

T.C.
KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Wİ-Fİ VE NESNELERİN İNTERNETİ TEKNOLOJİLERİ KULLANILARAK GÜNCEL
HAVA DURUMU VERİLERİ İLE TARLA SULAMA SİSTEMİNİN
GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

Meryem TAŞKESEN

Ekim 2018

Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalında Meryem TAŞKESEN tarafından hazırlanan Wi-Fi VE NESNELERİN İNTERNETİ TEKNOLOJİLERİ KULLANILARAK GÜNCEL HAVA DURUMU VERİLERİ İLE TARLA SULAMA SİSTEMİNİN GERÇEKLEŞTİRİLMESİ adlı Yüksek Lisans Tezinin Anabilim Dalı standartlarına uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Hasan ERBAY

Anabilim Dalı Başkanı

Bu tezi okuduğumu ve tezin **Yüksek Lisans Tezi** olarak bütün gereklilikleri yerine getirdiğini onaylarım.

Dr. Öğr. Üyesi Halil Murat ÜNVER

Danışman

Jüri Üyeleri

Başkan : Doç. Dr. Necaattin BARIŞÇI

Üye (Danışman): Dr. Öğr. Üyesi Halil Murat ÜNVER

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Murat LÜY

18/10/2018

Bu tez ile Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onaylamıştır.

Prof. Dr. Recep ÇALIN

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ÖZET

Wİ-Fİ VE NESNELERİN İNTERNETİ TEKNOLOJİLERİ KULLANILARAK GÜNCEL HAVA DURUMU VERİLERİ İLE TARLA SULAMA SİSTEMİNİN GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

TAŞKESEN, Meryem

Kırıkkale Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Halil Murat ÜNVER

Ekim 2018, 66 sayfa

Teknolojik gelişmelerle birlikte günlük hayatta yer bulmaya başlayan teknolojilerden olan Nesnelerin interneti (IoT), internet bağlantısı bulunduğu müddetçe birbiriyle etkileşime girebilen ve kendi aralarında konuşabilen nesnelere ağı olarak bilinmektedir. IoT teknolojisine dayanan akıllı tarım verimin artırılması ve atıkların azaltılması gibi avantajlarıyla dikkat çekmektedir ve yeni çalışmalara konu olmaktadır.

Bu çalışmada, yerleşim mekânları dışında veya uzak konumlarda bulunan tarım alanlarının kontrolünü sağlayan, kullanıcı arayüzü ile bitki sulama işlemi ve süreç takibine izin veren bir akıllı sulama sistemi geliştirilmiştir. Geliştirilen sistem, NodeMcu sayesinde Wi-Fi teknolojisi ile mekân ve zamandan bağımsız olarak sulama işlemini gerçekleştirmekte ve gerçek zamanlı olarak çalışabilmektedir. Farklı bitkilerin farklı miktarda suya ihtiyaç duyduğu ve farklı sıcaklık değerleri ile verimli sonuçlar verdiği bilindiğinden, bu değerler kablosuz iletim aracılığı ile web sunucusu veri tabanına gönderilerek kullanıcılar tarafından izlenmesi sağlanabilmekte, aynı gün yağış beklenmesi durumunda ise sulama işlemi otomatik olarak ertelenebilmektedir. Bu şekilde nem ve sıcaklık değerlerine göre hem verimli bitki üretimi hem de etkin su yönetimi ile su tasarrufu sağlanarak, tarım alanlarında kullanılacak etkin bir sistem geliştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Nesnelerin İnterneti, Akıllı Tarım, IoT, Sensörler, Akıllı Sulama Sistemi, Kablosuz Algılayıcı Ağlar



ABSTRACT

DESIGN OF AGRICULTURAL IRRIGATION SYSTEM WITH WEATHER FORECASTING DATA BY USING WI-FI AND INTERNET OF THINGS TECHNOLOGIES

TASKESEN, Meryem

Kırıkkale University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Computer Engineering, MSc. Thesis

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Halil Murat ÜNVER

October 2018, 66 pages

The Internet of Things (IoT), which is one of the technologies that started to find places in daily life with technological developments, is known as a network of objects that can interact with each other as long as there is internet connection. Smart agriculture based on IoT technology draws attention to new advantages such as increasing efficiency and reducing waste.

