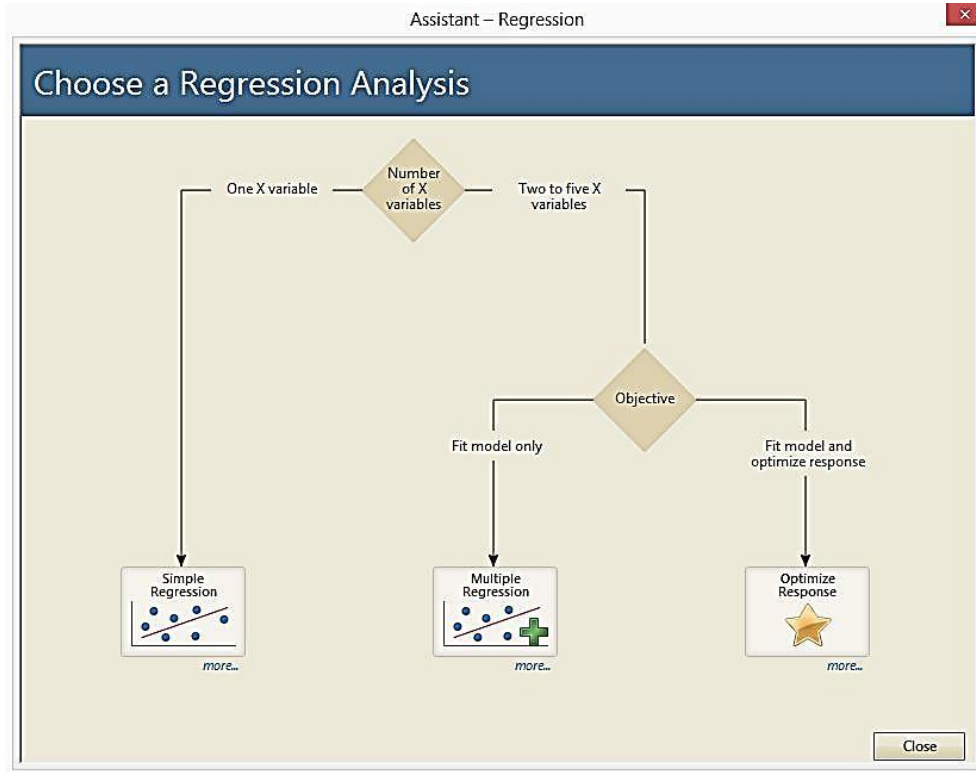


Şekil 1.20 Minitab programı ara yüzü

*Stat; basic statistics, regression, anova, doe ve quality tools* gibi uygulamaların yapıldığı ara yüzüdür. *Graph; matrix plot, histogram, boxplot, bar chart ve time series plot* gibi uygulamaların bulunduğu ara yüzüdür. *Assistant; measurement systems analysis, capability analysis, hypothesis tests ve regression* uygulamalarının yapıldığı bir ara yüzüdür. *Navigator*, yürütülen uygulamaların çıktı başlıklarının yukarıdan aşağıya, eskiden en yeniye doğru sıralanmış bir listesidir. *Worksheet*, analiz edilecek veri setimizin girildiği sütun tabanlı bir veri sayfasıdır.

Çalışmada *Stat* ve *Assistant* ara yüzleri kullanılmıştır. *Stat* ara yüzünde; *basic statistics, regression, ANOVA, DOE, control charts, quality tools, reliability/survival, multivariate, time series, tables, nonparametrics, equivalence tests ve power and sample size* istatistik ekranları mevcuttur. *Assistant* ara yüzünde; *measurement systems analysis, capability analysis, graphical analysis, hypothesis tests, regression, DOE,*

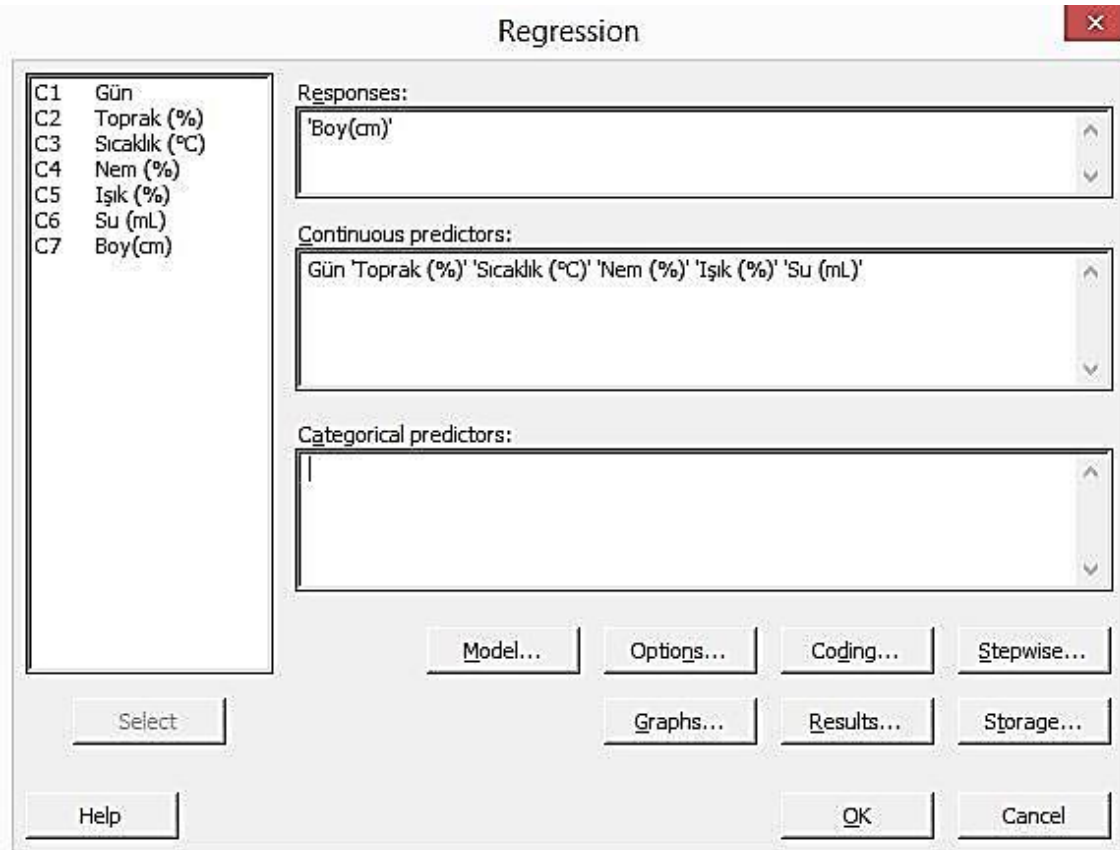
before/after capability analysis, before/after control charts ve control charts ekranları mevcuttur. Assistant – Regression ara yüzü Şekil 1.21’de gösterilmiştir.



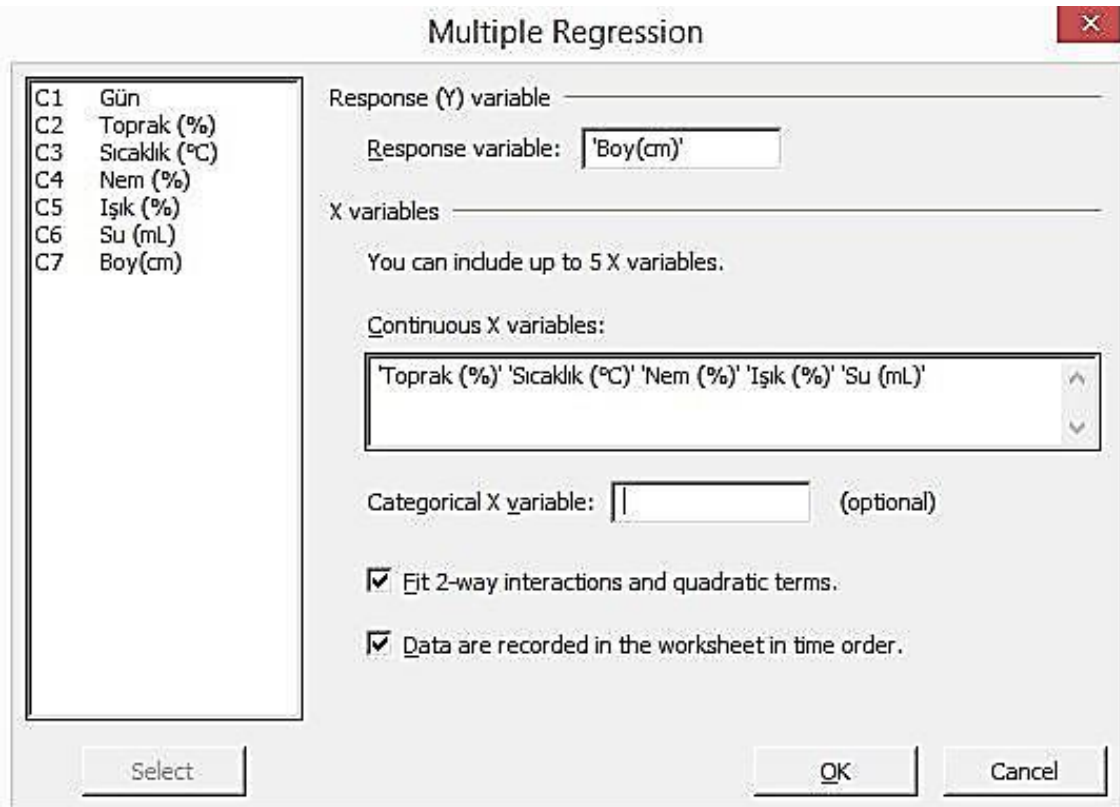
Şekil 1.21 Assistant – Regression ara yüzü

Minitab programı, Microsoft’un microsoft proje değişim dosya formatını (microsoft project exchange file format, MPX) girdi olarak alabilir. MPX, proje yönetimi uygulamaları arasında proje bilgilerini paylaşmak için kullanılan bilgi değişimi için Amerikan standart kodu (American standard code for information interchange, ASCII) dosya formatıdır. MPX dosya biçimi, ayrıntılı kaynak atama bilgileri, takvim bilgileri veya proje bilgileri iletişim kutusundaki bilgiler gibi bir tabloda görüntülenemeyen proje bilgilerini dışa aktarmanıza olanak tanır. Minitab, XLSX dosya formatını girdi olarak da kullanabilir (<https://support.microsoft.com/en-us/topic/prj-description-of-the-mpx-project-file-exchange-format-074a747c-4a12-97b7-45b6-be38b17ccd04>).

Minitab programındaki tahmin algoritmalarından çalışmada kullanılmak üzere; Fit Regression Model (FRM) ve Multiple Regression (MR) algoritmaları seçilmiştir. Bu iki algoritma benzer çalışmalarda sıklıkla kullanıldığı için çalışmadaki veri seti için uygun bulunmuştur. Fit Regression Model ve Multiple Regression ara yüzleri Şekil 1.22 ve Şekil 1.23’te gösterilmiştir.



Şekil 1.22 Fit Regression Model ara yüzü



Şekil 1.23 Multiple Regression ara yüzü

### 1.10. Tezin Amacı ve Önemi

Tarımda dijital sistemlerin kullanılmasının amaçlarından bazıları, ürün verimini artırmak ve su kaynaklarını korumaktır. Artan dünya nüfusu ile gıda gereksinimleri de artmaktadır. Bununla birlikte tarımda bilinçsiz sulama ve bitkinin su ihtiyacının öngörülememesi hem su israfına hem de verim kayıplarına sebep olmaktadır.

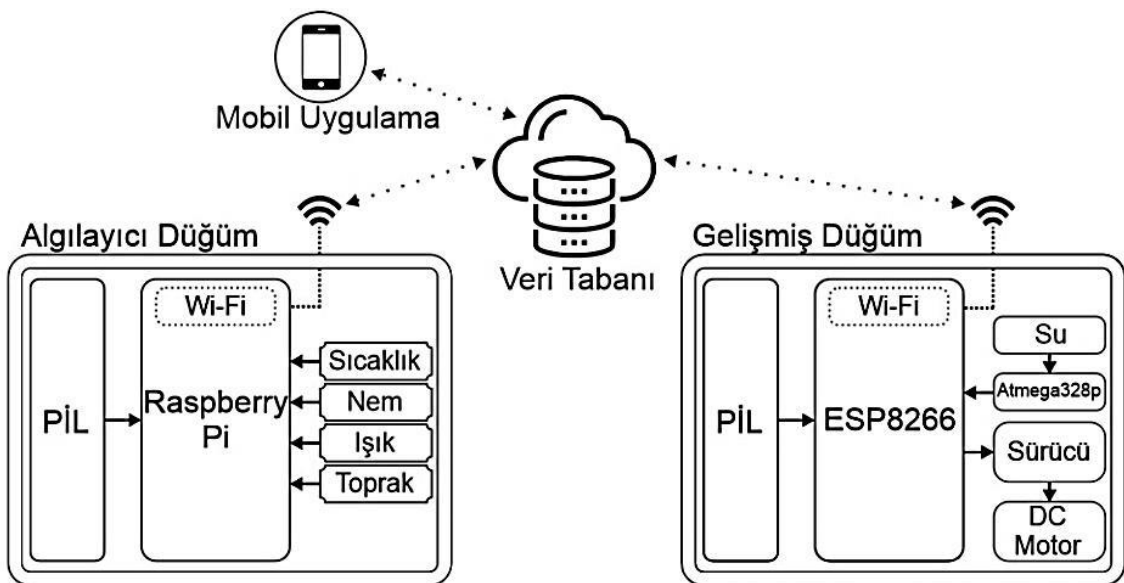
Bu durumun önüne geçebilmek için bu tez çalışmasında; kablosuz algılayıcı ve eyleyici ağ tasarımı gerçekleştirilmiş ve su tüketimi ile bitki gelişimine etkisi olan çevresel veriler (toprak nemi, ortam sıcaklığı, ortam nemi ve ortam ışığı) izlenerek toprak nem düzeyi tarla kapasitesinin altına düştüğünde sulama yapılmıştır. 19.07.2021 – 09.09.2021 tarihleri arasında tasarlanan ağ ve geleneksel yöntemler sera ortamında uygulanarak toprak nemi, ortam sıcaklığı, ortam nemi, ortam ışığı ve su tüketimi verileri bir veri tabanında toplanmıştır. Bu iki yöntemin su tüketimi ve bitki büyümesi açısından etkinlikleri karşılaştırılmıştır. Tahmin algoritmaları kullanılarak veri tabanında toplanan çevresel verilerin (toprak nemi, ortam sıcaklığı, ortam nemi ve ortam ışığı) su tüketimi üzerindeki etkisi ile çevresel veriler (toprak nemi, ortam sıcaklığı, ortam nemi ve ortam ışığı) ve su tüketiminin bitki büyümesi üzerindeki etkisi belirlenmiştir.

Böylece kablosuz algılayıcı ve eyleyici ağ tasarımının tarımda kullanımı ile daha verimli sulama yapılarak su israfının önlenmesi ve en iyi şekilde bitki gelişiminin sağlanması amaçlanmıştır.

## 2. MATERYAL VE YÖNTEM

### 2.1. Ağ Tasarımı

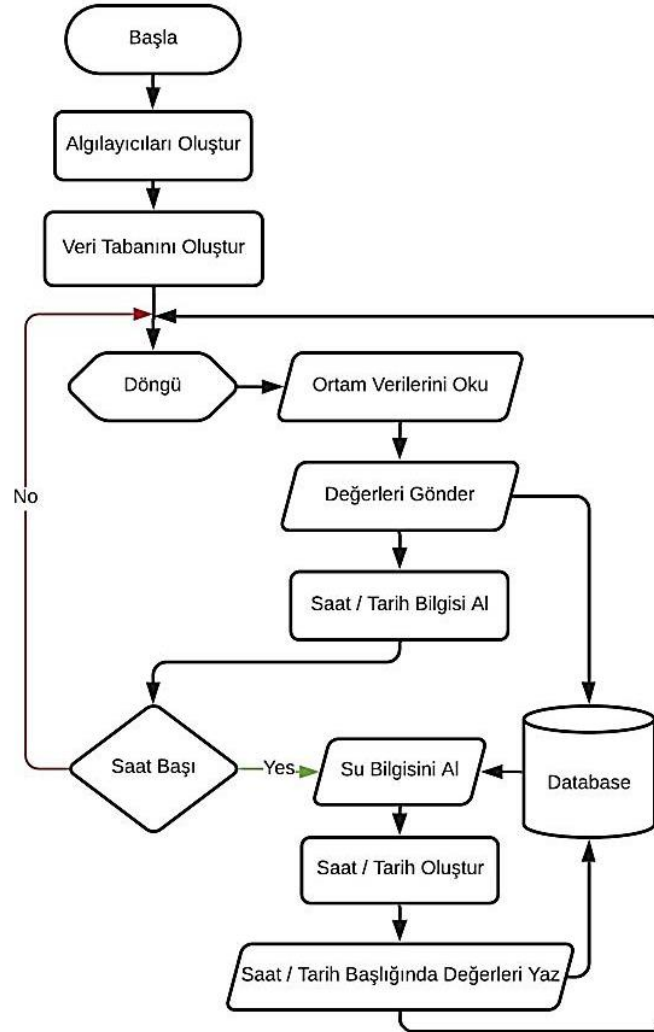
Öngörülen ağ tasarımı; bir algılayıcı düğüm, bir gelişmiş düğüm, bir veri tabanı ve bir mobil uygulamadan oluşmaktadır. Algılayıcı düğüm, üzerindeki çeşitli algılayıcılar ile ortam verilerinin toplanmasından sorumludur. Toplanan veriler kablosuz bağlantı alanı (wireless fidelity, Wi-Fi) birimi aracılığıyla anında veri tabanına iletilmiştir. Veriler, çalışma süresi boyunca her saat veri tabanına kaydedilmiştir. Veri tabanı ile bilgi alışverişinde bulunmak üzere tasarlanan mobil uygulama üzerinden anlık veriler takip edilmiştir. Gelişmiş düğümdeki eyleyicinin çalışma durumu, mobil uygulama ara yüzü üzerinden aktif, pasif veya otomatik olarak ayarlanmış ve eyleyicinin çalışma durumu veri tabanına aktarılmıştır. Eyleyicinin çalışma durumu, gelişmiş düğümdeki Wi-Fi birimi aracılığıyla veri tabanından alınmıştır. Otomatik çalışma durumu için, veri tabanından alınan anlık toprak nem değeri ile önceden programlanmış eşik toprak nem değerleri karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda, anlık değer alt eşik değerinin altında ise eyleyici devreye alınmış, üst eşik değerini geçtiğinde ise eyleyici devre dışı bırakılmıştır. Gelişmiş düğüm üzerinde bulunan su akış algılayıcısı ile tüketilen su miktarı izlenmiş ve veri tabanına aktarılmıştır. Su tüketimi mobil uygulama ara yüzü üzerinden izlenilmiştir. Çalışmada kullanılan ağ mimarisi Şekil 2.1’de gösterilmiştir.



Şekil 2.1 Ağ mimarisi

### 2.1.1. Algılayıcı düğüm tasarımı

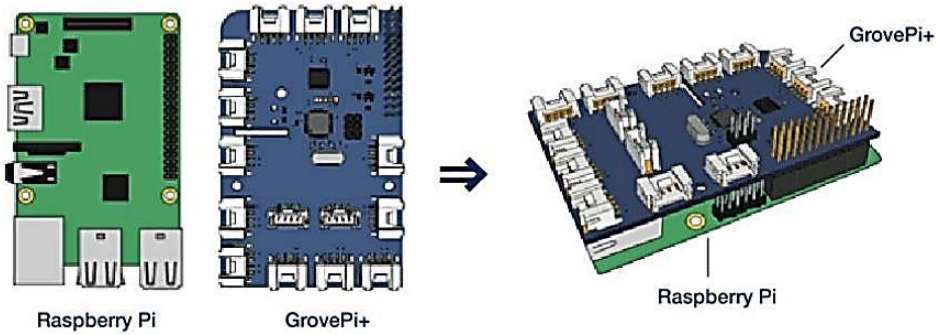
Algılayıcı düğüm; bir mikro denetleyici (MCU, Raspberry Pi 3 Model B+), bir ortam sıcaklık/nem algılayıcısı (DHT11), bir ışık algılayıcısı (Grove), bir toprak nem algılayıcısı ve güç ünitesinden (pil) oluşmaktadır. Şekil 2.2’de algılayıcı düğüm akış diyagramı gösterilmiştir.