In this study, a smart irrigation system has been developed to allow control of the agricultural areas located out of town or in farther locations and to enable the process of plant irrigation and process monitoring with the user interface. The developed system which under control of NodeMcu and using Wi-Fi technology performs the irrigation process independent of time and space and can work in real-time. It is known that different plants need different amount of water and give efficient results with different temperature values. These values can be sent to the web server database via wireless transmission and can be monitored by the users. In this way, an effective system that can be used in agricultural areas has been developed to save water with both efficient plant production and effective water management according to humidity and temperature values.

Key Words: Internet of Things, Smart Agriculture, IoT, Sensors, Smart Irrigation System, Wireless Sensor Networks



TEŞEKKÜR

Engin bilgi ve deneyimleriyle bana yol gösteren, destek olan, tez alıőmamın sonuçlanmasında yardımlarını esirgemeyen ok değerli danışman hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Halil Murat ÜNVER'e iten teőekkürlerimi bir borç bilirim. Hayatımın her anında yanımda olan ve desteğini hiçbir zaman esirgemeyen biricik aileme, tezimin her aşamasında beni yalnız bırakmayan varlığıyla güç veren değerli arkadaşım Mehtap ÜLKER'e sonsuz sevgi ve saygılarımı sunarım.



İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
KISALTMALAR DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ	1
2. KABLOSUZ ALGILAYICI AĞLAR	4
2.1. Sensörler.....	5
2.2. Ağ Karakteristiği.....	7
2.3. Kablosuz Algılayıcı Ağlar Mimarisi	9
2.4. Ağ Protokol Katmanları	10
2.4.1. Uygulama Katmanı	12
2.4.2. İletim Katmanı	12
2.4.3. Ağ Katmanı.....	13
2.4.4. Veri Bağlantı Katmanı	13
2.4.5. Fiziksel Katman	13
2.5. Kablosuz Algılayıcı Ağların Uygulama Alanları.....	14
2.5.1. Çevre İzleme Uygulamaları	15
2.5.2. Askeri Uygulamalar	16
2.5.3. Endüstri Uygulamaları.....	16
2.5.4. Akıllı Ev Uygulamaları.....	16

3. NESNELERİN İNTERNETİ	17
3.1. Nesnelerin İnterneti Mimarisi	19
3.2. Nesnelerin İnterneti Özellikleri ve Karşılaşılan Zorluklar	20
3.3. Nesnelerin İnterneti için Güvenlik ve Gizlilik	22
3.4. Kablosuz Teknolojiler	22
3.4.1. RFID	23
3.4.2. Zigbee	24
3.4.3. Wi-Fi	24
3.4.4. Bluetooth	27
3.4.5. GSM-GPRS Teknolojisi	27
3.5. Nesnelerin İnterneti Uygulama Alanları	29
4. NESNELERİN İNTERNETİNİN TARIMDA KULLANIMI	31
4.1. Sulama	32
4.2. Hassas Tarım	33
4.3. Sulama Teknikleri	33
5. Wİ-Fİ VE NESNELERİN İNTERNETİ TEKNOLOJİLERİ KULLANILARAK GÜNCEL HAVA DURUMU VERİLERİ İLE TARLA SULAMA SİSTEMİNİN GERÇEKLEŞTİRİLMESİ	35
5.1. Literatür Çalışmaları	37
5.2. Geliştirilen Uygulamanın Blok Diyagramı	44
5.3. Otomatik Sulama Sistemi Donanımı	48
5.4. Otomatik Sulama Sistemi Yazılımı	53
5.4.1. Veri Tabanı	55
5.4.2. Kullanıcı Arayüzü	59
6. SONUÇLAR	65
KAYNAKLAR	67

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>ŞEKİL</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Sensör düğüm bileşenleri	5
2.2. Farklı sensör türleri	7
2.3. Ağ haberleşme mimarisi	10
2.4. Kablosuz algılayıcı ağ mimarisi.....	12
2.5. Kablosuz algılayıcı ağı uygulama alanları	15
3.1. IoT katmanları.....	19
3.2. IoT kullanım alanları.....	30
5.1. Geliştirilen sistem modeli	36
5.2. Sistem blok diyagramı	45
5.3. Openweathermap.com'dan hava durumu verisinin Json ile alınması.....	46
5.4. Sulama işlemi için gerekli koşulların kıyaslanması	47
5.5. Sistem donanım bileşenleri	49
5.6. ESP8266 NodeMcu için bacak bağlantıları	50
5.7. Seri port ekranından ölçülen toprak nem değerleri.....	51
5.8. Geliştirilen sistemin elektronik tasarımı	52
5.9. Akış diyagramı	54
5.10. Veri tabanına kayıtlı ürün bilgileri.....	55
5.11. Sulama raporları	56
5.12. Openweather ile çekilen hava durumu verilerinin tutulduğu tablo.....	57
5.13. Sulama işlemine karar veren ER diyagramı.....	58
5.14. Arayüz üzerinden ürün kontrolünün gerçekleştirilmesi.....	60
5.15. Ertelenen sulama işleminin kullanıcıya hatırlatılması	60
5.16. Arayüz üzerinden sisteme yeni ürün bilgilerinin eklenmesi.....	61

5.17. Arayüz üzerinden ekim alanına ait konum bilgilerinin girilmesi.....	62
5.18. Sulama raporlarının görüntülediği web sayfası.....	62
5.19. Deneme ölçümleri (a. Buğday tarlası b. Arpa tarlası).....	63



ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>ÇİZELGE</u>	<u>Sayfa</u>
3.1. Kablosuz teknolojiler	23
3.2. ESP8266 için bazı AT komutları	26
3.3. GSM için bazı AT komutları	29
5.1. İncelenen literatür çalışmaları	42
5.2. Bazı ürünlere ait toprak nem ve hava sıcaklık değerleri	48



KISALTMALAR DİZİNİ

ADC	Analog Digital Converter / Analog Dijital Çevirici
AFH	Adaptive Frequency Hopping / Uyarlanabilir Frekans Atlamalı
API	Application Programming Interface / Uygulama Programlama Arayüzü
APS	Amonyum Persülfat
ASCII	American Standard Code for Information Interchange / Bilgi Değişimi İçin Amerikan Standart Kodlama Sistemi
CSS	Cascading Style Sheets / Basamaklı Stil Şablonları
DARPA	Defense Advanced Research Projects Agency / Savunma İleri Araştırma Projeleri Ajansı
DCCP	Datagram Congestion Control Protocol / Datagram Tıkanıklık Denetim Protokolü
DSN	Distributed Sensor Network / Dağıtılmış Algılayıcı Ağ
ETSI	European Telecommunications Standard Institute / Avrupa Telekomünikasyon Standart Enstitüsü
FEC	Forward Error Correction / İleri Hata Düzeltme
GPRS	General Packet Radio Service / Genel Paket Radyo Servisi
GPS	Global Positioning System / Küresel Konumlama Sistemi
HTML	Hyper Text Markup Language / Hiper Metin İşaret Dili