Şekil 2.2 Algılayıcı düğüm akış diyagramı

Raspberry Pi 3 Model B+; 1 GB RAM, 1,4 GHz hızında çalışan 64 bit dört çekirdekli işlemci ile IEEE 802.11 b/g/n/ac standartlarına uygun bir karttır. Çift bantlı 2,4 GHz ve 5 GHz kablosuz yerel alan ağı (local area network, LAN), Bluetooth 4.2/BLE ve hızlı Ethernet özelliklerine sahiptir. Dâhili bir Wi-Fi birimi taşıması ve hızlı, gerçek zamanlı çalışma kolaylığı nedeniyle algılayıcı düğüm tasarımında tercih edilmiştir.

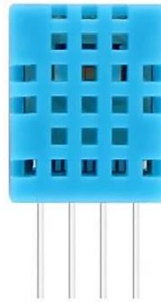
Raspberry Pi, Wi-Fi birimi aracılığıyla veri tabanıla bilgi alışverişinde bulunmaktadır. Algılayıcıların güç ve sinyal bağlantılarını kolaylaştırılmak için GrovePi+ kartı ile birlikte kullanılmıştır. Üzerindeki ADC'ler ile toprak nem algılayıcısı ve ışık algılayıcısından gelen analog sinyaller dijitalleştirilir. Ortam sıcaklık/nem algılayıcısı, genel amaçlı giriş/çıkış (general purpose input output, GPIO) birimi kullanılarak okunur. Okunan ortam verileri anında veri tabanına gönderilir. Ağ zaman protokolü ile internet üzerinden güncel saat/tarih bilgisi alınır ve veri tabanında saatlik kayıtlar oluşturulur. Şekil 2.3'te GrovePi+ kartı ile Raspberry Pi kartı gösterilmiştir.



Şekil 2.3 GrovePi+ kartı ile birlikte Raspberry Pi kartı (<https://www.seeedstudio.com/GrovePi.html>)

DHT11; kapasitif nem algılama elemanı ve yüksek performanslı 8 bit mikro denetleyiciye bağlı NTC sıcaklık ölçüm elemanı içeren dijital sıcaklık ve nem algılayıcısıdır. Bağlı nem algılama seviyesi % 5 ile % 95 arasındadır ve  $\pm$  % 5 doğruluğa sahiptir. Sıcaklık algılama seviyesi  $-20$  °C ile  $60$  °C arasındadır ve  $\pm$  2 °C hassasiyete sahiptir.

DHT11, uygulama ortamının sıcaklık ve nemini ölçülmek amacıyla kullanılmıştır. Algılayıcının ürettiği dijital değerler Raspberry Pi kartının dijital giriş birimi üzerinden okunmuş ve bu değerler anında veri tabanına gönderilmiştir. Şekil 2.4'te DHT11 algılayıcısı gösterilmiştir.



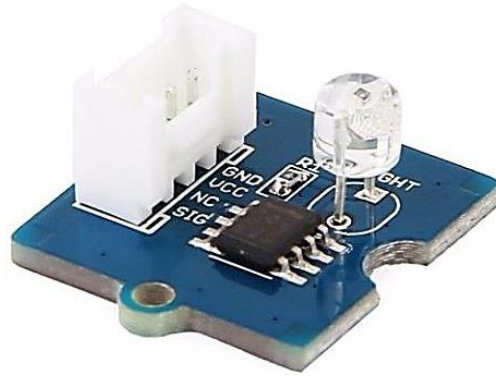
Şekil 2.4 DHT11 sıcaklık ve nem algılayıcısı

Grove ışık algılayıcısı; üzerinde bulunan yüksek hassasiyetli foto diyot olan LS06-S foto direnç ile ışığın yoğunluğunu algılar. Işığın yoğunluğu arttığında, foto direncin direnci azalır ve direnç değerine dayalı olarak LM358 Opampı tarafından karşılık gelen voltaj üretilir. Parlak ışıkta yüksek ve karanlıkta düşük bir analog çıkış sinyali elde edilir. Çıkış sinyali ADC tarafından dijitalleştirilir ve ışık yoğunluğunu yüzde olarak hesaplamak için kullanılır. Işığın yoğunluğu en parlak olduğunda ADC'den okunan değer 1023, en karanlık olduğunda ADC'den okunan değer 0'dır.

Yüzde ışık yoğunluğu (IY) ile ADC'den okunan değer (ADC<sub>ışık</sub>) arasındaki eşitlik Denklem 2.1'de gösterilmiştir.

$$IY = 100 \times \frac{ADC_{ışık}}{1023} \quad (2.1)$$

Denklem 2.1'e göre, uygulama ortamının ışık yoğunluğu, en parlak ışıkta  $IY = 100$  ve en karanlık ışıkta  $IY = 0$  olacak şekilde ölçülmüş, bu değer aralığında yüzde olarak anında veri tabanına gönderilmiştir. Şekil 2.5'te Grove ışık algılayıcısı gösterilmiştir.



Şekil 2.5 Grove ışık algılayıcısı

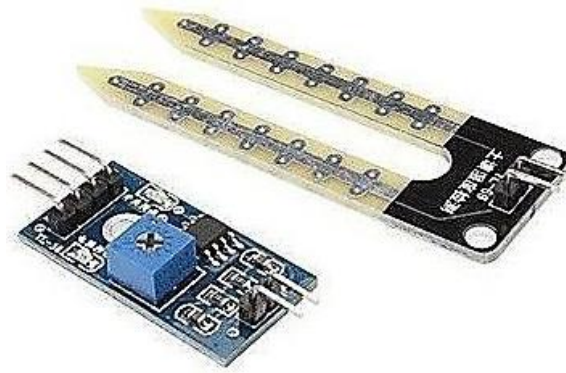
Toprak nem algılayıcısı; çatal şeklinde iki uçtan oluşan algılayıcı çubuğu ve üzerinde LM393 Opampı bulunan kontrol kartından oluşmaktadır. Algılayıcı çubuğunun her iki ucunun her iki yüzeyinde de iletken bir tabaka bulunmaktadır. Algılayıcı çubuğunun bir ucu kontrol kartından DC 5 V ile beslenir. Diğer uçtan ise iki ucu arasındaki malzemenin geçirdiği akım toplanarak kontrol kartından analog çıkışa verilir. İstenirse kontrol kartı üzerindeki potansiyometre kullanılarak ayarlanan eşik değeri ile toplanan akım seviyesi LM393 Opampı tarafından karşılaştırılır ve dijital çıkış alınabilir.

Çalışmamızda hassas ölçüm yapabilmek ve toprak nem değerini yüzde olarak görebilmek için analog değer okuması kullanılmıştır. Kuru toprakta yüksek ve ıslak toprakta düşük bir analog çıkış sinyali elde edilir. Çıkış sinyali ADC tarafından dijitalleştirilir ve toprak nemini yüzde olarak hesaplamak için kullanılır. Toprağın en kuru olduğu durumda ADC'den okunan değer 1023, en ıslak olduğu durumda ADC'den okunan değer 164'tür.

Yüzde toprak nemi (TN) ile ADC'den okunan değer (ADC<sub>toprak</sub>) arasındaki eşitlik Denklem 2.2'de gösterilmiştir.

$$TN = 119 - \left( 100 \times \frac{ADC_{toprak}}{859} \right) \quad (2.2)$$

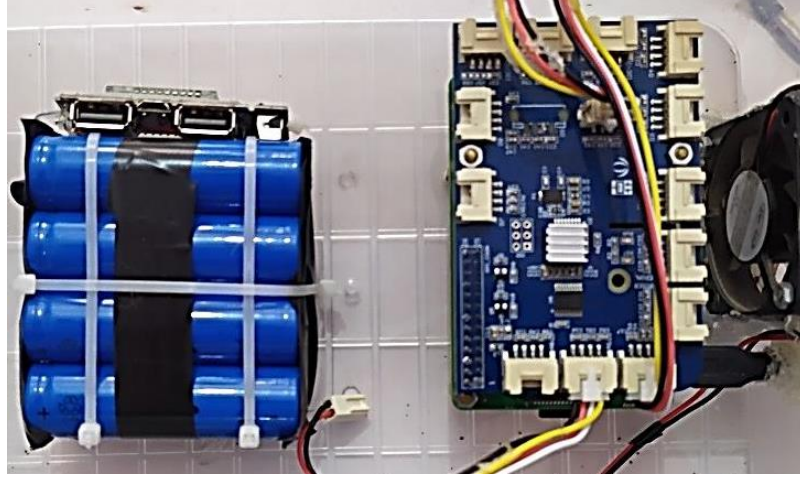
Denklem 2.2'ye göre, uygulama toprağının nem seviyesi en ıslak toprakta  $TN \cong 100$ , en kuru toprakta  $TN \cong 0$  olacak şekilde ölçülmüş ve bu değer aralığında yüzde olarak anında veri tabanına gönderilmiştir. Şekil 2.6'da toprak nem algılayıcısı gösterilmiştir.



Şekil 2.6 Toprak nem algılayıcısı ve kontrol kartı

Güç ünitesi; 8 adet 18650 Li-Ion pil ve DC 5 V 1 A girişli, DC 5 V 2,1 A – 5 V 1 A çift çıkışlı ve dijital ekranlı pil şarj kartından oluşmaktadır. Pillerin her biri DC 3,7 V ve 6800 mAh kapasiteye sahiptir. Pil şarj kartına 8 adet pil paralel bağlanmıştır. Raspberry Pi kartı, pil şarj kartının DC 5 V 2,1 A çıkışından güç alır.

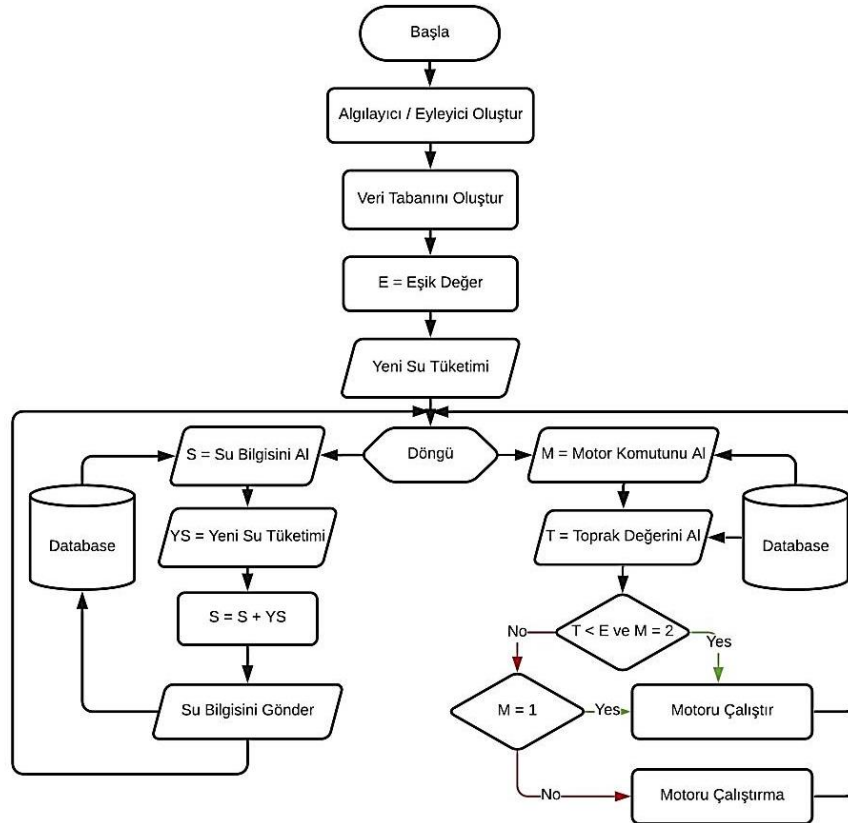
Algılayıcı düğüm aşırı ısınmaya karşı 50x50x10 cm DC 5 V 180 mA soğutma fanı ile soğutulur. Algılayıcı düğüm donanımı Şekil 2.7'de gösterilmiştir.



Şekil 2.7 Algılayıcı düğüm

### 2.1.2. Gelişmiş düğüm tasarımı

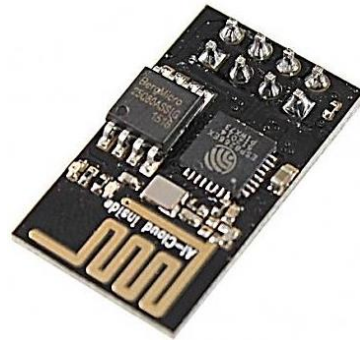
Gelişmiş düğüm; bir Wi-Fi alıcı/verici kartı (MCU, ESP8266), bir su akış algılayıcısı (YF-S201), bir Atmega328p (Arduino Uno), bir eyleyici (su pompası ve sürücü) ve güç ünitesinden (pil) oluşmaktadır. Gelişmiş düğüm akış diyagramı Şekil 2.8’de gösterilmiştir.



Şekil 2.8 Gelişmiş düğüm akış diyagramı

ESP8266; IEEE 802.11 b/g/n standartlarına uygun, 32 bit işlemcili, düşük güç tüketimine sahip, 802.11b iletimi için +19 dBm ve 802.11n iletimi için +16 dBm sunabilen 2,4 GHz bant kablosuz alıcı/verici kartıdır. GPIO birimlerine ve evrensel asenkron alıcı verici (universal asynchronous receiver transmitter, UART) ara yüzüne sahiptir. Herhangi bir mikro denetleyici tabanlı tasarıma ihtiyaç duymadan programlanabilmesi nedeniyle tercih edilmiştir.

ESP8266, Wi-Fi birimi aracılığıyla veri tabanı ile bilgi alışverişinde bulunmaktadır. Veri tabanından eyleyicinin çalışma komutunu ve toprağın nem değerini sürekli kontrol eder. Eyleyicinin çalışma komutuna ve toprağın nem değerine göre çıkış birimlerinden birine bağlanan röle ile eyleyicinin sürücüsünü devreye alır/devre dışı bırakır. Atmega328p tarafından okunan tüketilen su miktarı bilgisini UART ara yüzü üzerinden alır ve veri tabanına kaydeder. ESP8266 kartı Şekil 2.9’da gösterilmiştir.



Şekil 2.9 ESP8266 Wi-Fi alıcı/verici kartı

Atmega328p; ESP8266’nın yerleşik bir kesme özelliği olmadığı için kullanılmıştır. Su tüketimi, dâhili kesme ile YF-S201 su akış algılayıcısından okunur ve UART aracılığıyla ESP8266’ya gönderilir. YF-S201 su akış algılayıcısı Şekil 2.10’da gösterilmiştir.



Şekil 2.10 YF-S201 su akış algılayıcısı

YF-S201; DC 5 V – 18 V çalışma voltajına sahip, litre başına dakikada 450 darbe üreten su akış algılayıcısıdır. Üretici tarafından verilen bilgilere göre algılayıcının litre başına saniyedeki darbe sayısı (Debi) Denklem 2.3'te gösterilmiştir.

$$Debi = \frac{450}{60} = 7,5 L/s \quad (2.3)$$

Çalışmamızda su tüketim ölçümünün doğruluğunu sağlamak için ölçümleme hesaplamaları yapılmıştır. Ölçümlerimizde, su akış algılayıcısı litre başına dakikada 648 darbe üretmektedir. Montajı yapılmış sistem için algılayıcının litre başına saniyedeki darbe sayısı (Debi) Denklem 2.4'te gösterilmiştir.

$$Debi = \frac{648}{60} = 10,8 L/s \quad (2.4)$$

Denklem 2.4'ün sonucuna göre tüketilen anlık su miktarı (ASM) ile kesme biriminden alınan darbe sayısı (DS) arasındaki eşitlik Denklem 2.5'te gösterilmiştir.

$$ASM = \frac{DS}{10,8 \times 60} \quad (2.5)$$

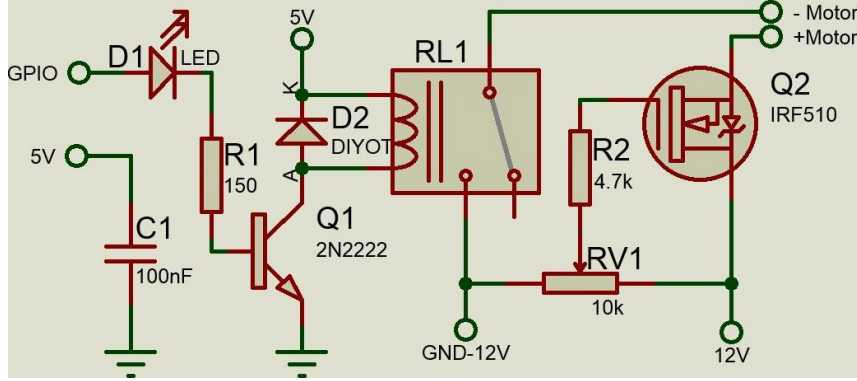
Denklem 2.5'e göre, okunan anlık su miktarı ESP8266'ya gönderilir. ESP8266, tüketilen eski su miktarını veri tabanından alır ve anlık su miktarını üzerine ekleyerek yeni su miktarını veri tabanına gönderir. Şekil 2.11'de DC 12 V su pompası gösterilmiştir.



Şekil 2.11 DC 12 V su pompası

Su pompası; DC 12 V ile çalışmaktadır. ESP8266'nin veri tabanından aldığı mobil uygulama tarafından ayarlanan motor çalışma komutu ve toprak nem değeri bilgisine göre GPIO birimlerinden birine bağlı DC 5 V röle ile devreye alınan/devre dışı bırakılan sürücü tarafından kontrol edilir.

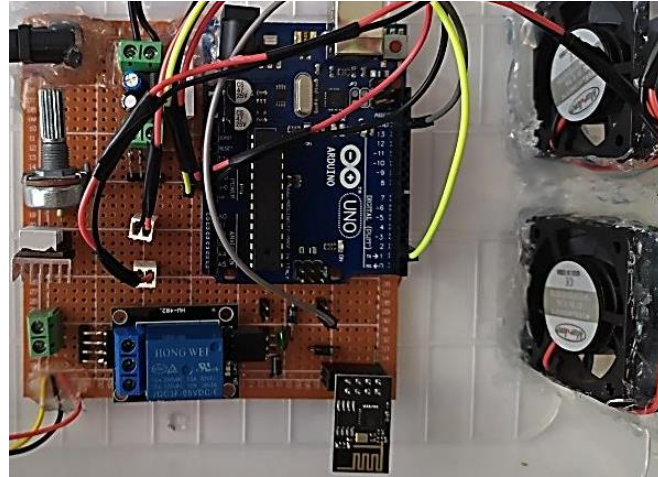
Sürücü; bir IRF510 N kanal Mosfeti, bir 10 k $\Omega$  potansiyometre ve muhtelif devre elemanlarından oluşmaktadır. Sürücü devresi şeması Şekil 2.12'de gösterilmiştir.



Şekil 2.12 Sürücü devresi

Güç ünitesi; 3,7 V ve 6800 mAh kapasiteli 8 adet paralel bağlı 18650 Li-Ion pil ve DC 5 V 1 A girişli, DC 5 V 2,1 A – 5 V 1 A çift çıkışlı ve dijital ekranlı pil şarj kartından oluşması planlanmıştır. Ancak su pompasına güç sağlamak için bir DC 12 V adaptörünün kullanılması nedeniyle, diğer kartlara da başka bir DC 12 V adaptöre bir voltaj regülatörü (LM7805) bağlanarak güç sağlanmıştır.

Gelişmiş düğüm, aşırı ısınmaya karşı iki adet 40x40x10 cm DC 5 V 100 mA soğutma fanı ile soğutulur. Gelişmiş düğüm donanımı Şekil 2.13'te gösterilmiştir.