ICSP	In Circuit Serial Programming / Devre Seri Programlama
IMSI	International Mobile Subscriber Identity / Uluslararası Mobil Abone Kimliği
IoT	Internet of Things / Nesnelerin İnterneti
JSON	Javascript Object Notation / JavaScript Nesnesi Gösterimi
KAA	Kablosuz Algılayıcı Ağlar
LAN	Local Area Network / Yerel Alan Ağı
LDR	Light Dependent Resistor / Hafif Bağımlı Direnç
MEMS	Micro Electro Mechanical Sensor / Mikro Elektro Mekanik Sensör
NASA	National Aeronautics and Space Administration / Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi
PDU	Protocol Data Unit / Protokol Veri Birimi
pH	Potential of Hydrogen / Potansiyel Hidrojen
PHP	Hypertext Preprocessor / Hiper Metin Önişlemcisi
RFID	Radyo Frekansı ile Tanımlama
REST	Representational State Transfer / Temsili Durum Transferi
SCTP	Stream Control Transport Protocol / Akış Kontrol Aktarım Protokolü
SMS	Short Message Service / Kısa Mesaj Servisi
SQL	Structured Query Language / Yapısal Sorgulama Dili
TSVM	Transductive Support Vector Machines / Verimli Destek Vektör Makineleri

URL	Uniform Resource Locator / Tekdüzen Kaynak Konum Belirleyicisi
XAMPP	Windows Apache MySQL PHP
XML	Extensible Markup Language / Genişletilebilir İşaretleme Dili



1. GİRİŞ

Günümüzde hızla gelişen teknoloji, günlük hayatımızda kullanılan birçok alet ve makineye entegre edilerek daha iyi bir yaşam standardı sunulmasına olanak sağlamaktadır. Yeni fikir ve eylemlerle sürekli değişimin olması sanayi ve otomasyon sistemlerine de fazlasıyla yansımaktadır. Bu değişim ile insan gücüne duyulan ihtiyaç gün geçtikçe azalarak, bunun yerine artık akıllı sistemlerin tercih edildiği görülmektedir.

Günümüz çoğu uygulamalarında kablosuz algılayıcı ağlara ek olarak nesnelerin interneti (IoT) teknolojisinin de insan müdahalesine ihtiyaç duyulmaksızın cihazların kendi aralarında hızlı, ekonomik ve en önemlisi güvenilir şekilde konuşmasını sağlayabilmesi özelliği ile bu teknolojiler güvenlik, bahçe otomasyonu, akıllı ev, akıllı araba veya endüstriyel ortamlarda tercih edilmekte ve yaygın olarak kullanılmaktadır. Böylelikle günlük yaşam içinde kişi üzerindeki iş yükü azaltılabilmektedir. İrdelenen literatür çalışmalarında uygulama alanı geniş olan bu teknolojinin kullanıldığı görülmüş olup aşağıda özetlenmiştir.

Sarah çalışmasında, bitkiye fazla miktarda veya az miktarda verilen suyun bitki ölümüne neden olabileceği konusu üzerinde durmuştur. Bu kapsamda araştırmasını arduino kullanarak sulama işleminin doğru zamanda, otomatik sulama sisteminin nasıl geliştirilebileceği konusuna odaklanmıştır [1].

Tarım alanında uygun sulama yönteminin kullanılmasının önemli olduğunu savunan Dasare ve arkadaşları, damlama sulama işleminin çok ekonomik ve verimli olduğunu düşünerek bir otomatik sulama sistemi geliştirmiştir. Geliştirilen bu sulama yönteminde, Zigbee kullanılarak su baskını gibi durumlarda insan gücüne duyulan ihtiyacın ortadan kaldırılması hedeflenmiştir [2].

Vashista ve arkadaşlarının geliştirdiği GARDUINO başlıklı çalışma ile su motorunu toprak nem seviyesini tespit edebilmek için açma ve kapama durumlarını kontrol eden anahtarlamalı otomatik bir bahçe izleme mekanizması tasarlamışlardır. Geliştirdikleri

sistemi kullanmanın avantajının insan müdahalesini azaltmak olduğu belirtilmiştir. Çalışmalarında, kullanılan çeşitli sensörlerden verileri toplamaya programlanmış Arduino (ATmega328P) mikroişlemci kullanılmıştır [3].