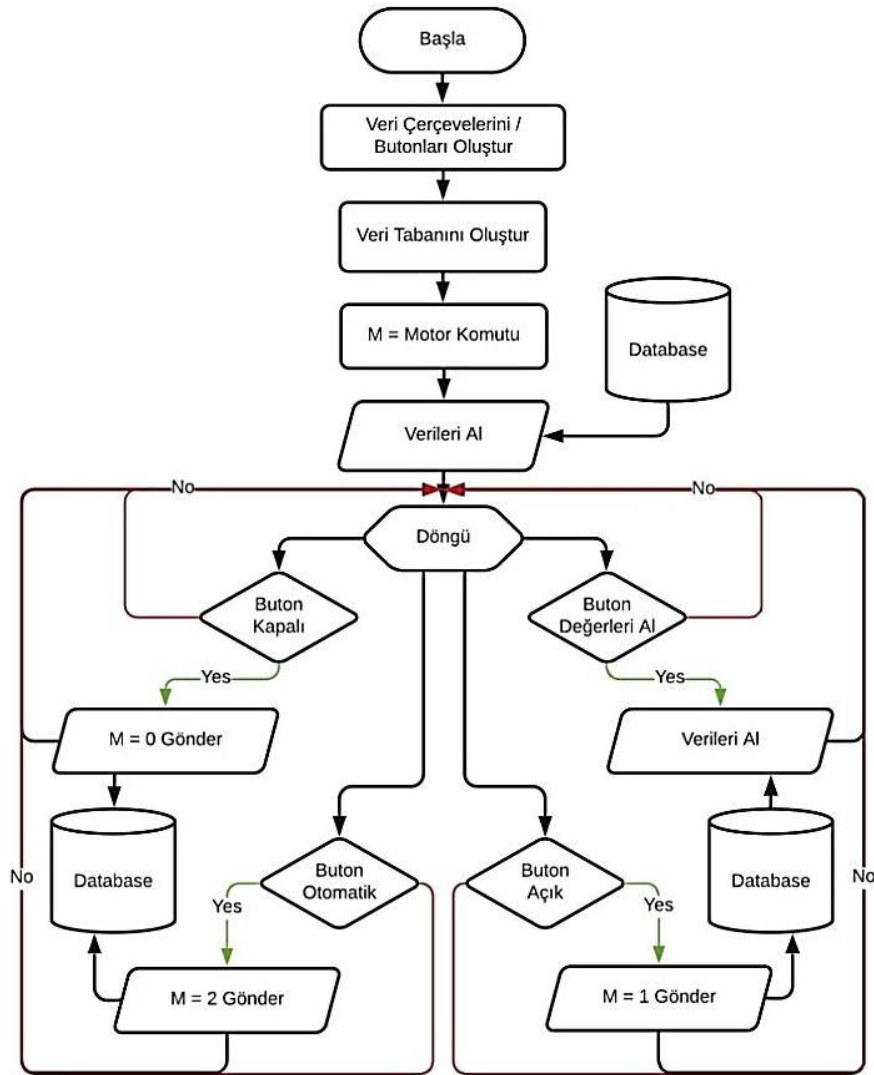


Şekil 2.13 Gelişmiş düğüm

### 2.1.3. Mobil uygulama tasarımı

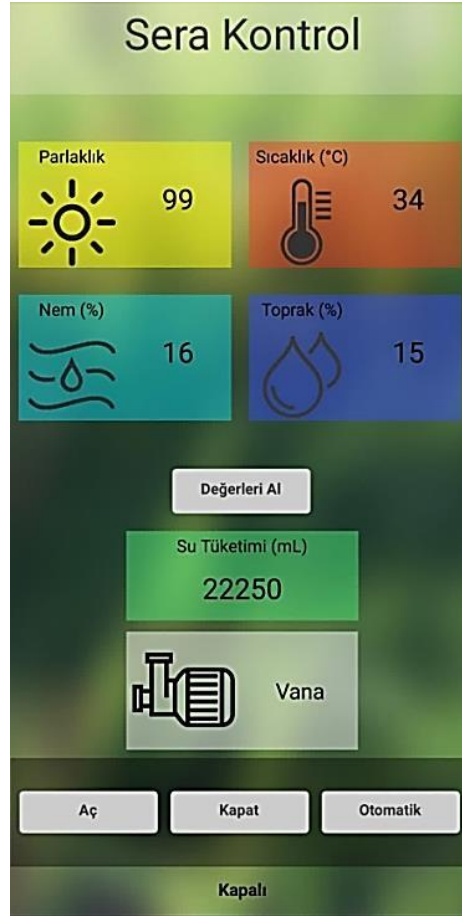
Mobil uygulama, MIT App Inventor mobil uygulama geliştirme aracı ile geliştirilmiştir.

MIT App Inventor, Massachusetts Teknoloji Enstitüsü tarafından geliştirilen web tabanlı bir uygulama geliştirme aracıdır. Blok kodlama yöntemi ile Android işletim sistemi için uygulama geliştirme imkânı sağlar. Uygulama ara yüz tasarımı, sürükle ve bırak mekanizması ile Designer ekranından rahatça yapılabilir. Uygulama yazılımı, blok kodlama ile Blocks ekranından gerçekleştirilebilir. Geliştirilen uygulamanın android uygulama paketi (android application package, APK) dosyasını oluşturur ve mobil cihazlara kolaylıkla indirilebilir. Mobil uygulama akış diyagramı Şekil 2.14'te gösterilmiştir.



Şekil 2.14 Mobil uygulama akış diyagramı

Uygulama ara yüzü; verilerin girileceği beş veri çerçevesi, motora komut vermek için üç buton, anlık değerleri istemek için bir buton, temel görseller ve bir arka ekran görüntüsünden oluşmaktadır. Uygulama ekranı açıldığında otomatik olarak veri tabanından anlık ortam ışığı, ortam sıcaklığı, ortam nemi, toprak nemi ve su tüketimini verileri çekilir. Anlık veriler daha sonra okunmak istendiğinde “Değerleri Al” butonu kullanılarak veri tabanından alınır. Sulama manuel olarak yapılacak ise “Aç” butonuna basılarak veri tabanına motor çalışma komutu 1 olarak gönderilir ve gelişmiş düğüm su pompasını devreye alır. Sulama durdurulmak istendiğinde “Kapat” butonuna basılarak veri tabanına motor çalışma komutu 0 olarak gönderilir ve gelişmiş düğüm su pompasını devre dışı bırakır. Sulama toprak nem seviyesine göre yapılacak ise “Otomatik” butonuna basılarak veri tabanına motor çalışma komutu 2 olarak gönderilir. Gelişmiş düğüm veri tabanından aldığı bilgi ile anlık toprak nem değeri önceden kodlanmış alt eşik nem değerinin altına düştüğünde su pompasını devreye alır, toprak nem değeri önceden kodlanmış üst eşik nem değerini geçtiğinde su pompasını devre dışı bırakır. Mobil uygulama ara yüzü Şekil 2.15’te gösterilmiştir.



Şekil 2.15 Mobil uygulama ara yüzü

#### 2.1.4. Firebase veri tabanı

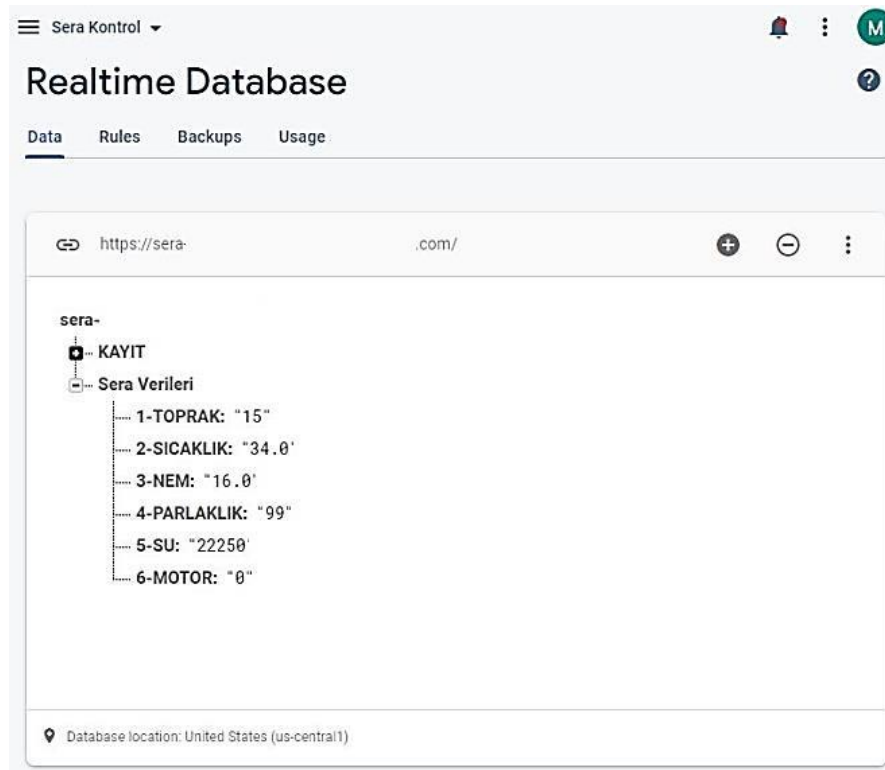
Veri tabanı, Firebase veri tabanı oluşturma platformu ile oluşturulmuştur.

Firestore; Google tarafından geliştirilen, mobil ve web uygulamaları için gerçek zamanlı veri tabanları oluşturma ve veri depolama olanağı sağlayan web tabanlı bir platformdur. Çevresel veriler kayıt listesi Şekil 2.16'da gösterilmiştir.

Time	Data Array
15:00:03	"(90, 38, 28, 98, 0)"
16:00:02	"(93, 38, 33, 99, 0)"
17:00:02	"(95, 39, 27, 99, 0)"
18:00:02	"(97, 38, 26, 100, 0)"
19:00:04	"(100, 37, 29, 99, 0)"
20:00:03	"(99, 35, 33, 99, 0)"
21:00:00	"(99, 35, 21, 0, 0)"
22:00:04	"(98, 34, 25, 0, 0)"
23:00:02	"(99, 34, 29, 0, 0)"

Şekil 2.16 Firebase çevresel veriler kayıt listesi

Firestore Gerçek Zamanlı Veri Tabanı, orijinal hiper-metin transfer protokolü istekleri yerine veri eşleştirmeyi kullanır. Veri her değiştiğinde, bağlı herhangi bir cihaz bu güncellemeyi milisaniyeler içinde alır. Firestore yazılım geliştirme kiti, verileri bellekte sakladığından, Firestore uygulamaları çevrimdışıyken bile yanıt vermeye devam eder. Tekrar bağlantı sağlandığında, istemci cihaz kaçırdığı değişiklikleri alır ve mevcut sunucu durumuyla eşleştirir. Gerçek Zamanlı Veri Tabanına, bir uygulama sunucusuna ihtiyaç duymadan doğrudan bir mobil cihazdan veya web tarayıcısından erişilebilir (<https://firebase.google.com/docs/database?authuser=1>). Veri tabanı ara yüzü Şekil 2.17'de gösterilmiştir.



**Şekil 2.17** Firebase gerçek zamanlı veri tabanı ara yüzü

Güvenlik ve veri doğrulama, veriler okunurken veya yazılırken yürütülen ifade tabanlı kurallar olan Firebase Gerçek Zamanlı Veri Tabanı Güvenlik Kuralları aracılığıyla sağlanır. Geliştiriciler, Firebase Authentication ile bütünleştirildiğinde, kimin hangi verilere erişimi olduğunu ve bunlara nasıl erişebileceklerini tanımlayabilir (<https://firebase.google.com/docs/database?authuser=1>).

## 2.2. Uygulama Tasarımı

### 2.2.1. Araştırma yeri ve özellikleri

Araştırma 2021 yılında Ankara ili Sincan ilçesinde gerçekleştirilmiştir. Araştırma sahasının rakımı yaklaşık 797 m'dir. Bölge tipik bir karasal iklime sahiptir. Ankara'da yağışlar genellikle kış aylarında kar ve karla karışık yağmur şeklindedir. En fazla yağış Mayıs ve Aralık aylarında görülür. Bölgenin karla kaplı olduğu gün sayısı yaklaşık 30 gündür. Yıllık ortalama toplam yağış miktarı 389,1 mm'dir. Temmuz ve Ağustos en sıcak ve en kurak aylardır. En soğuk ay Ocak'tır. Bölgede ölçülen en yüksek sıcaklık Temmuz ayında 40,8 °C, en düşük sıcaklık ise -24,9 °C'dir. Yıllık ortalama sıcaklık 11,7 °C'dir.

### 2.2.2. Toprak özellikleri

İlçenin toprak yapısı yüzeyde kahverengi ve gri, alt kesimlerde kireçli ve killidir. Üst kısımdaki alüvyon çökelleri tarıma uygundur. Toprağın killi-tınlı yapısından dolayı yaklaşık yüzde hacim olarak; tarla kapasitesi % 40, solma noktası % 23, kireç içeriği %12 ve organik madde içeriği % 0,24'tür. Etkili kök derinliği 60 cm'dir (Karaca Bilgen ve ark., 2018). Toprak nemi sınıfları Şekil 2.18'de gösterilmiştir.



Şekil 2.18 Toprak nemi sınıfları

Bölge toprağının pH değeri, TN-200 analog nem-ışık-pH metre ve PH-200 dijital pH metre ile ölçülmüştür. TN-200; bir adet 20 cm mat bakır ve bir adet 20 cm parlak gümüş çubuklu, güneş enerjili, üç fonksiyonlu bir analog ölçüm cihazıdır. Parlak gümüş çubuğu ile pH ölçümü gerçekleştirir. PH-200; 0,01 çözünürlük ve  $\pm 0,05$  hassasiyete sahip, iki elektrotlu, iki nokta kalibreli dijital pH metredir. Bölge toprağının pH değeri, TN-200 analog pH metre ile yaklaşık 7,4 – 7,6 ve PH-200 dijital pH metre ile 7,52 olarak ölçülmüştür. pH ölçümleri Şekil 2.19'da gösterilmiştir.



Şekil 2.19 TN-200 ve PH-200 ile bölge toprağının pH ölçümleri

### 2.2.3. Seranın kurulması

Araştırma alanı 120x100x40 cm ölçülerindedir ve 180x120x100 cm ölçülerinde bir sera çatısından oluşmaktadır. Sera 220 mikron UV katkılı sera naylonu ile kaplanmıştır. Araştırma alanı 120x50x40 cm ölçülerinde iki bağımsız çalışma alanına bölünmüştür. Araştırma alanı Şekil 2.20’de gösterilmiştir.



Şekil 2.20 Kurulan araştırma alanı

Daha sonra bölge toprağı, sera ve fide yetiştiriciliğinde sıklıkla kullanılan torf olarak da bilinen turba toprağı ile zenginleştirilmiştir. Turba toprağı; toprağın havalanmasını sağlayan, su tutma kapasitesini artıran, saçak kök oluşumunu hızlandıran, lifli bir yapıya sahip ve pH değeri 5,5 – 6,5 arasında değişen bir toprak türüdür. Sera toprağının pH değeri, TN-200 analog pH metre ile yaklaşık 7,2 – 7,5 ve PH-200 dijital pH metre ile 7,23 olarak ölçülmüştür. pH ölçümleri Şekil 2.21’de gösterilmiştir.



Şekil 2.21 TN-200 ve PH-200 ile sera toprağının pH ölçümleri

#### 2.2.4. Sulama Suyu ve Sulama Sistemi Özellikleri

Çalışmada şebeke suyu kullanılmıştır. Kullanılan şebeke suyunun pH değeri PH-200 dijital pH metre ile 7,4 olarak ölçülmüştür. Şebeke suyuna litre başına 2,7 ml azotlu sıvı organik gübre karıştırılarak su deposundan sulama yapılmıştır. Garanti edilen sıvı organik gübre içeriği; % 40 organik madde, % 18 organik karbon, % 2 toplam azot, % 3 suda çözünür potasyum oksit olup, pH değeri 4,3 – 6,3 arasındadır. Karışım yapıldıktan sonraki bitkiye verilen sulama suyunun pH değeri PH-200 dijital pH metre ile 6,88 olarak ölçülmüştür. pH ölçümleri Şekil 2.22’de gösterilmiştir.



Şekil 2.22 PH-200 ile şebeke suyu ve sulama suyunun pH ölçümleri

Çalışma alanlarının sulanması için damla sulama sistemi kullanılmıştır. Damla sulama için 16 mm çapında sulama borusu ve debili (0 – 70 L/h) damlatıcılar tercih edilmiştir. Damlatıcılar arası mesafe 40 cm'dir. Sulama suyunun su deposundan çekilebilmesi için DC 12 V su pompası kullanılmıştır. Sulamada uygulanan su miktarı YF-S201 su akış algılayıcısı ile ölçülmüştür. Sulama sistemi Şekil 2.23'te gösterilmiştir.



Şekil 2.23 Damla sulama sistemi

### 2.2.5. Toprak nemi ve ortam verileri ölçümü

Çalışmada dirençli toprak nem algılayıcısı ile toprak nemi ölçümleri yapılmıştır. Algılayıcı çubuğu toprak yüzeyinden 10 – 15 cm derinliğe yerleştirilmiştir. Anlık toprak nem bilgisi alınarak algılayıcı düğüm aracılığıyla veri tabanına gönderilmiştir.

Algılayıcı çubuğunun yüzeyindeki iletken tabaka zamanla oksitlenerek aşınmaktadır. Algılayıcı çubuğu, doğru ölçümler yapabilmek için 5 günde bir değiştirilmiştir. Çubuk yüzeylerindeki aşınma Şekil 2.24’de gösterilmiştir.



Şekil 2.24 Algılayıcı çubuğun aşınması

Seranın sıcaklık ve nem bilgisi DHT11 algılayıcısı tarafından, ışık bilgisi Grove ışık algılayıcısı tarafından alınır ve algılayıcı düğüm aracılığıyla anında veri tabanına gönderilir. DHT11 ve Grove ışık algılayıcısı çalışma alanına Şekil 2.25’te gösterildiği gibi yerleştirilmiştir.



Şekil 2.25 Algilayıcıların seradaki yerleri

### 2.2.6. Bitkilerin yetiştirilmesi ve kültürel işlemler

Fide firmasından temin edilen 10 adet Geleneksel Sırk tipi salatalık fidesi 05.07.2021 tarihinde 120 cm sıra uzunluğunda ve 20 cm arayla iki ayrı çalışma alanına dikilmiştir. Dikilen fideler 18.07.2021 tarihine kadar eşit miktarda sulanmıştır. İki hafta sonunda fideler arası mesafe seyrekleştirilerek her çalışma alanında 40 cm arayla 3 filizlenmiş fide kalacak şekilde toplam 6 fide bırakılmıştır. 19.07.2021 tarihi itibari ile birinci çalışma alanında geleneksel tarım yöntemi ile sulama, ikinci çalışma alanında kablosuz algılayıcı ve eyleyici ağ ile sulama işlemlerine başlanmıştır. Şekil 2.26'da seranın seyrekleştirme işleminden önceki hali gösterilmiştir.



Şekil 2.26 Seyrekleştirme işleminden önce fideler

Kablosuz algılayıcı ve eyleyici ağ ile sulama işlemi senaryosu şu şekilde gerçekleştirilir: Su pompasının çalışma komutu, geliştirilen mobil uygulama ara yüzü üzerinden “Otomatik” olarak ayarlanır ve veri tabanına bildirilir. Algılayıcı düğüm donanımındaki toprak nem algılayıcısı ile alınan anlık toprak nem bilgisi veri tabanına gönderilir. Gelişmiş düğüm veri tabanından su pompası çalışma komutunu ve anlık toprak nem değerini alır. Gelişmiş düğüm, “Otomatik” çalışma komutundayken önceden programlanmış alt eşik toprak nem değerini anlık toprak nem değeri ile karşılaştırır. Önceden programlanmış alt eşik toprak nem değeri % 50 (% 23 solma noktasına eşdeğer) olarak ayarlanmıştır. Anlık toprak nem değeri solma noktasının altına düştüğünde su pompası devreye girer ve sulama başlatılır. Anlık toprak nem değeri, üst eşik toprak nem değeri % 87’i (% 40 tarla kapasitesine eşdeğer) geçtiğinde ise su pompası devre dışı bırakılarak sulama sonlandırılır. Bu sayede bitki için en uygun toprak nemi sürekli olarak sağlanır ve bitkinin su stresi yaşaması engellenir.

Tek gövdede yetiştirme işlemi, gövde ile ana yaprakların birleştiği yerdeki koltuk sürgünleri alınarak gerçekleştirilir. Koltuk sürgünleri alınarak verim artışı sağlanır ve daha iyi güneş alımını sağlamak için yaşlı sürgünler alınır. Sürgünlerin daha kolay kırılması için sabah veya akşam havanın serin olduğu zamanlarda koltuk alma işlemi yapılır (Alan, 2011). Koltuk alma her 10 – 15 günde bir tekrarlanmıştır. Şekil 2.27’de tek gövdede yetiştirme gösterilmiştir.



**Şekil 2.27** Tek gövdede yetiştirme

Fidelerde çok küçük zararlılar olan yeşil yaprak bitleri görülmüştür. Yeşil yaprak bitleri; bitki özsuğu ile beslenen, genç yaprakların gelişimini ve salgıladıkları şeker ile bitkinin fotosentezini olumsuz yönde etkileyen böceklerdir. Yeşil yaprak bitleriyle mücadele etmek için her 5 günde bir çözelti hazırlanmış ve uygulanmıştır. Çözelti; 500 ml su, 1 yemek kaşığı arapsabunu ve 10 ml zeytinyağından hazırlanmıştır. Fidelerde görülen yeşil yaprak bitleri Şekil 2.28’de gösterilmiştir.



**Şekil 2.28** Fidelerde görülen yeşil yaprak bitleri

Fidelerin boyları, iki farklı sulama yönteminin etkinliğini karşılaştırmak için ölçülmüştür. Bitkilerin ilk boy ölçümü 20.07.2021 tarihinde, son boy ölçümü 11.09.2021 tarihinde yapılmıştır. Yetiştirme döneminde Şekil 2.29'da gösterildiği gibi 7 kez boy ölçümü yapılmıştır. Fidelerin tarihlere göre ölçülen boyları Çizelge 2.1'de gösterilmiştir. Çalışma sırasında anlık ortam ışığı, ortam sıcaklığı, ortam nemi, toprak nemi ve su tüketimi takip edilerek saatlik olarak kayıt altına alınmış ve çalışma 09.09.2021 tarihinde sonlandırılmıştır.



Şekil 2.29 1. fide (6 Eylül 2021) ve 6. fide (16 Ağustos 2021) boy ölçümleri

Çizelge 2.1 Fidelerin tarihlere göre ölçülen boyları

Tarih	Kablosuz Algılayıcı ve Eyleyici Ağ			Geleneksel Tarım Yöntemi		
	1. Fide	2. Fide	3. Fide	4. Fide	5. Fide	6. Fide
20 Temmuz 2021	13,5	12	13,5	11	11	13,5
3 Ağustos 2021	52	16	20,5	21	18,5	26
10 Ağustos 2021	101	17	25,5	23,5	21	45
16 Ağustos 2021	118	22	28	24,5	24,5	58,5
28 Ağustos 2021	135	17	29	25	24,5	81
6 Eylül 2021	138	-	29	26	24	85
11 Eylül 2021	136,5	-	27	30	24	80,5

Ölçüler cm olarak verilmiştir.

### 3. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

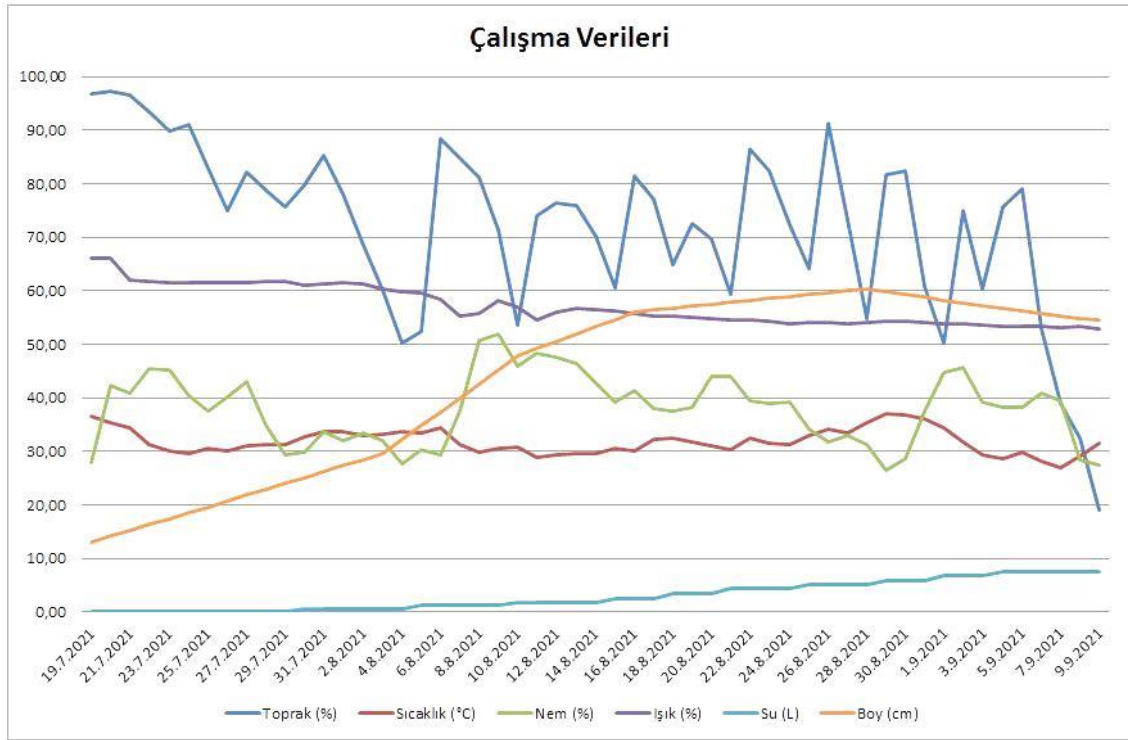
Kablosuz algılayıcı ve eyleyici ağ saha çalışmaları sonucunda elde edilen veriler (toprak nemi, ortam sıcaklığı, ortam nemi, ortam ışığı, su tüketimi ve bitki boyu) WEKA ve Minitab programları ile analiz edilmiştir. Tek bir salatalık bitkisi için ortalama su tüketimi ve ortalama bitki boyu hesaplanarak analizler yapılmıştır. Çevresel verilerin (toprak nemi, ortam sıcaklığı, ortam nemi ve ortam ışığı) su tüketimine etkisi matematiksel olarak ifade edilmiştir. Ayrıca çevresel veriler (toprak nemi, ortam sıcaklığı, ortam nemi ve ortam ışığı) ve su tüketiminin bitki boyuna etkisi matematiksel olarak ifade edilmiştir.

Çalışma sırasında kablosuz algılayıcı ve eyleyici ağ ile geleneksel tarım yöntemi (GTY) kullanılarak 19.07.2021 – 09.09.2021 tarihleri arasında toplanan 53 günlük veriler Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1 Çalışmada toplanan veriler

Tarih	Gün	Toprak (%)	Sıcaklık (°C)	Nem (%)	Işık (%)	Su (ml)	Boy (cm)	GTY Su(ml)	GTY Boy(cm)
19.07.2021	1	96,67	36,44	27,89	66,00	0,00	13,00	0,00	11,83
20.07.2021	2	97,21	35,29	42,42	65,96	0,00	14,10	0,00	12,50
21.07.2021	3	96,50	34,33	40,88	61,92	0,00	15,20	0,00	13,17
22.07.2021	4	93,46	31,17	45,33	61,63	0,00	16,30	333,33	13,83
23.07.2021	5	89,79	29,96	45,25	61,50	0,00	17,40	333,33	14,50
24.07.2021	6	90,92	29,58	40,46	61,54	0,00	18,50	333,33	15,17
25.07.2021	7	82,83	30,42	37,50	61,50	0,00	19,60	666,66	15,83
26.07.2021	8	74,83	30,13	40,25	61,50	0,00	20,70	666,66	16,50
27.07.2021	9	82,25	31,04	43,13	61,54	0,00	21,80	666,66	17,17
28.07.2021	10	78,83	31,17	34,92	61,67	0,00	22,90	1166,66	17,83
29.07.2021	11	75,63	31,33	29,38	61,71	0,00	24,00	1166,66	18,50
30.07.2021	12	79,71	32,67	29,83	61,00	500,00	25,10	1166,66	19,17
31.07.2021	13	85,21	33,75	33,67	61,29	500,00	26,20	1166,66	19,83
01.08.2021	14	78,10	33,75	32,08	61,42	500,00	27,30	1666,66	20,50
02.08.2021	15	68,56	32,88	33,50	61,33	500,00	28,40	1666,66	21,17
03.08.2021	16	60,00	33,25	32,08	60,25	500,00	29,50	1666,66	21,83
04.08.2021	17	50,33	33,67	27,75	59,92	500,00	32,12	1666,66	22,98
05.08.2021	18	52,33	33,46	30,38	59,63	1250,00	34,74	2166,66	24,12
06.08.2021	19	88,29	34,29	29,42	58,46	1250,00	37,36	2166,66	25,26
07.08.2021	20	84,67	31,38	37,46	55,29	1250,00	39,98	2166,66	26,40
08.08.2021	21	81,13	29,79	50,67	55,63	1250,00	42,60	2666,66	27,55
09.08.2021	22	71,38	30,50	51,92	58,04	1250,00	45,22	2666,66	28,69
10.08.2021	23	53,63	30,75	46,00	56,88	1750,00	47,83	2666,66	29,83
11.08.2021	24	74,08	28,79	48,25	54,63	1750,00	49,19	3166,66	30,83
12.08.2021	25	76,50	29,29	47,63	55,96	1750,00	50,55	3166,66	31,83
13.08.2021	26	75,92	29,63	46,33	56,79	1750,00	51,91	3166,66	32,83
14.08.2021	27	70,25	29,67	42,71	56,42	1750,00	53,27	3833,33	33,83
15.08.2021	28	60,58	30,50	39,21	56,25	2416,67	54,63	3833,33	34,83
16.08.2021	29	81,46	30,13	41,29	55,83	2416,67	56,00	3833,33	35,83
17.08.2021	30	77,00	32,17	38,04	55,38	2416,67	56,36	4833,33	36,47
18.08.2021	31	64,94	32,42	37,58	55,33	3416,67	56,72	4833,33	37,11
19.08.2021	32	72,58	31,63	38,13	55,08	3416,67	57,08	4833,33	37,75
20.08.2021	33	69,54	31,13	44,04	54,75	3416,67	57,44	5833,33	38,39
21.08.2021	34	59,29	30,29	43,88	54,58	4416,67	57,80	5833,33	39,03
22.08.2021	35	86,50	32,38	39,46	54,58	4416,67	58,16	5833,33	39,67
23.08.2021	36	82,29	31,42	38,96	54,25	4416,67	58,52	6500,00	40,31
24.08.2021	37	72,25	31,33	39,12	53,92	4416,67	58,88	6500,00	40,94
25.08.2021	38	64,13	32,83	34,25	53,96	5083,33	59,24	6500,00	41,58
26.08.2021	39	91,21	34,17	31,71	54,04	5083,33	59,60	7333,33	42,22
27.08.2021	40	73,17	33,46	32,96	53,83	5083,33	59,96	7333,33	42,86
28.08.2021	41	54,77	35,33	31,33	54,13	5083,33	60,33	7333,33	43,50
29.08.2021	42	81,57	36,96	26,54	54,25	5916,67	59,81	7333,33	43,67
30.08.2021	43	82,28	36,71	28,67	54,21	5916,67	59,29	8166,66	43,83
31.08.2021	44	60,69	35,96	37,42	54,04	5916,67	58,78	8166,66	44,00
01.09.2021	45	50,27	34,29	44,67	53,92	6750,00	58,26	8166,66	44,17
02.09.2021	46	74,96	31,63	45,75	53,71	6750,00	57,74	8166,66	44,33
03.09.2021	47	60,33	29,42	39,13	53,58	6750,00	57,22	8166,66	44,50
04.09.2021	48	75,58	28,50	38,13	53,46	7416,67	56,71	8999,99	44,67
05.09.2021	49	79,13	29,83	38,13	53,42	7416,67	56,19	8999,99	44,83
06.09.2021	50	52,83	28,08	40,75	53,25	7416,67	55,67	8999,99	45,00
07.09.2021	51	38,83	26,88	39,42	53,21	7416,67	55,28	9999,99	44,94
08.09.2021	52	32,54	29,00	28,46	53,42	7416,67	54,89	9999,99	44,89
09.09.2021	53	19,13	31,47	27,53	52,93	7416,67	54,50	9999,99	44,83

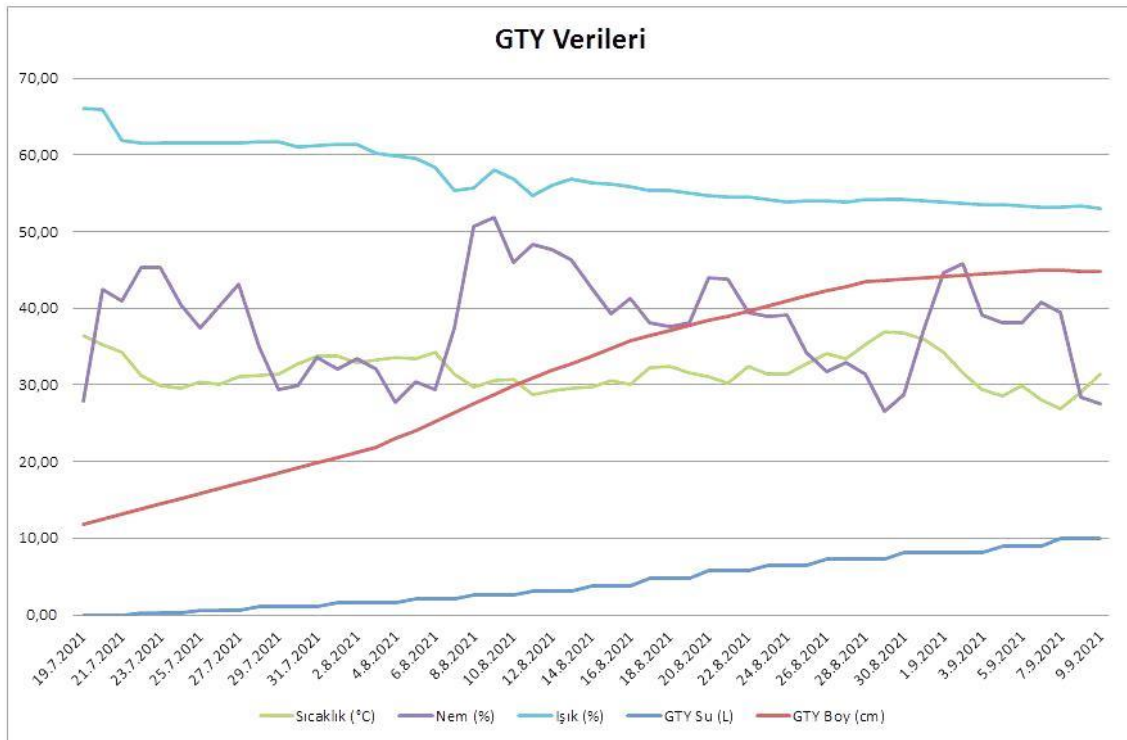
19.07.2021 – 09.09.2021 tarihleri arasında kablosuz algılayıcı ve eyleyici ağ aracılığıyla toplanan 53 günlük verilerin grafiği Şekil 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3.1 Kablosuz algılayıcı ve eyleyici ağ ile toplanan verilerin grafiği

Çizelge 3.1’deki çalışmada toplanan verilere ve Şekil 3.1’deki çalışma veri grafiğine göre; çalışma süresince ortalama günlük toprak nemi yaklaşık % 72, ortalama günlük sıcaklık yaklaşık 32 °C, ortalama günlük nem yaklaşık % 38 ve ortalama günlük ışık yaklaşık % 57’dir. Tek bir salatalık bitkisi için tüketilen toplam su miktarı 7416,67 ml olup, ortalama bitki boyu 54,50 cm’dir. Çalışma süresince toprak nem seviyesinin % 50’nin üzerinde tutulduğu gözlemlenmiştir.

19.07.2021 – 09.09.2021 tarihleri arasında GTY için toplanan 53 günlük verilerin grafiği Şekil 33’te verilmiştir.



Şekil 3.2 Geleneksel tarım yöntemi verileri

Çizelge 3.1'deki çalışmada toplanan verilere ve Şekil 3.2'deki GTY veri grafiğine göre; çalışma sırasında ortalama günlük sıcaklık yaklaşık 32 °C, ortalama günlük nem yaklaşık %38 ve ortalama günlük ışık yaklaşık % 57'dir. Tek bir salatalık bitkisi için tüketilen toplam su miktarı 9999,99 ml olup, ortalama bitki boyu 44,83 cm'dir.

### 3.1. Lineer Regresyon Sonuçları

WEKA programının Linear Regression algoritmasında 19.07.2021 ile 09.09.2021 tarihleri arasında elde edilen veri seti kullanılarak regresyon modeli oluşturulmuştur. Regresyon analizi sonuçlarını gerçek değerlerle karşılaştırmak için modellerin ortalama mutlak hata (mean absolute percentage error, MAPE) değerleri incelenmiştir.

Ortalama MAPE değerinin matematiksel ifadesi Denklem 3.1'de verilmiştir.

$$MAPE = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \left| \frac{\text{Gerçek değer} - \text{Tahmini değer}}{\text{Gerçek değer}} \right| \cdot 100 \quad (3.1)$$

Bu algoritma ile oluşturulan modele göre regresyon denkleminin matematiksel ifadesi su (ml) için Denklem 3.2’de ve boy (cm) için Denklem 3.3’te verilmiştir.

$$\text{Su (ml)} = -21601,4393 + 242,9834 \cdot \text{Gün} + 17,0872 \cdot \text{Toprak (\%)} + 293,1195 \cdot \text{Işık (\%)} \quad (3.2)$$

$$\text{Boy (cm)} = 271,7464 + 0,8326 \cdot \text{Sıcaklık (°C)} - 4,453 \cdot \text{Işık (\%)} \quad (3.3)$$

WEKA programı Linear Regression algoritması ile elde edilen denkleme göre tahmini su (ml) ve boy (cm) değerleri ile MAPE değerleri Çizelge 3.2’de verilmiştir.

**Çizelge 3.2** WEKA programı LR algoritması su (ml) ve boy (cm) için tahmin sonuçları MAPE değerleri

Tarih	Gerçek		Tahmin		MAPE	
	Su (ml)	Boy (cm)	Su (ml)	Boy (cm)	Su (ml)	Boy (cm)
19.07.2021	0,00	13,00	-360,81	8,19	0,00	0,37
20.07.2021	0,00	14,10	-120,78	7,42	0,00	0,47
:	:	:	:	:	:	:
31.07.2021	500,00	26,20	979,10	26,91	0,96	0,03
01.08.2021	500,00	27,30	1137,33	26,36	1,27	0,03
:	:	:	:	:	:	:
10.08.2021	1750,00	47,83	1574,65	44,08	0,10	0,08
11.08.2021	1750,00	49,19	1507,69	52,47	0,14	0,07
:	:	:	:	:	:	:
21.08.2021	4416,67	57,80	3672,56	53,91	0,17	0,07
22.08.2021	4416,67	58,16	4380,46	55,64	0,01	0,04
:	:	:	:	:	:	:
01.09.2021	6750,00	58,26	5995,80	61,14	0,11	0,03
02.09.2021	6750,00	57,74	6599,58	60,14	0,02	0,02
:	:	:	:	:	:	:
08.09.2021	7416,67	54,89	7247,21	61,51	0,02	0,06
09.09.2021	7416,67	54,50	7119,41	64,15	0,04	0,14
<b>Ortalama MAPE (%)</b>					<b>19,22</b>	<b>10,54</b>

Veri seti uzun olduğu için bir kısmı verilmiştir.

Çizelge 3.2’de gösterilen WEKA programı ile su (ml) ve boy (cm) için yapılan Linear Regression algoritması analizleri ortalama MAPE değerleri; su (ml) denklemini için % 19,22 ve boy (cm) denklemini için % 10,54 olarak hesaplanmıştır.

### 3.2. GPR Sonuçları

WEKA programının Gaussian Processes Regression algoritmasında 19.07.2021 ile 09.09.2021 tarihleri arasında elde edilen veri seti kullanılarak regresyon modeli

oluşturulmuştur. Regresyon analizi sonuçlarını gerçek değerlerle karşılaştırmak için modellerin MAPE değerleri incelenmiştir.