Mat ve arkadaşları ise [52] çalışmalarında GSM ve XBee teknolojilerini kullanarak geliştirdikleri otomatik sulama sistemi ile zamana bağlı (geleneksel) yapılan sulamayı karşılaştırarak bir verim analizi yapmışlardır. Yapılan analizde geleneksel sulamada 2,500 ml gübre, otomatik sulama sisteminde ise 1,000 ml gübre kullanıldığı görülmüş ve tasarlanan sistemin daha verimli olduğu kanısına varılmıştır.

Kansara ve arkadaşlarının [53] çalışmalarında geliştirdikleri otomatik sulama sistemi ile çiftçinin zamanından ve parasından (enerji) tasarruf sağlama yoluna gidilmiştir. Bu kapsamda GSM ve Max232 teknolojilerini kullanarak IoT tabanlı bir otomatik sulama sistemi tasarlamışlardır. Eldeki istatistiksel veriler ile bu sistem sayesinde hastalık ve mantar büyümeleri gibi problemlerin önüne geçilebileceği sonucuna varılmıştır.

Hanswal ve arkadaşlarının [54] yaptıkları bir çalışmada merkezi bir kontrol ünitesi ve toprak nem sensörü tabanlı otomatik sulama sistemi tasarlanmıştır. Bu uygulama, aşırı sulama sorununun önüne geçmeyi amaçlayan, sulama suyu optimizasyonuna ve yönetimine yardımcı olan kullanıcı dostu, güvenilir ve otomatik bir sistem sunmayı amaçlamıştır. Bu proje ile mevcut su yönetimi ve aşırı sulama sorununun önlenmesi sağlanarak, ileride oluşabilecek su kıtlığı probleminin önüne geçilebileceğinin de geliştirilen bu sistem ile daha kolay olacağı vurgulanmıştır.

Literatürde görüldüğü üzere tarım alanlarında akıllı sistemler ile sulama yönetimi üzerinde durulmuştur. Bu sayede iş yükü azaltılabilmekte ve ürün üzerindeki verimin artışı sağlanabilmektedir. Bu amaç doğrultusunda tez kapsamında tasarlanan otomatik sulama sistemi, herhangi bir insan gücü olmadan gerçekleştirebildiğinden veya kullanıcı isteğine bağlı süreci takip etme imkânı sunabildiğinden dolayı insan işlerini kolaylaştırabilmeyi hedeflemektedir. Toprak nemini akıllıca ölçen otomatik bir sistem geliştirmek için, farklı alanlarda kullanılan yöntemlerin farklı yaklaşımları tez kapsamında gözden geçirilmiştir. Geliştirilen bu sistem ile sulama ve kontrol işlemi wi-fi modülü ile uzaktan yapılabilmiş, iş yükü azaltılabilmiş ve ayrıca su, zaman ve

enerjiden tasarruf sağlanabilmiştir. Bu doğrultuda tasarlanan sistem ile kullanıcı kontrolünde otomatik sulamayı yapabilen, yağış bekleniyor ise sulama işlemini erteleyebilen ve kullanıcının süreçten her an haberdar olmasına imkân veren bir kontrol birimi tasarlanmıştır.

Tez çalışması altı bölümden oluşmaktadır. Tez kapsamında; 2. bölümde kablosuz algılayıcı ağlar, ağ karakteristiği, ağ mimarisi, protokol katmanları ve uygulama alanları üzerinde durulmuştur. 3. bölümde nesnelerin interneti, mimarisi, gizlilik ve güvenliği, kablosuz teknolojiler ve uygulama alanları anlatılmıştır. 4. bölümde nesnelerin internetinin tarımda kullanımı, sulama, hassas tarım, ve sulama teknikleri üzerine literatür araştırması yapılmıştır. 5. bölümde yapılan literatür araştırması sonucu wi-fi ve nesnelerin interneti teknolojileri kullanılarak güncel hava durumu verileri ile tarla sulama sisteminin gerçekleştirilmesi ve aşamaları üzerinde durulmuş, NodeMcu ve eklentileri anlatılarak sistemin amaç ve kullanımından bahsedilmiştir. 6. bölümde ise tez çalışması kapsamında elde edilen bulgu, katkı, çalışmanın literatüre kazandırdıkları ve öneriler açıklanmıştır.