WEKA programı Gaussian Processes Regression algoritması ile elde edilen tahmini su (ml) ve boy (cm) değerleri ile MAPE değerleri Çizelge 3.3'te verilmiştir.

**Çizelge 3.3** WEKA programı GPR algoritması su (ml) ve boy (cm) için tahmin sonuçları MAPE değerleri

Tarih	Gerçek		Tahmin		MAPE	
	Su (ml)	Boy (cm)	Su (ml)	Boy (cm)	Su (ml)	Boy (cm)
19.07.2021	0,00	13,00	-1250,10	14,07	0,00	0,08
20.07.2021	0,00	14,10	-1703,32	15,89	0,00	0,13
:	:	:	:	:	:	:
31.07.2021	500,00	26,20	813,89	28,72	0,63	0,10
01.08.2021	500,00	27,30	1023,60	28,78	1,05	0,05
:	:	:	:	:	:	:
10.08.2021	1750,00	47,83	2657,79	44,16	0,52	0,08
11.08.2021	1750,00	49,19	2928,96	48,37	0,67	0,02
:	:	:	:	:	:	:
21.08.2021	4416,67	57,80	4131,80	53,40	0,06	0,08
22.08.2021	4416,67	58,16	3999,08	52,69	0,09	0,09
:	:	:	:	:	:	:
01.09.2021	6750,00	58,26	5251,61	61,14	0,22	0,05
02.09.2021	6750,00	57,74	5054,57	60,14	0,25	0,04
:	:	:	:	:	:	:
08.09.2021	7416,67	54,89	6886,95	61,51	0,07	0,12
09.09.2021	7416,67	54,50	7262,46	64,15	0,02	0,18
<b>Ortalama MAPE (%)</b>					<b>38,86</b>	<b>13,00</b>

Veri seti uzun olduğu için bir kısmı verilmiştir.

Çizelge 3.3'te gösterilen WEKA programı ile su (ml) ve boy (cm) için yapılan Gaussian Processes Regression algoritması analizleri ortalama MAPE değerleri; su (ml) için %38,86 ve boy (cm) için %13,00 olarak hesaplanmıştır.

### 3.3. SMOReg Sonuçları

WEKA programının Sequential Minimal Optimization Regression algoritmasında 19.07.2021 ile 09.09.2021 tarihleri arasında elde edilen veri seti kullanılarak regresyon modeli oluşturulmuştur. Regresyon analizi sonuçlarını gerçek değerlerle karşılaştırmak için modellerin MAPE değerleri incelenmiştir.

Bu modele göre regresyon denkleminin matematiksel ifadesi su (ml) için Denklem 3.4'te ve boy (cm) için Denklem 3.5'te verilmiştir.

$$\begin{aligned} \text{Su (ml)} = & -0,4835 + 1,4917 \cdot \text{Gün(norm.)} + 0,097 \\ & \cdot \text{Toprak (\%)(norm.)} - 0,0288 \cdot \text{Sıcaklık (°C)(norm.)} \\ & - 0,0365 \cdot \text{Nem (\%)(norm.)} + 0,2898 \\ & \cdot \text{Işık (\%)(norm.)} \end{aligned} \quad (3.4)$$

$$\begin{aligned} \text{Boy (cm)} = & 0,5166 + 0,7638 \cdot \text{Gün(norm.)} + 0,0697 \\ & \cdot \text{Toprak (\%)(norm.)} + 0,2513 \cdot \text{Sıcaklık (°C)(norm.)} \\ & + 0,1657 \cdot \text{Nem (\%)(norm.)} - 0,9791 \\ & \cdot \text{Işık (\%)(norm.)} - 0,4214 \cdot \text{Su (ml)(norm.)} \end{aligned} \quad (3.5)$$

WEKA programı Sequential Minimal Optimization Regression algoritması ile elde edilen denkleme göre tahmini su (ml) ve boy (cm) değerleri ile MAPE değerleri Çizelge 3.4'te verilmiştir.

**Çizelge 3.4** WEKA programı SMOreg algoritması su (ml) ve boy (cm) için tahmin sonuçları MAPE değerleri

Tarih	Gerçek		Tahmin		MAPE	
	Su (ml)	Boy (cm)	Su (ml)	Boy (cm)	Su (ml)	Boy (cm)
19.07.2021	0,00	13,00	-939,23	6,09	0,00	0,53
20.07.2021	0,00	14,10	-858,76	10,08	0,00	0,29
:	:	:	:	:	:	:
31.07.2021	500,00	26,20	728,92	27,35	0,46	0,04
01.08.2021	500,00	27,30	914,50	27,38	0,83	0,00
:	:	:	:	:	:	:
10.08.2021	1750,00	47,83	1772,18	48,20	0,01	0,01
11.08.2021	1750,00	49,19	1820,86	48,90	0,04	0,01
:	:	:	:	:	:	:
21.0.2021	4416,67	57,80	3818,72	54,89	0,14	0,05
22.08.2021	4416,67	58,16	4285,08	56,09	0,03	0,04
:	:	:	:	:	:	:
01.09.2021	6750,00	58,26	5874,15	59,38	0,13	0,02
02.09.2021	6750,00	57,74	6324,72	59,51	0,06	0,03
:	:	:	:	:	:	:
08.09.2021	7416,67	54,89	7402,89	62,04	0,00	0,13
09.09.2021	7416,67	54,50	7369,08	63,33	0,01	0,16
<b>Ortalama MAPE (%)</b>					<b>16,43</b>	<b>8,28</b>

Veri seti uzun olduğu için bir kısmı verilmiştir.

Çizelge 3.4'te gösterilen WEKA programı ile su (ml) ve boy (cm) için yapılan Sequential Minimal Optimization Regression algoritması analizleri ortalama MAPE değerleri; su (ml) denklemini için % 16,43 ve boy (cm) denklemini için % 8,28 olarak hesaplanmıştır.

### 3.4. MLP Sonuçları

WEKA programının Multi-Layer Perceptron algoritmasında 19.07.2021 ile 09.09.2021 tarihleri arasında elde edilen veri seti kullanılarak regresyon modeli oluşturulmuştur. Regresyon analizi sonuçlarını gerçek değerlerle karşılaştırmak için modellerin MAPE değerleri incelenmiştir.

WEKA programı Multi-Layer Perceptron algoritması ile elde edilen tahmini su (ml) ve boy (cm) değerleri ile MAPE değerleri Çizelge 3.5'te verilmiştir.

**Çizelge 3.5** WEKA programı MLP algoritması su (ml) ve boy (cm) için tahmin sonuçları MAPE değerleri

Tarih	Gerçek		Tahmin		MAPE	
	Su (ml)	Boy (cm)	Su (ml)	Boy (cm)	Su (ml)	Boy (cm)
19.07.2021	0,00	13,00	249,68	13,47	0,00	0,04
20.07.2021	0,00	14,10	185,59	14,58	0,00	0,03
:	:	:	:	:	:	:
31.07.2021	500,00	26,20	720,37	26,34	0,44	0,01
01.08.2021	500,00	27,30	757,09	27,75	0,51	0,02
:	:	:	:	:	:	:
10.08.2021	1750,00	47,83	1594,51	47,23	0,09	0,01
11.08.2021	1750,00	49,19	1959,40	50,10	0,12	0,02
:	:	:	:	:	:	:
21.08.2021	4416,67	57,80	4131,77	58,29	0,06	0,01
22.08.2021	4416,67	58,16	4454,58	59,51	0,01	0,02
:	:	:	:	:	:	:
01.09.2021	6750,00	58,26	6678,58	58,10	0,01	0,00
02.09.2021	6750,00	57,74	7094,54	58,43	0,05	0,01
:	:	:	:	:	:	:
08.09.2021	7416,67	54,89	7663,45	55,36	0,03	0,01
09.09.2021	7416,67	54,50	7729,99	55,55	0,04	0,02
<b>Ortalama MAPE (%)</b>					<b>12,42</b>	<b>1,52</b>

Veri seti uzun olduğu için bir kısmı verilmiştir.

Çizelge 3.5'te gösterilen WEKA programı ile su (ml) ve boy (cm) için yapılan Multi-Layer Perceptron algoritması analizleri ortalama MAPE değerleri; su (ml) için % 12,42 ve boy (cm) için % 1,52 olarak hesaplanmıştır.

### 3.5. MS Sonuçları

WEKA programının Multi Search algoritmasında 19.07.2021 ile 09.09.2021 tarihleri arasında elde edilen veri seti kullanılarak regresyon modeli oluşturulmuştur.

Regresyon analizi sonuçlarını gerçek değerlerle karşılaştırmak için modellerin MAPE değerleri incelenmiştir.

Bu modele göre regresyon denkleminin matematiksel ifadesi su (ml) için Denklem 3.6'da ve boy (cm) için Denklem 3.7'de verilmiştir.

$$\begin{aligned} \text{Su (ml)} = & -23962,3973 + 249,875 \cdot \text{Gün} + 16,7371 \cdot \text{Toprak (\%)} \\ & - 0,6716 \cdot \text{Sıcaklık (}^\circ\text{C)} + 12,9238 \cdot \text{Nem (\%)} \\ & + 323,4106 \cdot \text{Işık (\%)} \end{aligned} \quad (3.6)$$

$$\begin{aligned} \text{Boy (cm)} = & 67,6021 + 1,6731 \cdot \text{Gün} + 0,0994 \cdot \text{Toprak (\%)} + 1,0691 \\ & \cdot \text{Sıcaklık (}^\circ\text{C)} + 0,295 \cdot \text{Nem (\%)} - 1,8158 \cdot \text{Işık (\%)} \\ & - 0,006 \cdot \text{Su (ml)} \end{aligned} \quad (3.7)$$

WEKA programı Multi Search algoritması ile elde edilen denkleme göre tahmini su (ml) ve boy (cm) değerleri ile MAPE değerleri Çizelge 3.6'da verilmiştir.

**Çizelge 3.6** WEKA programı MS algoritması su (ml) ve boy (cm) için tahmin sonuçları MAPE değerleri

Tarih	Gerçek		Tahmin		MAPE	
	Su (ml)	Boy (cm)	Su (ml)	Boy (cm)	Su (ml)	Boy (cm)
19.07.2021	0,00	13,00	-413,55	6,23	0,00	0,52
20.07.2021	0,00	14,10	20,45	11,09	0,00	0,21
:	:	:	:	:	:	:
31.07.2021	500,00	26,20	946,93	29,54	0,89	0,13
01.08.2021	500,00	27,30	1097,86	29,82	1,20	0,09
:	:	:	:	:	:	:
10.08.2021	1750,00	47,83	1650,08	44,08	0,06	0,08
11.08.2021	1750,00	49,19	1545,08	50,45	0,12	0,03
:	:	:	:	:	:	:
21.08.2021	4416,67	57,80	3725,24	50,10	0,16	0,13
22.08.2021	4416,67	58,16	4372,02	55,40	0,01	0,05
:	:	:	:	:	:	:
01.09.2021	6750,00	58,26	6114,79	59,32	0,09	0,02
02.09.2021	6750,00	57,74	6726,30	61,30	0,00	0,06
:	:	:	:	:	:	:
08.09.2021	7416,67	54,89	7199,59	55,74	0,03	0,02
09.09.2021	7416,67	54,50	7055,12	59,33	0,05	0,09
<b>Ortalama MAPE (%)</b>					<b>18,43</b>	<b>6,91</b>

Veri seti uzun olduğu için bir kısmı verilmiştir.

Çizelge 3.6'da gösterilen WEKA programı ile su (ml) ve boy (cm) için yapılan Multi Search algoritması analizleri ortalama MAPE değerleri; su (ml) denklemi için % 18,43 ve boy (cm) denklemi için % 6,91 olarak hesaplanmıştır.

### 3.6. M5Rules Sonuçları

WEKA programının M5Rules algoritmasında 19.07.2021 ile 09.09.2021 tarihleri arasında elde edilen veri seti kullanılarak regresyon modeli oluşturulmuştur. Regresyon analizi sonuçlarını gerçek değerlerle karşılaştırmak için modellerin MAPE değerleri incelenmiştir.

WEKA programı M5Rules algoritması ile elde edilen tahmini su (ml) ve boy (cm) değerleri ile MAPE değerleri Çizelge 3.7’de verilmiştir.

**Çizelge 3.7** WEKA programı M5Rules algoritması su (ml) ve boy (cm) için tahmin sonuçları MAPE değerleri

Tarih	Gerçek		Tahmin		MAPE	
	Su (ml)	Boy (cm)	Su (ml)	Boy (cm)	Su (ml)	Boy (cm)
19.07.2021	0,00	13,00	-391,92	14,65	0,00	0,13
20.07.2021	0,00	14,10	-285,05	15,80	0,00	0,12
:	:	:	:	:	:	:
31.07.2021	500,00	26,20	287,83	28,43	0,42	0,09
01.08.2021	500,00	27,30	444,00	31,42	0,11	0,15
:	:	:	:	:	:	:
10.08.2021	1750,00	47,83	1369,23	47,21	0,22	0,01
11.08.2021	1750,00	49,19	1567,31	48,21	0,10	0,02
:	:	:	:	:	:	:
21.08.2021	4416,67	57,80	3995,62	55,96	0,10	0,03
22.08.2021	4416,67	58,16	4196,67	58,17	0,05	0,00
:	:	:	:	:	:	:
01.09.2021	6750,00	58,26	6750,00	58,19	0,00	0,00
02.09.2021	6750,00	57,74	6750,00	58,05	0,00	0,01
:	:	:	:	:	:	:
08.09.2021	7416,67	54,89	7689,54	55,39	0,04	0,01
09.09.2021	7416,67	54,50	7862,36	56,06	0,06	0,03
<b>Ortalama MAPE (%)</b>					<b>9,28</b>	<b>4,75</b>

Veri seti uzun olduğu için bir kısmı verilmiştir.

Çizelge 3.7’de gösterilen WEKA programı ile su (ml) ve boy (cm) için yapılan M5Rules algoritması analizleri ortalama MAPE değerleri; su (ml) için % 9,28 ve boy (cm) için % 4,75 olarak hesaplanmıştır.

### 3.7. Minitab Programı Regresyon Sonuçları

Minitab programının Fit Regression Model algoritmasında 19.07.2021 ile 09.09.2021 tarihleri arasında elde edilen veri seti kullanılarak regresyon modeli oluşturulmuştur. P-değeri ve varyans enflasyon faktörü (variance inflation factor, VIF)

katsayılarına bakılarak oluşturulan modelde matematiksel anlamlılık sağlanmaya çalışılmıştır. Regresyon analizi sonuçlarını gerçek değerlerle karşılaştırmak için modellerin  $R^2$  ve MAPE değerleri incelenmiştir.

P-değeri, çıktı ile modele girilen her bir veri arasındaki korelasyonun matematiksel anlamlılığını tespit etmemizi sağlar. P-değerinin anlamlılık düzeyi ( $\alpha$ ) çoğunlukla 0,05 olarak alınır. Bu değer, çıktı ile girdi arasında gerçek bir korelasyon olup olmadığını çıkarma hatasının % 5 olduğunu gösterir. P-değeri  $\leq \alpha$  ise, çıktı ile girdi arasındaki korelasyon matematiksel olarak anlamlıdır. P-değeri  $> \alpha$  ise, bağıntı matematiksel olarak anlamlı değildir ve bu girdi çıkarılarak modelin yeniden yapılandırılması gerekir (<https://support.minitab.com/en-us/minitab/19/help-and-how-to/statistical-modeling/regression/how-to/fit-regression-model/interpret-the-results/key-results/?SID=112500>).

VIF, bağımsız bir girdinin varyansının, diğer bağımsız girdilerle olan korelasyonundan ne kadar etkilendiğidir. VIF değerinin 5'ten büyük olması çoklu bağlantı olduğu bu nedenle Multiple Regression yapılarak modelin yeniden oluşturulması gerektiği anlamına gelir (<https://support.minitab.com/en-us/minitab/19/help-and-how-to/statistical-modeling/regression/supporting-topics/regression-models/model-reduction/>).

$R^2$  değeri, modelin yüzde olarak verilere ne kadar iyi uyduğunu gösterir.  $R^2$  değeri ne kadar yüksek olursa model o kadar uyumlu olur. Modele daha sonradan bir girdi eklemek  $R^2$  değerini artırır. Aynı sayıda değişkene sahip modelleri karşılaştırırken kullanılabilir. Farklı sayıda değişkene sahip modeller karşılaştırılacaksa,  $R^2(\text{adj})$  değerine bakılmalıdır. Model üzerinde yeni gözlemler yapıldığında,  $R^2(\text{pred})$  değeri ile karşılaştırma daha iyi sonuçlar vermektedir (<https://support.minitab.com/en-us/minitab/19/help-and-how-to/statistical-modeling/regression/how-to/fit-regression-model/interpret-the-results/key-results/?SID=112500>).

Gün, toprak (%), sıcaklık (°C), nem (%), ışık (%) bağımsız değişken ve su (ml) bağımlı değişken seçilerek Minitab programında regresyon analizi yapılmıştır. Minitab programı analiz sonucunda oluşan modelin katsayıları Çizelge 3.8'de verilmiştir.

**Çizelge 3.8** Minitab programı su (ml) için regresyon analizi Katsayılar tablosu

Term	Coef	SE Coef	T-Değeri	P-Değeri	VIF
Constant	-23957	4252	-5,63	0,000	
Gün	249,8	15,0	16,66	0,000	11,39
Toprak (%)	16,72	5,65	2,96	0,005	1,80
Sıcaklık (°C)	-0,5	38,6	-0,01	0,989	1,71
Nem (%)	13,0	14,3	0,91	0,369	1,85
Işık (%)	323,3	60,6	5,33	0,000	10,29

Çizelge 3.8’de gösterilen Minitab programı ile su (ml) için oluşturulan modeldeki VIF değerleri; gün için 11,39; toprak (%) için 1,80; sıcaklık (°C) için 1,71; nem (%) için 1,85 ve ışık (%) için 10,29’dur. Gün ile ışık (%) verileri için VIF değeri 5’ten büyük olduğu için çoklu bağlantının olduğu bu nedenle Multiple Regression uygulanması gerektiği görülmektedir.

Yine Çizelge 3.8’de gösterilen P-değerleri; gün için 0,000; toprak (%) için 0,005; sıcaklık (°C) için 0,989; nem (%) için 0,369 ve ışık (%) için 0,000’dır. Sıcaklık (°C) ve nem (%) verilerinin P-değeri, anlamlılık düzeyinden ( $\alpha = 0,05$ ) büyük olduğundan, önce en büyük P-değeri 0,989 olan sıcaklık (°C) değişkeni veri setinden çıkarılmalıdır. Model yeniden oluşturulmalı ve P-değerleri yeniden incelenmelidir.

Bu modele göre su (ml) için regresyon denkleminin matematiksel ifadesi Denklem 3.8’de verilmiştir.

$$\text{Su (ml) [1]} = -23957 + 249,8 \cdot \text{Gün} + 16,72 \cdot \text{Toprak (\%)} - 0,5 \cdot \text{Sıcaklık (°C)} + 13,0 \cdot \text{Nem (\%)} + 323,3 \cdot \text{Işık (\%)} \quad (3.8)$$

Sıcaklık (°C) değişkeninin veri setinden çıkarılmasıyla oluşturulan yeni modelin katsayıları Çizelge 3.9’da verilmiştir.

**Çizelge 3.9** Sıcaklık (°C) değişkeni çıkarılarak Minitab programı su (ml) için regresyon analizi Katsayılar tablosu

Term	Coef	SE Coef	T-Değeri	P-Değeri	VIF
Constant	-23971	4086	-5,87	0,000	
Gün	249,8	14,8	16,90	0,000	11,29
Toprak (%)	16,69	5,24	3,19	0,003	1,58
Nem (%)	13,1	11,9	1,10	0,277	1,31
Işık (%)	323,2	59,7	5,41	0,000	10,20

Çizelge 3.9’da gösterilen Minitab programı ile su (ml) için oluşturulan modeldeki P-değerleri; gün için 0,000; toprak (%) için 0,003; nem (%) için 0,277 ve ışık (%) için 0,000’dır. Nem (%) verisinin P-değeri, anlamlılık düzeyinden ( $\alpha = 0,05$ ) büyük

olduğundan, P-değeri 0,277 olan nem (%) değişkeni veri setinden çıkarılmalıdır. Model yeniden oluşturulmalı ve P-değerleri yeniden incelenmelidir.

Sıcaklık (°C) değişkeninin çıkarıldığı modele göre su (ml) için regresyon denkleminin matematiksel ifadesi Denklem 3.9'da verilmiştir.

$$\text{Su (ml) [2]} = -23971 + 249,8 \cdot \text{Gün} + 16,69 \cdot \text{Toprak (\%)} + 13,1 \cdot \text{Nem (\%)} + 323,2 \cdot \text{Işık (\%)} \quad (3.9)$$

Nem (%) değişkeninin veri setinden çıkarılmasıyla oluşturulan yeni modelin katsayıları Çizelge 3.10'da verilmiştir.

**Çizelge 3.10** Nem (°C) değişkeni çıkarılarak Minitab programı su (ml) için regresyon analizi Katsayılar tablosu

Term	Coef	SE Coef	T-Değeri	P-Değeri	VIF
Constant	-21592	3474	-6,21	0,000	
Gün	242,9	13,4	18,10	0,000	9,28
Toprak (%)	17,08	5,24	3,26	0,002	1,57
Işık (%)	293,0	53,1	5,51	0,000	8,04

Çizelge 3.10'da gösterilen Minitab programı ile su (ml) için oluşturulan modeldeki P-değerleri; gün için 0,000; toprak (%) için 0,002 ve ışık (%) için 0,000'dır. Bu formu ile model, P-değerine göre en anlamlı hale getirilmiştir

Sıcaklık (°C) ve nem (%) değişkenlerinin çıkarıldığı modele göre su (ml) için regresyon denkleminin matematiksel ifadesi Denklem 3.10'da verilmiştir.

$$\text{Su (ml) [3]} = -21592 + 242,9 \cdot \text{Gün} + 17,08 \cdot \text{Toprak (\%)} + 293,0 \cdot \text{Işık (\%)} \quad (3.10)$$

Çizelge 3.8'de gösterilen Minitab programı ile su (ml) için oluşturulan modeldeki gün ile ışık (%) verileri için VIF değerinin 5'ten büyük olması sonucu veri setine Multiple Regression uygulanmıştır. Oluşturulan yeni modelde su (ml) için çoklu regresyon denkleminin matematiksel ifadesi Denklem 3.11'de verilmiştir.

$$\begin{aligned} \text{Su (ml) [4]} = & -150137 + 1658 \cdot \text{Gün} + 174,0 \cdot \text{Toprak (\%)} + 52,6 \\ & \cdot \text{Sıcaklık (°C)} + 77,1 \cdot \text{Nem(\%)} + 4375 \cdot \text{Işık (\%)} \\ & - 32,37 \cdot \text{Işık (\%)} \cdot \text{Işık(\%)} - 26,78 \cdot \text{Gün} \cdot \text{Işık (\%)} \\ & - 0,941 \cdot \text{Toprak (\%)} \cdot \text{Nem (\%)} - 2,45 \cdot \text{Toprak (\%)} \\ & \cdot \text{Işık (\%)} \end{aligned} \quad (3.11)$$

Minitab programı ile elde edilen denklemlere göre tahmini su (ml) değerleri ve MAPE değerleri Çizelge 3.11’de verilmiştir.

**Çizelge 3.11** Su (ml) için Minitab programı ile elde edilen tahmin sonuçlarının MAPE değerleri

Tarih	Gerçek	Tahmin				MAPE			
	Su (ml)	Su (ml) [1]	Su (ml) [2]	Su (ml) [3]	Su (ml) [4]	MAPE [1]	MAPE [2]	MAPE [3]	MAPE [4]
19.07.2021	0,00	-408,80	-411,29	-360,03	-559,10	0,00	0,00	0,00	0,00
20.07.2021	0,00	26,02	24,40	-120,09	492,26	0,00	0,00	0,00	0,00
:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
31.07.2021	500,00	951,47	949,03	979,52	322,42	0,90	0,90	0,96	0,36
01.08.2021	500,00	1102,32	1099,92	1137,70	252,83	1,20	1,20	1,28	0,49
:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
10.08.2021	1750,00	1655,32	1654,00	1574,99	2554,99	0,05	0,05	0,10	0,46
11.08.2021	1750,00	1549,99	1547,53	1508,07	3145,47	0,11	0,12	0,14	0,80
:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
21.08.2021	4416,67	3729,58	3727,87	3672,22	4570,37	0,16	0,16	0,17	0,03
22.08.2021	4416,67	4375,84	4373,92	4379,84	4686,26	0,01	0,01	0,01	0,06
:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
01.09.2021	6750,00	6119,28	6119,99	5994,68	7015,55	0,09	0,09	0,11	0,04
02.09.2021	6750,00	6729,94	6728,71	6598,23	7708,15	0,00	0,00	0,02	0,14
:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
08.09.2021	7416,67	7201,76	7198,79	7245,70	7263,38	0,03	0,03	0,02	0,02
09.09.2021	7416,67	7057,86	7056,48	7117,96	7550,50	0,05	0,05	0,04	0,02
<b>Ortalama MAPE (%)</b>						<b>18,51</b>	<b>18,48</b>	<b>19,23</b>	<b>23,25</b>

Veri seti uzun olduğu için bir kısmı verilmiştir.

Çizelge 3.11’de gösterilen Minitab programı ile su (ml) için yapılan regresyon analizleri ortalama MAPE değerleri; su (ml) [1] denklemi için % 18,51; su (ml) [2] denklemi için % 18,48; su (ml) [3] denklemi için % 19,23 ve su (ml) [4] denklemi için % 23,25 olarak hesaplanmıştır.

Oluşturulan regresyon modellerinin  $R^2$  değerleri Çizelge 3.12’de verilmiştir.

**Çizelge 3.12** Su (ml) için yapılan analizlerin Model Özetleri

	Su (ml)[1]	Su (ml)[2]	Su (ml)[3]	Su (ml)[4]
S	494,923	489,741	490,788	-
$R^2$ (%)	96,90	96,90	96,82	99,34
$R^2$ (adj) (%)	96,57	96,64	96,63	-
$R^2$ (pred) (%)	96,20	96,34	96,40	-

Çizelge 3.12’de gösterilen Minitab programı ile su (ml) için yapılan regresyon analizleri  $R^2$  değerleri; su (ml) [1] denklemi için % 96,90; su (ml) [2] denklemi için % 96,90; su (ml) [3] denklemi için % 96,82 ve su (ml) [4] denklemi için % 99,34 olarak görülmektedir. Model üzerinde yeni gözlemler yapıldığından  $R^2$ (pred) değerlerinin

incelenmesi gerekmektedir. Çizelge 3.12'deki  $R^2(\text{pred})$  değerleri; su (ml) [1] denklemi için % 96,20; su (ml) [2] denklemi için % 96,34 ve su (ml) [3] denklemi için % 96,40'tır.

Fit Regression Model algoritması ile su (ml) için yapılan regresyon analizleri sonucuna göre  $R^2(\text{pred})$  değerlerine bakılarak veri setimize en uygun modelin % 96,40 ile su (ml) [3] denklemi olduğu görülmektedir. Su (ml) [3] denklemi için ortalama MAPE % 19,23 olarak hesaplanmıştır. Multiple Regression algoritması ile su (ml) için yapılan regresyon analizi sonucuna göre su (ml) [4] denklemi için ortalama MAPE % 23,25 olarak hesaplanmıştır. WEKA programı ile yapılan analizler sonucu elde edilen ortalama MAPE değerleri ile su (ml) [3] ve su (ml) [4] denklemlerinin ortalama MAPE değerleri karşılaştırılacaktır.

Gün, toprak (%), sıcaklık ( $^{\circ}\text{C}$ ), nem (%), ışık (%), su (ml) bağımsız değişken ve boy (cm) bağımlı değişken seçilerek Minitab programında regresyon analizi yapılmıştır. Minitab programı analiz sonucunda oluşan modelin katsayıları Çizelge 3.13'te verilmiştir.

**Çizelge 3.13** Minitab programı boy (cm) için regresyon analizi Katsayılar tablosu

Term	Coef	SE Coef	T-Değeri	P-Değeri	VIF
Constant	67,4	37,5	1,80	0,079	
Gün	1,675	0,269	6,24	0,000	78,62
Toprak (%)	0,0996	0,0419	2,37	0,022	2,13
Sıcaklık ( $^{\circ}\text{C}$ )	1,069	0,263	4,07	0,000	1,71
Nem (%)	0,2950	0,0982	3,01	0,004	1,88
Işık (%)	-1,813	0,523	-3,47	0,001	16,51
Su (ml)	-0,005995	0,000994	-6,03	0,000	32,24

Çizelge 3.13'te gösterilen Minitab programı ile boy (cm) için oluşturulan modeldeki VIF değerleri; gün için 78,62; toprak (%) için 2,13; sıcaklık ( $^{\circ}\text{C}$ ) için 1,71; nem (%) için 1,88; ışık (%) için 16,51 ve su (ml) için 32,24'tür. Gün, ışık (%) ve su (ml) verileri için VIF değeri 5'ten büyük olduğu için çoklu bağlantının olduğu bu nedenle Multiple Regression uygulanması gerektiği görülmektedir.

Yine Çizelge 3.13'te gösterilen P-değerleri; gün için 0,000; toprak (%) için 0,022; sıcaklık ( $^{\circ}\text{C}$ ) için 0,000; nem (%) için 0,004; ışık (%) için 0,001 ve su (ml) için 0,000'dır. Verilen P-değerleri, anlamlılık düzeyinden ( $\alpha = 0,05$ ) küçük olduğundan model veri setimize uygundur denilebilir.

Bu modele göre boy (cm) için regresyon denkleminin matematiksel ifadesi Denklem 3.12'de verilmiştir.

$$\begin{aligned} \text{Boy (cm) [1]} = & 67,4 + 1,675 \cdot \text{Gün} + 0,0996 \cdot \text{Toprak (\%)} + 1,069 \\ & \cdot \text{Sıcaklık (}^\circ\text{C)} + 0,2950 \cdot \text{Nem (\%)} - 1,813 \cdot \text{Işık (\%)} \\ & - 0,005995 \cdot \text{Su (ml)} \end{aligned} \quad (3.12)$$

Çizelge 3.13'te gösterilen Minitab programı ile boy (cm) için oluşturulan modeldeki gün, ışık (%) ve su (ml) verileri için VIF değerinin 5'ten büyük olması sonucu veri setine Multiple Regression uygulanmıştır. Minitab programında Multiple Regression için en fazla beş bağımsız değişken girilebilmektedir. Veri setimizde altı bağımsız değişken olduğu için her seferinde bir bağımsız değişken çıkarılarak Multiple Regression uygulanmıştır. Oluşturulan modeller arasından veri seti için en uygun modelin bulunması için  $R^2$  değerleri kontrol edilmiştir. Oluşturulan yeni modellerin boy (cm) için çoklu regresyon denklemlerinin matematiksel ifadeleri; su (ml) çıkarıldığında Denklem 3.13'te, ışık (%) çıkarıldığında Denklem 3.14'te, nem (%) çıkarıldığında Denklem 3.15'te, sıcaklık ( $^\circ\text{C}$ ) çıkarıldığında Denklem 3.16'da, toprak (%) çıkarıldığında Denklem 3.17'de ve gün çıkarıldığında Denklem 3.18'de verilmiştir.

$$\begin{aligned} \text{Boy (cm) [2]} = & -1551 + 23,67 \cdot \text{Gün} - 1,287 \cdot \text{Toprak (\%)} - 6,40 \\ & \cdot \text{Sıcaklık (}^\circ\text{C)} + 0,2630 \cdot \text{Nem (\%)} + 52,0 \cdot \text{Işık (\%)} \\ & - 0,07534 \cdot \text{Gün} \cdot \text{Gün} + 0,1002 \cdot \text{Nem (\%)} \cdot \text{Nem (\%)} \\ & - 0,413 \cdot \text{Işık (\%)} \cdot \text{Işık (\%)} - 0,00569 \cdot \text{Gün} \cdot \text{Nem (\%)} \\ & - 0,3298 \cdot \text{Gün} \cdot \text{Işık (\%)} + 0,02303 \cdot \text{Toprak (\%)} \\ & \cdot \text{Işık (\%)} \end{aligned} \quad (3.13)$$

$$\begin{aligned} \text{Boy (cm) [3]} = & -9,35 + 1,2450 \cdot \text{Gün} + 0,1757 \cdot \text{Toprak (\%)} + 0,451 \\ & \cdot \text{Nem (\%)} + 0,005674 \cdot \text{Su (mL)} - 0,000001 \cdot \text{Su (mL)} \\ & \cdot \text{Su (mL)} - 0,00379 \cdot \text{Toprak (\%)} \cdot \text{Nem (\%)} \end{aligned} \quad (3.14)$$

$$\begin{aligned} \text{Boy (cm) [4]} = & -1514 + 23,23 \cdot \text{Gün} - 0,345 \cdot \text{Toprak (\%)} - 1,592 \\ & \cdot \text{Sıcaklık (}^\circ\text{C)} + 48,49 \cdot \text{Işık (\%)} - 0,05439 \cdot \text{Su (ml)} \\ & - 0,3714 \cdot \text{Işık (\%)} \cdot \text{Işık (\%)} + 0,000002 \cdot \text{Su (ml)} \\ & \cdot \text{Su (ml)} - 0,3616 \cdot \text{Gün} \cdot \text{Işık (\%)} - 0,000643 \cdot \text{Gün} \\ & \cdot \text{Su (ml)} + 0,01065 \cdot \text{Toprak (\%)} \cdot \text{Sıcaklık (}^\circ\text{C)} \\ & + 0,000144 \cdot \text{Sıcaklık (}^\circ\text{C)} \cdot \text{Su (ml)} + 0,001016 \\ & \cdot \text{Işık (\%)} \cdot \text{Su (ml)} \end{aligned} \quad (3.15)$$

$$\begin{aligned} \text{Boy (cm) [5]} = & -1642 + 22,27 \cdot \text{Gün} + 0,1214 \cdot \text{Toprak (\%)} + 0,432 \\ & \cdot \text{Nem (\%)} + 50,81 \cdot \text{Işık (\%)} - 0,03274 \cdot \text{Su (ml)} \\ & - 0,3929 \cdot \text{Işık (\%)} \cdot \text{Işık (\%)} + 0,000002 \cdot \text{Su (ml)} \\ & \cdot \text{Su (ml)} - 0,3445 \cdot \text{Gün} \cdot \text{Işık (\%)} - 0,000627 \cdot \text{Gün} \\ & \cdot \text{Su (ml)} - 0,00356 \cdot \text{Toprak (\%)} \cdot \text{Nem (\%)} \\ & - 0,000038 \cdot \text{Nem (\%)} \cdot \text{Su (ml)} + 0,000729 \cdot \text{Işık (\%)} \\ & \cdot \text{Su (ml)} \end{aligned} \quad (3.16)$$

$$\begin{aligned}
\text{Boy (cm) [6]} = & -1646 + 22,54 \cdot \text{Gün} + 0,1490 \cdot \text{Nem (\%)} + 51,16 \\
& \cdot \text{Işık (\%)} - 0,03542 \cdot \text{Su (ml)} - 0,3952 \cdot \text{Işık (\%)} \\
& \cdot \text{Işık (\%)} + 0,000002 \cdot \text{Su (ml)} \cdot \text{Su(ml)} - 0,3488 \cdot \text{Gün} \quad (3.17) \\
& \cdot \text{Işık (\%)} - 0,000647 \cdot \text{Gün} \cdot \text{Su(ml)} - 0,000028 \\
& \cdot \text{Nem (\%)} \cdot \text{Su (ml)} + 0,000776 \cdot \text{Işık (\%)} \cdot \text{Su (ml)}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Boy (cm) [7]} = & 132,0 - 0,473 \cdot \text{Sıcaklık (°C)} - 1,574 \cdot \text{Işık (\%)} \\
& - 0,0319 \cdot \text{Su (ml)} - 0,000001 \cdot \text{Su (ml)} \cdot \text{Su(ml)} \quad (3.18) \\
& + 0,000787 \cdot \text{Işık (\%)} \cdot \text{Su (ml)}
\end{aligned}$$

Minitab programı ile elde edilen denklemlere göre tahmini boy (cm) değerleri Çizelge 3.14'te verilmiştir.

**Çizelge 3.14** Boy (cm) için Minitab programı ile elde edilen tahmin değerleri

Tarih	Gerçek	Tahmin						
	Boy (cm)	Boy (cm)[1]	Boy (cm)[2]	Boy (cm)[3]	Boy (cm)[4]	Boy (cm)[5]	Boy (cm)[6]	Boy (cm)[7]
19.07.2021	13,00	6,23	13,34	11,24	14,04	13,71	12,74	10,88
20.07.2021	14,10	11,09	17,77	13,72	14,12	14,57	14,50	11,49
:	:	:	:	:	:	:	:	:
31.07.2021	26,20	29,55	31,97	28,70	26,87	27,68	27,06	27,48
01.08.2021	27,30	29,83	31,84	29,36	27,31	28,07	27,45	27,33
:	:	:	:	:	:	:	:	:
10.08.2021	47,83	44,10	48,92	46,97	47,79	49,13	47,43	47,38
11.08.2021	49,19	50,46	52,22	48,63	49,65	50,05	49,04	48,75
:	:	:	:	:	:	:	:	:
21.08.2021	57,80	50,14	61,85	58,88	61,85	64,17	61,70	61,09
22.08.2021	58,16	55,45	60,72	59,84	61,82	64,11	62,23	60,10
:	:	:	:	:	:	:	:	:
01.09.2021	58,26	59,40	60,88	59,88	66,97	72,59	67,69	56,45
02.09.2021	57,74	61,38	59,22	61,46	66,65	71,52	67,47	56,93
:	:	:	:	:	:	:	:	:
08.09.2021	54,89	55,83	55,17	57,51	64,78	71,27	65,94	54,40
09.09.2021	54,50	59,41	57,43	57,49	64,89	72,00	66,84	51,17

Veri seti uzun olduğu için bir kısmı verilmiştir.

Minitab programı ile elde edilen denklemlere göre tahmini boy (cm) değerleri için MAPE değerleri Çizelge 3.15'te verilmiştir.

**Çizelge 3.15** Boy (cm) için Minitab programı ile elde edilen tahmin sonuçlarının MAPE değerleri

Tarih	MAPE						
	Boy (cm)[1]	Boy (cm)[2]	Boy (cm)[3]	Boy (cm)[4]	Boy (cm)[5]	Boy (cm)[6]	Boy (cm)[7]
19.07.2021	0,52	0,03	0,14	0,08	0,05	0,02	0,16
20.07.2021	0,21	0,26	0,03	0,00	0,03	0,03	0,19
:	:	:	:	:	:	:	:
31.07.2021	0,13	0,22	0,10	0,03	0,06	0,03	0,05
01.08.2021	0,09	0,17	0,08	0,00	0,03	0,01	0,00
:	:	:	:	:	:	:	:
10.08.2021	0,08	0,02	0,02	0,00	0,03	0,01	0,01
11.08.2021	0,03	0,06	0,01	0,01	0,02	0,00	0,01
:	:	:	:	:	:	:	:
21.08.2021	0,13	0,07	0,02	0,07	0,11	0,07	0,06
22.08.2021	0,05	0,04	0,03	0,06	0,10	0,07	0,03
:	:	:	:	:	:	:	:
01.09.2021	0,02	0,04	0,03	0,15	0,25	0,16	0,03
02.09.2021	0,06	0,03	0,06	0,15	0,24	0,17	0,01
:	:	:	:	:	:	:	:
08.09.2021	0,02	0,01	0,05	0,18	0,30	0,20	0,01
09.09.2021	0,09	0,05	0,05	0,19	0,32	0,23	0,06
<b>Ortalama MAPE (%)</b>	<b>6,91</b>	<b>7,82</b>	<b>3,64</b>	<b>6,53</b>	<b>10,45</b>	<b>7,02</b>	<b>5,98</b>

Veri seti uzun olduğu için bir kısmı verilmiştir.