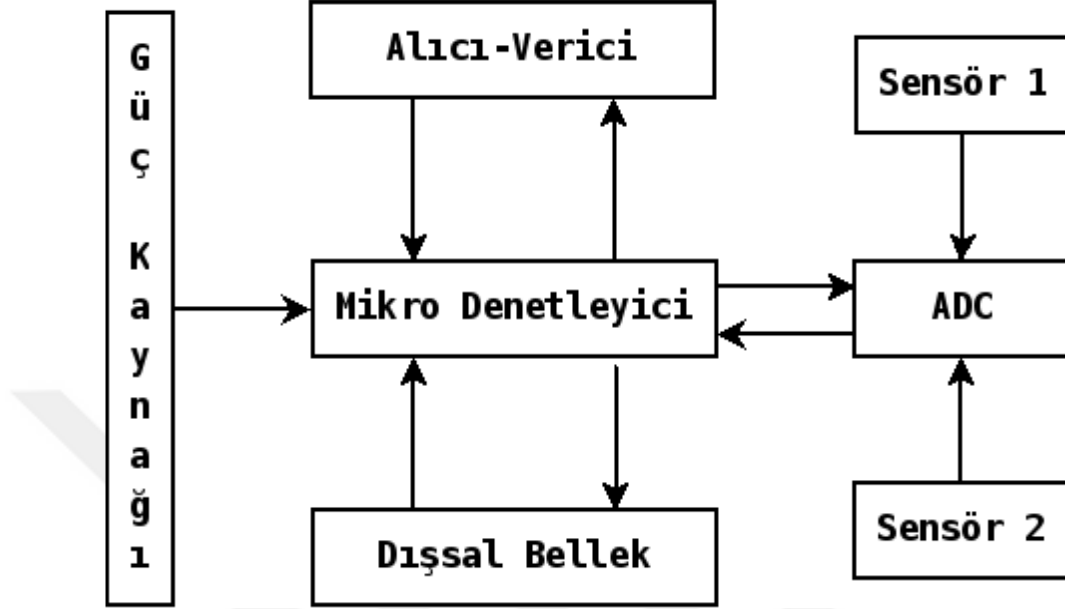
2. KABLOSUZ ALGILAYICI AĞLAR

1950'lerde yaşanan soğuk savaş sırasında Birleşik Devletler Donanması, su altı görüşünün olmaması nedeniyle Sovyet denizaltılarını bulmakta güçlük çekiyorlardı. Bu bakımdan, denizaltılarını bulabilmek için Ses Gözetleme Sistemi (SOSUS) adı verilen bir hidrofona grubu geliştirildi. SOSUS, ilk büyük kablosuz algılayıcı ağlardan (KAA) biri olarak kabul edilen en yakın denizaltıları tespit etmek için sualtı ses mikrofona ve hidrofona kullanan bir sistemdir [4]. Daha sonra geliştirilen Dağıtılmış Algılayıcı Ağ (DSN) programı, 1980 yıllarında Savunma İleri Araştırma Projeleri Ajansı (DARPA) tarafından kullanılmaya başlanmıştır. DARPA bu yıllarda düğümler arasında iletişim kurabilen Arpanet'i kullanarak aynı zamanda günümüz internetinin gelişimine de katkıda bulunduğu bilinmektedir. 2000'lerin başlarında ise, sensörlerle ad-hoc bağlantılar oluşturmak üzere tasarlanmış mikro sensörleri kullanan ağlar için yazılım geliştirilmiştir. Bu sayede kablosuz algılayıcı ağların temeli atılmıştır [5].