Çizelge 3.15'te gösterilen Minitab programı ile boy (cm) için yapılan regresyon analizleri ortalama MAPE değerleri; boy (cm) [1] denklemi için % 6,91; boy (cm) [2] denklemi için % 7,82; boy (cm) [3] denklemi için % 3,64; boy (cm) [4] denklemi için % 6,53; boy (cm) [5] denklemi için % 10,45; boy (cm) [6] denklemi için % 7,02 ve boy (cm) [7] denklemi için % 5,98 olarak hesaplanmıştır.

Oluşturulan regresyon modellerinin  $R^2$  değerleri Çizelge 3.16'da verilmiştir.

**Çizelge 3.16** Boy (cm) için yapılan analizlerin Model Özetleri

	Boy (cm)[1]	Boy (cm)[2]	Boy (cm)[3]	Boy (cm)[4]	Boy (cm)[5]	Boy (cm)[6]	Boy (cm)[7]
S	3,7233	-	-	-	-	-	-
$R^2$ (%)	96,27	99,27	99,37	99,84	99,79	99,76	98,07
$R^2$ (adj) (%)	95,78	-	-	-	-	-	-
$R^2$ (pred) (%)	94,91	-	-	-	-	-	-

Çizelge 3.16'da gösterilen Minitab programı ile boy (cm) için yapılan regresyon analizleri  $R^2$  değerleri; boy (cm) [1] denklemi için % 96,27; boy (cm) [2] denklemi için % 99,27; boy (cm) [3] denklemi için % 99,37; boy (cm) [4] denklemi için % 99,84; boy (cm) [5] denklemi için % 99,79; boy (cm) [6] denklemi için % 99,76 ve boy (cm) [7] denklemi için % 98,07 olarak görülmektedir. Multiple Regression algoritması

uygulanarak elde edilen modeller aynı sayıda değişken içerdiğinden, karşılaştırılırken  $R^2$  değerlerine bakılmalıdır.

Fit Regression Model algoritması ile boy (cm) için yapılan regresyon analizi sonucuna göre boy (cm) [1] denklemi için ortalama MAPE % 6,91 olarak hesaplanmıştır. Multiple Regression algoritması ile boy (cm) için yapılan regresyon analizleri sonucuna göre  $R^2$  değerlerine bakılarak veri setimize en uygun modelin % 99,84 ile boy (cm) [4] denklemi olduğu görülmektedir. Boy (cm) [4] denklemi için ortalama MAPE % 6,53 olarak hesaplanmıştır. WEKA programı ile yapılan analizler sonucu elde edilen ortalama MAPE değerleri ile boy (cm) [1] ve boy (cm) [4] denklemlerinin ortalama MAPE değerleri karşılaştırılacaktır.

Sonuç olarak 19.07.2021 – 09.09.2021 tarihleri arası veriler için kullandığımız sekiz farklı algoritma ile su (ml) ve boy (cm) için ortalama MAPE değerlerinin karşılaştırılması Çizelge 3.17’de gösterilmiştir.

**Çizelge 3.17** 19.07.2021 – 09.09.2021 tarihleri arası verileri kullanılarak sekiz farklı algoritma ile su (ml) ve boy (cm) ortalama MAPE değerleri

Algoritma	Ortalama MAPE (%)	
	Su (ml)	Boy (cm)
<b>WEKA LR</b>	19,22	10,54
<b>WEKA GPR</b>	38,86	13,00
<b>WEKA SMOReg</b>	16,43	8,28
<b>WEKA MLP</b>	12,42	<b>1,52</b>
<b>WEKA MS</b>	18,43	6,91
<b>WEKA M5Rules</b>	<b>9,28</b>	4,75
<b>Minitab FRM</b>	19,23	6,91
<b>Minitab MR</b>	23,25	6,53

Çizelge 3.17’deki ortalama MAPE değerlerine baktığımızda; su (ml) verisi için en iyi sonucu WEKA programı M5Rules algoritmasının ve Boy (cm) verisi için en iyi sonucu WEKA programı MLP algoritmasının verdiği görülmektedir.

Girdi verilerinin çıktı verileri üzerindeki etkisi, WEKA ve Minitab programlarının algoritma denklemlerine bakılarak gözlemlenebilir. Buna göre:

Denklem 3.2 ve Denklem 3.3’te WEKA programı LR algoritmasına göre; gün, toprak (%) ve ışık (%) girdi verilerinin su (ml) çıktı verisi üzerinde artan bir etkiye sahip olduğu görülmektedir. Sıcaklık (°C) girdi verisinin boy (cm) çıktı verisi üzerinde artırıcı, ışık (%) girdi verisinin ise azaltıcı bir etkiye sahip olduğu görülmektedir.

Denklem 3.4 ve Denklem 3.5’te WEKA programı SMOReg algoritmasına göre; gün, toprak (%) ve ışık (%) girdi verilerinin su (ml) çıktı verisi üzerinde artırıcı, sıcaklık

(°C) ve nem (%) girdi verilerinin ise azaltıcı bir etkiye sahip olduğu görülmektedir. Gün, toprak (%), sıcaklık (°C) ve nem (%) girdi verilerinin boy (cm) çıktı verisi üzerinde artırıcı, ışık (%) ve su (ml) girdi verilerinin ise azaltıcı bir etkiye sahip olduğu görülmektedir.

Denklem 3.6 ve Denklem 3.7’de WEKA programı MS algoritmasına göre; gün, toprak (%), nem (%) ve ışık (%) girdi verilerinin su (ml) çıktı verisi üzerinde artırıcı, sıcaklık (°C) girdi verisinin ise azaltıcı bir etkiye sahip olduğu görülmektedir. Gün, toprak (%), sıcaklık (°C) ve nem (%) girdi verilerinin boy (cm) çıktı verisi üzerinde artırıcı, ışık (%) ve su (ml) girdi verilerinin ise azaltıcı bir etkiye sahip olduğu görülmektedir.

Denklem 3.10 ve Denklem 3.12’de Minitab programı FRM algoritmasına göre; gün, toprak (%) ve ışık (%) girdi verilerinin su (ml) çıktı verisi üzerinde artan bir etkiye sahip olduğu görülmektedir. Gün, toprak (%), sıcaklık (°C) ve nem (%) girdi verilerinin boy (cm) çıktı verisi üzerinde artırıcı, ışık (%) ve su (ml) girdi verilerinin ise azaltıcı bir etkiye sahip olduğu görülmektedir.

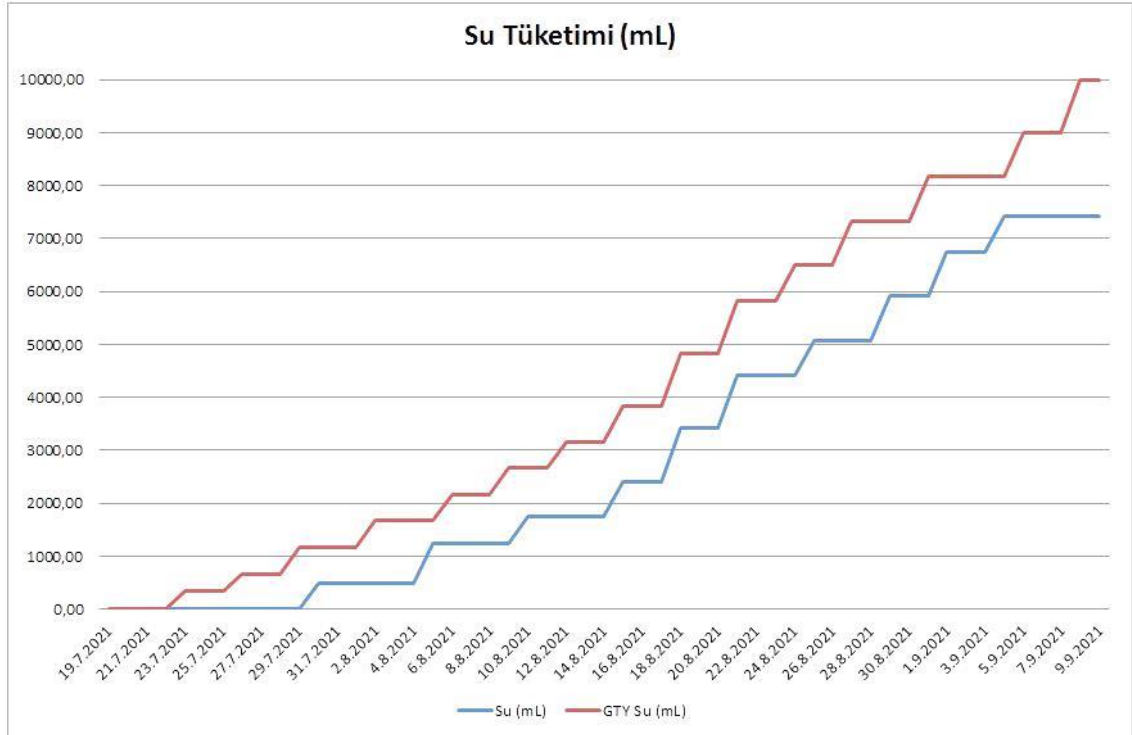
Denklem 3.11 ve Denklem 3.15’te Minitab programı MR algoritmasına göre; gün, toprak (%), sıcaklık (°C), nem ve ışık (%) girdi verilerinin su (ml) çıktı verisi üzerinde artırıcı, gün – ışık (%), toprak (%) – nem (%) ve toprak (%) – ışık (%) etkileşimlerinin ise azaltıcı bir etkiye sahip olduğu görülmektedir. Gün, ışık (%) girdi verileri, toprak (%) – sıcaklık (°C), sıcaklık (°C) – su (ml) ve ışık (%) – su (ml) etkileşimlerinin boy (cm) çıktı verisi üzerinde artırıcı, toprak (%), sıcaklık (°C), su (ml) girdi verileri, gün – ışık (%) ve gün – su (ml) etkileşimlerinin ise azaltıcı bir etkiye sahip olduğu görülmektedir.

## 4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

### 4.1 Sonuçlar

Çalışmanın sonunda aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır. 19.07.2021 – 09.09.2021 tarihleri arasındaki toprak nemi, ortam sıcaklığı, ortam nemi ve ortam ışığı verilerinin su tüketimi üzerindeki etkisi ile toprak nemi, ortam sıcaklığı, ortam nemi, ortam ışığı ve su tüketimi verilerinin bitki boyu üzerindeki etkisi ifade edilmiştir.

19.07.2021 – 09.09.2021 tarihleri arasında kablosuz algılayıcı ve eyleyici ağ kullanılarak yapılan sulama ve geleneksel tarım yöntemi kullanılarak yapılan sulama sonucunda elde edilen su tüketim verilerinin grafiği Şekil 4.1’de verilmiştir.



Şekil 4.1 Su tüketim grafiği

Çizelge 3.1’deki çalışmada toplanan veriler ve Şekil 4.1’deki su tüketim grafiği dikkate alındığında tek bir salatalık bitkisi için; kablosuz algılayıcı ve eyleyici ağ kullanılarak yapılan sulamayla 7416,67 ml su tüketildiği, geleneksel tarım yöntemi kullanılarak yapılan sulamayla 9999,99 ml su tüketildiği görülmektedir. Kablosuz algılayıcı ve eyleyici ağ kullanılarak yapılan sulamanın, geleneksel tarım yöntemi kullanılarak yapılan sulamaya göre 2583,32 ml daha az su tükettiği gözlemlenmiştir.

Buna göre, kablosuz algılayıcı ve eyleyici ağ kullanılarak yapılan sulama, geleneksel tarım yöntemi kullanılarak yapılan sulamaya göre % 25,83 daha verimlidir.

19.07.2021 – 09.09.2021 tarihleri arasında kablosuz algılayıcı ve eyleyici ağ kullanılarak yapılan sulama ve geleneksel tarım yöntemi kullanılarak yapılan sulama sonucunda elde edilen bitki boyu grafiği Şekil 4.2’de verilmiştir.



Şekil 4.2 Bitki boyu grafiği

Bitkilerin boyları aldıkları besin miktarı ve uygun koşullara göre bir miktar uzar ve uzama bitki ömrüne bağlı olarak durur ve gerileme başlar (Bolat ve Kara, 2017). Çizelge 2.1’de görüldüğü gibi çalışma sırasında da 28.08.2021 tarihinde 2. fidenin boyunda gerileme olmuştur. Daha sonra 06.09.2021 ve 11.09.2021 tarihlerinde yapılan boy ölçümlerinde 2. fidenin boy ölçümü yapılamamıştır. Bu nedenle, 28.08.2021 tarihinden itibaren kablosuz algılayıcı ve eyleyici ağ kullanılarak yapılan sulamada elde edilen ortalama bitki boyunun azalmaya başladığı Şekil 4.2’de görülmüştür

Çizelge 3.1’deki çalışmada toplanan veriler ve Şekil 4.2’deki bitki boy grafiği dikkate alındığında tek bir salatalık bitkisi için; kablosuz algılayıcı ve eyleyici ağ kullanılarak yapılan sulamada ortalama bitki boyunun 54,50 cm, geleneksel tarım yöntemi kullanılarak yapılan sulamada ortalama bitki boyunun 44,83 cm olduğu görülmektedir. Kablosuz algılayıcı ve eyleyici ağ kullanılarak yapılan sulamada,

geleneksel tarım yöntemi kullanılarak yapılan sulamaya göre bitki boyunun 9,67 cm daha uzun olduğu gözlemlenmiştir. Buna göre bitki boyu açısından kablosuz algılayıcı ve eyleyici ağ kullanılarak yapılan sulama, geleneksel tarım yöntemi kullanılarak yapılan sulamaya göre % 21,57 daha verimlidir.

Çizelge 4.1’de WEKA programı algoritmaları ve Minitab programı algoritmaları ile elde edilen denklemlere göre girdi verilerinin ve etkileşimlerin çıktı verileri üzerindeki etkileri gösterilmiştir.

**Çizelge 4.1** Çevresel verilerin su (ml) ve boy (cm) üzerindeki etkisi

Algoritma	Girdi ve Etkileşim	Çıktı Su (ml)	Çıktı Boy (cm)
WEKA LR	Gün	Artan	-
	Toprak (%)	Artan	-
	Sıcaklık (°C)	-	Artan
	Nem (%)	-	-
	Işık (%)	Artan	Azalan
	Su (ml)	-	-
WEKA SMOReg	Gün	Artan	Artan
	Toprak (%)	Artan	Artan
	Sıcaklık (°C)	Azalan	Artan
	Nem (%)	Azalan	Artan
	Işık (%)	Artan	Azalan
	Su (ml)	-	Azalan
WEKA MS	Gün	Artan	Artan
	Toprak (%)	Artan	Artan
	Sıcaklık (°C)	Azalan	Artan
	Nem (%)	Artan	Artan
	Işık (%)	Artan	Azalan
	Su (ml)	-	Azalan
Minitab FRM	Gün	Artan	Artan
	Toprak (%)	Artan	Artan
	Sıcaklık (°C)	-	Artan
	Nem (%)	-	Artan
	Işık (%)	Artan	Azalan
	Su (ml)	-	Azalan
Minitab MR	Gün	Artan	Artan
	Toprak (%)	Artan	Azalan
	Sıcaklık (°C)	Artan	Azalan
	Nem (%)	Artan	Azalan
	Işık (%)	Artan	Artan
	Su (ml)	-	Azalan
	Gün.Işık (%)	Azalan	Azalan
	Gün.Su (ml)	-	Azalan
	Toprak (%).Sıcaklık (°C)	-	Artan
	Toprak (%).Nem (%)	Azalan	-
	Toprak (%).Işık (%)	Azalan	-
	Sıcaklık (°C).Su (ml)	-	Artan
	Işık (%).Işık (%)	Azalan	Azalan
	Işık (%).Su (ml)	-	Artan
Su (ml).Su (ml)	-	Artan	

Çizelge 4.1'deki girdi verilerinin ve etkileşimlerin su (ml) çıktı verisi üzerindeki etkileri dikkate alındığında; WEKA programı ve Minitab programı ile elde edilen beş denklemin tamamında gün, toprak (%) ve ışık (%) girdi verileri su (ml) çıktı verisi üzerinde artırıcı bir etkiye sahiptir. Bu beş denkleme göre; sıcaklık (°C) girdi verisinin 5'te 1 artıcı, 5'te 2 azaltıcı etkisi ve nem (%) girdi verisinin 5'te 2 artırıcı, 5'te 1 azaltıcı etkisi bulunmaktadır. Gün – ışık (%), toprak (%) – nem (%) ve toprak (%) – ışık (%) etkileşimlerinin ise azaltıcı bir etkiye sahip olduğu görülmektedir.

Yine Çizelge 4.1'deki girdi verilerinin ve etkileşimlerin boy (cm) çıktı verisi üzerindeki etkileri dikkate alındığında; WEKA programı ve Minitab programı ile elde edilen beş denklemde gün girdi verisi 5'te 4 artırıcı etkiye ve sıcaklık (°C) girdi verisi 5'te 4 artıcı, 5'te 1 azaltıcı etkiye sahiptir. Toprak (%) ve nem (%) girdi verilerinin boy (cm) çıktı verisi üzerinde 5'te 3 artırıcı, 5'te 1 azaltıcı etkisi vardır. Işık (%) girdi verisinin 5'te 1 artırıcı, 5'te 4 azaltıcı etkisi ve su (ml) girdi verisinin 5'te 4 azaltıcı etkisi bulunmaktadır. Toprak (%) – sıcaklık (°C), sıcaklık (°C) – su (ml) ve ışık (%) – su (ml) etkileşimlerinin boy (cm) çıktı verisi üzerinde artırıcı, gün – ışık (%) ve gün – su (ml) etkileşimlerinin ise azaltıcı bir etkiye sahip olduğu görülmektedir.

## 4.2 Öneriler

Tarımsal üretimin artırılması ve su kaynaklarının daha verimli kullanılması için çevresel parametrelerin bitki büyümesi ve su tüketimini üzerindeki etkisi dikkate alınarak sulama faaliyetleri yapılmalıdır. Çevresel verilerin kolayca toplanabilmesi ve kayıt altına alınabilmesi, sulamanın doğru ve iş yükünden tasarruf edilerek yapılması, tarımsal üretimin artmasında ve su kaynaklarının korunmasında en önemli faktördür. Tarımsal üretimde dijital sistemlerin kullanılması üretim faaliyetlerini daha etkin ve verimli hale getirebilir.

Çevresel verileri hızlı bir şekilde toplayıp kayıt altına alacak ve bu verilere göre en uygun şekilde sulama yapacak yöntemlerden biri de tarım alanlarında kablosuz algılayıcı ve eyleyici ağ tasarlamaktır. Bu yöntemle toplanan veriler analiz edilerek su tüketimini ve bitki büyümesini etkileyen parametreler tahmin edilebilir. Tahminde kullanılabilecek regresyon analizi, yapay zekâ teknikleri veya bulanık mantık gibi tahmin yöntemleri, toplanan verilerin su tüketimi ve bitki büyümesi üzerindeki etkilerini matematiksel olarak ifade eder.

Çalışmada analizler için WEKA programının Linear Regression, Multi-Layer Perceptron, Sequential Minimal Optimization Regression, Multi Search ve M5Rules algoritmaları ile Minitab programının Fit Regression Model ve Multiple Regression algoritmaları kullanılmıştır. MATLAB ve KEEL, KNIME, ORANGE, R, RAPIDMINER (YALE) gibi programlarda bulunan farklı tahmin algoritmaları kullanarak da karşılaştırmalar yapılabilir.