Kablosuz algılayıcı ağlar (KAA) geniş coğrafi alana dağılmış küçük sensör düğümlerinden oluşmaktadır [5]. KAA'nın temel parçası olan birçok sensör düğümü birleşir ve kabloya ihtiyaç duyulmaksızın izlenen ortamda gelişmiş güzel yerleştirilmiş şekilde bulunan bu sensör düğümlerinin yürütülecek işlem ve bağlı olduğu ağın da aynı zamanda temel elemanı olduğu bilinmektedir [5, 6]. İzlenecek ortamdaki olaylar sensör düğümleri tarafından algılanır, veriler sensör düğümünde toplanır, sıkıştırılır ve doğrudan ağ geçidine iletilir [7].

Kablosuz algılayıcı ağlardaki her bir düğüm temel olarak güç ünitesi, algılama ünitesi, işlem ünitesi ve iletişim ünitesi olmak üzere 4 ana üniteden oluşmaktadır. Bunlar da Şekil 2.1'de görüldüğü gibi genel olarak güç kaynağı, analog dijital çeviriciler (ADC), mikro denetleyici, alıcı-verici, dışsal bellek, bir veya birden fazla sensörden oluşmaktadır [4]. Analog değerlerin işlenebilmesi ve dijital değerlere dönüştürülebilmesi için bu birimde ADC kullanılmaktadır. Genel olarak bir mikro denetleyici ve dâhili bir hafızadan oluşan işlem birimi, düğüm davranışlarını yöneterek gerekli işlemleri yerine getirmekte ve diğer bileşenleri kontrol edebilmektedir. İletişim

birimi, düğümü ağı bağlayarak kablosuz algılayıcıların kendi aralarında ya da merkez düğümü ile haberleşmesini sağlamaktadır [8].



Şekil 2.1. Sensör düğüm bileşenleri [9]

2.1. Sensörler

Kablosuz bir ortamda birbirine bağlanmış, aralarında bilgi alışverişi yapan çok sayıda sensör düğümünden oluştuğu bilinen KAA teknolojisinin, son zamanlarda günlük yaşamımızda yaygın bir şekilde kullanıldığı görülmektedir. Sismik, manyetik, termal, görsel, infrared, akustik ya da radar gibi sensörler sayesinde ortam koşullarını izlemek mümkün hale gelmiştir. Örneğin sıcaklık, basınç, nem, hız, yön, hareket, ışık, gürültü seviyesi gibi faktörler veya izlenen bir objenin varlığı ile yokluğu gibi durumlar hakkında veriler elde edilebilir hale gelmiştir. Geniş alanlarda bilgiye erişebilme özelliği aynı kalitede geniş kullanım alanları sunabilmektedir. Güncel uygulama alanlarına aşağıda maddeler halinde örnekler verilebilmektedir [5, 7, 10-11];

- Ev güvenliği uygulamaları,
- Uzayda potansiyel varlıkların izlendiği uygulamalar,
- Sualtı ve yeraltı izleme uygulamaları,
- Savunma için istihbarat toplayabilen uygulamalar,
- Çevre izleme uygulamaları,
- Hava ve iklim analizi ve tahmininin yapılabildiği uygulamalar,
- Savaş alanlarının izlenmesi ve gözetimi uygulamaları,
- Güneş sisteminin ve ötesinin keşfi için geliştirilen uygulamaları ve
- Sismik hareketliliklerin, gerilmelerin, sıcaklığın, rüzgâr hızının ve GPS bilgilerinin izlenebildiği uygulamalar.