## 5. KAYNAKLAR

- Aboelaze, M. and Aloul, F. (2005). Current and future trends in sensor networks: a survey, *Second IFIP International Conference on Wireless and Optical Communications Networks (WOCN 2005)*, 551-555.
- Abramson, N. (1970). The ALOHA System - Another Alternative for Computer, *Joint Computer Conference*, 1047-1072.
- Adireddy, S. and Tong, L. (2005). Exploiting decentralized channel state information for random access, *IEEE Transactions on Information Theory*, 51(2), 537-561.
- Akyıldız, I. F. and Vuran, M. C. (2010). *Wireless Sensor Networks*, John Wiley & Sons Ltd.
- Akyıldız, I. F., Su, W., Sankarasubramaniam, Y. and Cayırcı, E. (2002). A survey on sensor networks, *IEEE Communications Magazine*, 40(8), 102 – 114.
- Al Ameen, M., Islam, S. R. and Kwak, K. (2010). Energy Saving Mechanisms for MAC Protocols in Wireless Sensor Networks, *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 16 pages.
- Alan, R. (2011). Farklı Budama Sistemlerinin Serada Yetiştirilen Hiyarda (Cucumis Sativus L) Meyve Özelliklerine ve Verime Etkisi, *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 19(1-4).
- Anastasi, G., Conti, M., Di Francesco, M. and Passarella, A. (2009). Energy conservation in wireless sensor networks: A survey, *Ad Hoc Networks*, 7(3), 537-568.
- Ardıl, E. (2009). Esnek Hesaplama Yaklaşımı İle Yazılım Hata Kestirimi, Yüksek Lisans Tezi, *Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Edirne, 10-25.
- Bapat, V., Kale, P., Shinde, V., Deshpande, N. and Shaligram, A. (2017). WSN application for crop protection to divert animal intrusions in the agricultural land, *Computers and Electronics in Agriculture*, 133, 88–96.
- Berry, R. A. and Yeh, E. M. (2004). Cross-layer wireless resource allocation, *IEEE Signal Processing Magazine*, 21(5), 59-68.
- Bolat, İ. and Kara, Ö. (2017). Bitki Besin Elementleri: Kaynakları, İşlevleri, Eksik ve Fazlalıkları, *Journal of Bartın Faculty of Forestry*, 19(1), 218-228.
- Bouckaert, R. R., Frank, E., Hall, M., Kirkby, R., Reutemann, P., Seewald, A., Scuse, D. (2016). *WEKA manual for version 3-8-1*, University of Waikato, Hamilton, New Zealand.

- Boursianis, A., Papadopoulou, M., Diamantoulakis, P., Liopa-Tsakalidi, A., Pantelis, B., Salahas., G., Karagiannidis, G., Wan, S. and Goudos, S. (2020). Internet of Things (IoT) and Agricultural Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) in Smart Farming: A Comprehensive Review, *Internet of Things*, 100187.
- Bozkurt, S. ve Sayılıkan Mansuroğlu, G. (2017). Sera Hıyar Yetiştiriciliğinde Farklı Damla Sulama Lateral Derinlikleri ve Sulama Düzeylerinin Bitki Gelişimi ve Verime Etkileri, *Mustafa Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 22(2), 61-66.
- Cemek, B., Apan, M., Demir, Y. ve Kara, T. (2005). Sera Koşullarında Farklı Sulama Suyu Miktarlarının Hıyar Bitkisinin Büyüme, Gelişme ve Verimi Üzerine Etkisi, *OMÜ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 20(3), 27-33.
- Chaoqun, L. and Liangxiao, J. (2006). Using locally weighted learning to improve SMOreg for regression, *9th Pacific Rim International Conference on Artificial Intelligence, PRICAI 2006: Trends in Artificial Intelligence Guilin, China, Proceedings, Springer*, 375-384.
- Choi, J. Y., Kim, H. S., Baek, I. and Kwon, W. H. (2005). Cell based energy density aware routing: a new protocol for improving the lifetime of wireless sensor networks. *Computer Communications*, 28(11), 1293–1302.
- Cui, S., Goldsmith, A. and Bahai, A. (2004). Energy-efficiency of MIMO and cooperative MIMO techniques in sensor networks, *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 22(6), 1089 – 1098.
- Cui, S., Madan, R., Goldsmith, A. J. and Lall, S. (2007). Cross-Layer Energy and Delay Optimization in Small-Scale Sensor Networks, *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 6(10), 3688-3699.
- Çetin, E. (2003). Yapay Sinir Ağları, *Seçkin Yayıncılık*, Ankara.
- De Lima, G. H. E. L., E Silva, L. C. and Neto, P. F. R. (2010). WSN as a Tool for Supporting Agriculture in the Precision Irrigation, *2010 Sixth International Conference on Networking and Services*, 137-142.
- Demirel, Ö. (2009). ANFIS ve ARMA modelleri ile elektrik enerjisi yük tahmini, Yüksek Lisans Tezi, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 1-26.
- Demirkol, I., Ersoy, C. and Alagoz, F. (2006). MAC protocols for wireless sensor networks: a survey, *IEEE Communications Magazine*, 115-121.
- Dilay, Y., Soy, H. and Bayrak, M. (2012). Hassas Tarımda Kablosuz Algılayıcı Ağların Kullanımı ve Uygulama Alanlarının İncelenmesi, *Iğdır University Journal of the Institute of Science and Technology*, 2, Sp:A, 21-26.
- Dimić, G., Sidiropoulos, N. D. and Zhang, R. (2004). Medium Access Control – Physical Cross-Layer Design, *IEEE Signal Processing Magazine*, 21(5), 40-50.

- Durğun, S. (2018). Türkiye'nin enerji talebinin yapay zekâ teknikleriyle uzun dönem tahmini, Yüksek Lisans Tezi, *Necmettin Erbakan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya.
- Ebren Kara, Ş. ve Şamlı, R. (2021). Yazılım Projelerinin Maliyet Tahmini için WEKA'da Makine Öğrenmesi Algoritmalarının Karşılaştırmalı Analizi, *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (23), 415-426.
- Edwards-Murphy F., Popovici, E. M., O'Halloran, J., Magno, M. and Whelan, P. M. (2016). b+WSN: Smart beehive with preliminary decision tree analysis for agriculture and honey bee health monitoring, *Computers and Electronics in agriculture*, 211-219.
- EIBatt, T. and Ephremides, A. (2004). Joint scheduling and power control for wireless ad hoc networks; *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 3(1), 74-85.
- Gia, T. N., Qingqing, L., Queralta, J. P., Zou, Z., Tenhunen, H. and Westerlund, T. (2019). Edge AI in Smart Farming IoT: CNNs at the Edge and Fog Computing with LoRa, *2019 IEEE AFRICON*, 1-6.
- Goldsmith, A. J. and Wicker, S. W. (2002). Design challenges for energy-constrained ad hoc wireless networks, *IEEE Wireless Communications Magazine*, 9(4), 8-27.
- Gondchawar, N. and Kawitkar, R.S. (2016). IoT based Smart Agriculture, *International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering*, 5(6), 2319-5940.
- Güngör, Y., Erözel, A. Z., ve Yıldırım, O. (2002). *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 39(3), 120-127.
- Haenggi, M. (2004). Twelve reasons not to route over many short hops, *IEEE 60th Vehicular Technology Conference (VTC2004-Fall)*, 5, 3130 - 3134.
- Hasan, A., Chisab, R. and Mnati, M. (2019). A smart monitoring and controlling for agricultural pumps using LoRa IOT technology, *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 13(1), 286-292.
- <https://firebase.google.com/docs/database?authuser=1> adresinden 6 Ocak 2022 tarihinde alınmıştır.
- <https://github.com/fracpete/multisearch-weka-package> adresinden 16 Ocak 2022 tarihinde alınmıştır.
- <http://platypusinnovation.blogspot.com/2016/05/a-simple-intro-to-gaussian-processes.html> adresinden 16 Ocak 2022 tarihinde alınmıştır.
- <https://support.microsoft.com/en-us/topic/prj-description-of-the-mpx-project-file-exchange-format-074a747c-4a12-97b7-45b6-be38b17ccd04> adresinden 30 Ocak 2022 tarihinde alınmıştır.

- <https://support.minitab.com/en-us/minitab/19/help-and-how-to/statistical-modeling/regression/how-to/fit-regression-model/interpret-the-results/key-results/?SID=112500> adresinden 22 Ocak 2022 tarihinde alınmıştır.
- <https://support.minitab.com/en-us/minitab/19/help-and-how-to/statistical-modeling/regression/supporting-topics/regression-models/model-reduction/> adresinden 22 Ocak 2022 tarihinde alınmıştır.
- <https://tr.wikipedia.org/wiki/Minitab> adresinden 30 Ocak 2022 tarihinde alınmıştır.
- <https://www.cs.waikato.ac.nz/ml/weka/> adresinden 16 Ocak 2022 tarihinde alınmıştır.
- <https://www.seeedstudio.com/GrovePi.html> adresinden 6 Ocak 2022 tarihinde alınmıştır.
- İşler, Y., ve Narin, A. (2012). WEKA yazılımında k-Ortalama algoritması kullanılarak konjestif kalp yetmezliği hastalarının teşhisi, *SDU Teknik Bilimler Dergisi*, 2(4), 21-29.
- Jeon, H., Choi, J., Lee, H. and Ha, J. (2010). Channel-Aware Energy Efficient Transmission Strategies for Large Wireless Sensor Networks, *IEEE Signal Processing Letters*, 17(7), 643-646.
- Jiber, Y., Harroud, H. and Karmouch, A. (2011). Precision agriculture monitoring framework based on WSN, *2011 7th International Wireless Communications and Mobile Computing Conference*, 2015-2020.
- Kaman, H., Özbek, Ö. ve Polat, E. (2017). Sera koşullarında hıyar bitkisi üzerine sulamanın etkisi, *Akademik Ziraat Dergisi*, Cilt 6, Özel Sayı, 281-288.
- Kanber, R. (1999). Sulama, Ders kitabı, No.174, Genel Yayın No.52, 531s, Adana.
- Karaca Bilgen, G., Özbahçe, A., Yeter, T., Görgişen, C., Bahçeci Alsan, P. ve Avağ, K. (2018). Farklı sulama seviyeleri ve malç uygulamalarında turşuluk hıyarm verim su ilişkileri, *Ziraat Fakültesi Dergisi*, 1. Uluslararası Tarımsal Yapılar ve Sulama Kongresi Özel Sayısı, 328-339.
- Karaca, C. ve Karacan, H. (2016). Çoklu regresyon metoduyla elektrik tüketim talebini etkileyen faktörlerin incelenmesi, *Selçuk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, SUJEST*, v.4, n.3, 2016, ISSN: 2147-9364 (Elektronik), 182-195.
- Karn, P. (1990). MACA: A new channel access method for packet radio, *CNC*, 134-140, Ontario, Canada.
- Kassim, M. R. M. and Harun, A. N. (2016). Applications of WSN in agricultural environment monitoring systems, *2016 International Conference on Information and Communication Technology Convergence (ICTC)*, 344-349.
- Kaya, M., Özel, S. A. (2014). Açık kaynak kodlu veri madenciliği yazılımlarının karşılaştırılması, *Akademik Bilişim*, 2014 (AB'14).

- Keshtgari, M. and Deljoo, A. (2012). A Wireless Sensor Network Solution for Precision Agriculture Based on ZigBee Technology, *Wireless Sensor Network*, 2012(4), 25-30.
- Kredo II, K. and Mohapatra, P. (2007). Medium access control in wireless sensor networks, *Computer Networks*, 51(4), 961–994.
- Kulkarni, S., Iyer, A. and Rosenberg, C. (2006). An address-light, integrated MAC and routing protocol for wireless sensor networks, *IEEE/ACM Transactions on Networking*, 14(4), 793–806.
- Langendoen, K. (2008). Medium Access Control in Wireless Sensor Networks, (H. Wu, and Y. Pan), *Medium Access Control in Wireless Networks, Volume II: Practice and Standards*, 535-560, Nova Science Publishers.
- Li, W. and Dai, H. (2005). Optimal throughput and energy efficiency for wireless sensor networks: multiple access and multipacket reception, *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, 2005(4), 541–553.
- Li, X., Deng, Y. and Ding, L. (2008). Study on precision agriculture monitoring framework based on WSN, *2008 2nd International Conference on Anti-Counterfeiting, Security and Identification*, 182-185.
- Lin, C.-W. (2009). *Scheduling in a Multi-Sector Wireless Cell*, M.Sc. Thesis, Waterloo, Ontario.
- Mahalik, N. P. (2007). *Sensor Networks and Configuration Fundamentals, Standards, Platforms*, Springer.
- Marques, B. F. L. G. (2017). Application-Driven Wireless Sensor Networks, *Doctoral Dissertation, Universidade do Porto, Portugal*.
- Melodia, T., Vuran, M. C. and Pompili, D. (2006). The state-of-the-art in cross-layer design for wireless sensor networks, *EuroNGI Workshops on Wireless and Mobility*.
- Mendes, L. D. and Rodrigues, J. P. (2010). A survey on cross-layer solutions for wireless sensor networks, *Journal of Network and Computer Applications*, 1-12.
- Miao, G., Himayat, N., Li, Y. and Swami, A. (2009). Cross-layer optimization for energy-efficient wireless communications: a survey, *Wireless Communications and Mobile Computing*, 9(4), 529-542.
- Naik, P. and Sivalingam, K. (2004). A Survey of MAC Protocols for Wireless Sensor Networks, (C. Raghavendra, K. Sivalingam and T. Znati), *Wireless Sensor Networks*, Kluwer Academic Publishers.
- Özkan, A. O., Özkan, A. ve Soy, H. (2019). Türkiye'nin Enerji Talebinin Regresyon Analiz Teknikleriyle Uzun Dönem Tahmini, 8. *Uluslararası Meslek Yüksekokulları Sempozyumu, UMYOS'19, Cilt 3*, 98–105.

- Özkan, Y. (2008). Veri Madenciliği Yöntemleri, *Papatya Yayıncılık Eğitim*, İstanbul.
- Öztemel, E. (2003). Yapay Sinir Ağları, *Papatya Yayıncılık*, İstanbul.
- Pandiyaraju, V., Logambigai, R., Ganapathy, S. and Kannan, A. (2020). An Energy Efficient Routing Algorithm for WSNs Using Intelligent Fuzzy Rules in Precision Agriculture, *Wireless Personal Communications*, 112, 243–259.
- Polastre, J., Hill, J. and Culler, D. (2004). Versatile low power media access for wireless sensor networks, *SenSys'04*, 95–107.
- Popescu, D., Stoican, F., Stamatescu, G., Ichim, L. and Dragana, C. (2020). Advanced UAV–WSN System for Intelligent Monitoring in Precision Agriculture, *Sensors*, 20(3), 817.
- Qin, X. and Berry, R. (2003). Exploiting multiuser diversity for medium access control in wireless networks, *Twenty-Second Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications (INFOCOM 2003)*, 2, 1084-1094.
- Rajendran, V., Obracza, K. and Garcia-Luna Aceves, J. J. (2003). Energy-efficient, Collision-free Medium Access Control for Wireless Sensor Networks, *ACM SenSys 2003*.
- Roberts, L. G. (1972). *Aloha packet system with and without slots and capture*, Stanford, CA, Stanford Research Institute, Advanced Research Projects Agency, Network Information Center.
- Roham, V.S., Pawar, G.P., Patil, A.S. and Rupnar, P.R. (2015). Smart Farm using Wireless Sensor Network, *International Journal of Computer Applications*, 0975-8887.
- Sebik, N.B., ve Bülbül, H. İ. (2018). Veri madenciliği modellerinin akciğer kanseri veri seti üzerinde başarılarının incelenmesi, *TÜBAV, Bilim*, 11(3), 1-7.
- Shakkottai, S., Rappaport, T. S. and Karlsson, P. C. (2003). Cross-layer design for wireless networks, *IEEE Communications Magazine*, 41(10), 74- 80.
- Sharifkhani, A. and Beaulieu, N. (2009). Packet Transmission Scheduling Algorithm for Dense Wireless Sensor Networks with Mobile Sink, *IEEE Global Telecommunications Conference (GLOBECOM 2009)*, 1-8.
- Shih, E., Cho, S.-H., Lee, F. S., Calhoun, B. H. and Chandrakasan, A. (2004). Design Considerations for Energy-Efficient Radios in Wireless Microsensor Networks. *Journal of VLSI Signal Processing*, 37, 77-94.
- Shu, T. and Krunz, M. (2009). Energy-efficient power/rate control and scheduling in hybrid TDMA/CDMA wireless sensor networks, *Computer Networks*, 53(9), 1395–1408.

- Siam, M. Z. and Krunz, M. (2009). Channel Access Scheme for MIMO-Enabled Ad Hoc Networks with Adaptive Diversity/Multiplexing Gains, *Mobile Networks and Applications*, 14(4), 433-450.
- Sichitiu, M. L. (2004). Cross-layer scheduling for power efficiency in wireless sensor networks, *Twenty-third Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies (INFOCOM 2004)*, 3, 1740-1750.
- Soy, H. (2013). Kablosuz algılayıcı ağlar için eşik tabanlı fırsatçı paket gönderim planı tasarımı, Doktora Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya.
- Soy, H., Dilay, Y., Özkan, A., Aydın, C., & Bayrak, M. (2013a). Intelligent control of agricultural irrigation system based on wireless sensor and actuator networks. *In Proceedings of the 16th International. Multiconference Information Society – IS*, 102-105.
- Soy, H., Dilay, Y., Özkan, A., Aydın, C. ve Bayrak, M. (2013b). Kablosuz Algılayıcı Ve Eyleyici Ağlar Yardımıyla Konya Ovasında Tarımsal Su Tüketiminin Azaltılması, *Ulusal Kop Bölgesel Kalkınma Sempozyumu*, 14-16 Kasım 2013, Konya.
- Soy, H., Dilay, Y. and Ozkan A. (2016). Fuzzy Control of Agricultural Irrigation System through Wireless Sensor / Actuator Networks, *Journal of Multidisciplinary Engineering Science and Technology*, 3(11), 2458-9403.
- Sönmez, İ. (2015). Seydişehir Bölgesinin Orta Vadedeki Elektrik Enerjisi Talebinin Yapay Zekâ ile Tahmini Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 1-100.
- Söylemez, S., Esin, Ş. ve Pakyürek, A. Y. (2020). Kısıtlı Sulama Koşullarında Yetiştirilen Hıyarın Verim ve Bazı Kalite Özelliklerine Waterpad Polimer Uygulamasının Etkisi, *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 7(4), 1031-1042.
- Srivastava, V. and Motani, M. (2005). Cross-layer design: a survey and the road ahead, *IEEE Communications Magazine*, 43(12), 112-119.
- Şaylan, Ç. A., (2013). Böbrek nakli geçirmiş hastalarda akıllı yöntem tabanlı yeni öznelik seçme algoritması geliştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Kadir Has Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 1-8.
- Tilak, S., Abu-Ghazaleh, N. B. and Heinzelman, W. (2002). A Taxonomy of Wireless Micro-Sensor Network Models, *ACM Mobile Computing and Communications Review*, 6, 28-36.
- Van Dam, T. and Langendoen, K. (2003). An adaptive energy-efficient MAC protocol for wireless sensor networks, *ACM SENSYS'03*, 171–180.
- Wang, T., Heinzelman, W. and Seyedi, A. (2008). Minimization of transceiver energy consumption in wireless sensor networks with AWGN channels, *46th Annual Allerton Conference on Communication Control, and Computing*, 62–66.

- Xiong, S., Wang, L., Qu, X. and Zhan, Y. (2009). Application Research of WSN in Precise Agriculture Irrigation, *2009 International Conference on Environmental Science and Information Application Technology*, 297-300.
- Yao, Y. and Giannakis, G. B. (2005). Energy-Efficient Scheduling for Wireless Sensor Networks, *IEEE Transactions on Communications*, 53(8), 1333-1342.
- Ye, W. and Heidemann, J. (2004). Medium Access Control in Wireless Sensor Networks, (C. Raghavendra, K. Sivalingam and T. Znati), *Wireless Sensor Networks*, Kluwer Academic Publishers.
- Yigitel, M. A., Incel, O. D. and Ersoy, C. (2011). QoS-aware MAC protocols for wireless sensor networks: A survey, *Computer Networks*, 56(8), 1982–2004.
- Yoo, S., Kim, J., Kim, T., Ahn, S. Sung, J. and Kim, D. (2007). A2S: Automated Agriculture System based on WSN, *2007 IEEE International Symposium on Consumer Electronics*, 1-5.
- Yu, Y. and Giannakis, G. B. (2006). Opportunistic medium access for wireless networking adapted to decentralized CSI, *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 5(6), 1445-1455.
- Zhang, S. and Datta, A. (2005). A directional-antenna based MAC protocol for wireless sensor networks, *International Conference on Computational Science and Its Applications (ICCSA '05)*, 686–695.
- Zhou, X., Jia, H., Yan, Z. and Zhang, X. (2010). The cross-layer optimization research on wireless sensor networks, *2nd International Conference on Information Science and Engineering (ICISE)*, 2432-2435.
- Zogovic, N., Dimic, G. and Bajic, D. (2009). Wireless Sensor Networks: QoS Provisioning at MAC and Physical Layers, *17th Telecommunications forum (TELFOR 2009)*, 346-349.