Kablosuz algılayıcı ağ teknolojisi, veriyi gerçek zamanlı gözlemleyerek kritik-yüksek çözünürlüğe sahip verileri hızlı bir şekilde yakalar ve bunun sonucunda işleme ve iletme özelliklerini de kullanarak görevini gerçekleştirebilmektedir. Veriler, kablosuz sensör düğümünde toplanır, sıkıştırılır ve doğrudan ağ geçidine iletilir veya gerekirse verileri ağ geçidine iletme için diğer kablosuz algılayıcı düğümlerini (yönlendiriciler) kullanır. İletilen veriler daha sonra ağ geçidi bağlantısıyla sisteme sunulur [12]. Her bir düğümün boyutu ve maliyeti hiyerarşinin karmaşıklığına göre değişebilmektedir. Sensör alanına genel olarak dağılmış halde karakterize edilen sensör düğümlerinin her biri veri toplayarak baz istasyonuna gönderme yeteneğine sahiptir. Sensörlerin en büyük avantajlarından birisi de düşük maliyetli olmalarıdır. Fakat bu kullanım alanlarına göre fazla enerji tüketmesi ve fazla hafıza gerektirmesi bu alandaki en önemli kısıtlardan olduğu söylenebilmektedir. Bu kısıtlamaları etkin bir şekilde yönetmek ağın kullanım ömrüne, verinin toplama sıklığına, veri toplama işlemine ve iletimine bağlı olduğu da bilinmektedir [5, 7, 11].

Algılayıcı (duyarga) olarak da bilinen sensörler, yaşadığımız ortam ile bağlantı sağlayan ara geçiş özelliğine sahiptirler. Algılayabildiği değişkenleri işleyerek sonuç veriyi sistemin karar verme birimine yollayan sensör veya sensörler [13], aynı zamanda düğüm hataları ile başa çıkabilme, geniş ölçekli dağıtım için ölçeklenebilme, ortam koşullarına ve güç tüketimine karşı dayanıklı olabilme gibi temel özelliklere de sahiptirler [5]. Şekil 2.2’de farklı türlerde sensörler görülmektedir.

adına sensör düğümünün maliyetinin mümkün olduğunca düşük tutulması gerekmektedir [4].

Enerji verimliliği: Kablosuz algılayıcı ağlarda hesaplama, iletişim ve depolama gibi farklı amaçlarda kullanılan enerji, iletişimde diğerlerinden daha fazla tüketildiğinden bu sensör ağlarının ömrünü uzatabilmek için sensörler arası ve çevresel ortamla olan ilişkilerin olabildiğince verimli olması gerekmektedir [15].

Kablosuz iletişim yeteneği: KAA kablosuz kanal üzerinden radyo dalgalarını kullanır. Sınırlı ve dinamik bant genişliği ile kısa aralıkta haberleşme özelliğine sahip olan kablosuz algılayıcı ağlar radyo dalgalarını iletişimi iki veya tek yönlü olabilen kablosuz kanal üzerinden kullanmaktadır. İletişim kanalı, iki yönlü veya tek yönlü olabilmektedir [4].

Güvenlik ve gizlilik: Her bir sensör düğümünün bünyesindeki bilgilere yapılan yetkisiz erişim gibi saldırıları önleyebilmek için yeterli güvenlik mekanizmalarına sahip olması ve ayrıca ek gizlilik mekanizmalarının da dâhil edilmesi gerekmektedir [15].

Dağıtık algılama ve işleme: Kablosuz algılayıcı ağlarda homojen veya rasgele dağıtılabilen her bir düğümün, verileri havuza toplama, sıralama, işleme, birleştirme ve gönderme yeteneğine sahip olması, bu dağıtık sistemin dayanıklılığını sağlayabilmektedir [4].

Dinamik ağ topolojisi: Sensör düğümleri sınırlı güç nedeniyle tükenebilmekte veya ağa yeni düğümler eklenebilmektedir. Bu nedenle, ağ bağlantısı zamanla değişerek ağ topolojisini dinamik olarak değiştirebilmektedir [6].

Kendi kendine organizasyon: Gözetimsiz veya saldırı olabilecek ortamlarda kendilerini organize edebilme yeteneğine sahip olan sensör düğümlerinin ortama yerleştirildikten sonra kendilerini bir iletişim ağına otomatik olarak yapılandırmaları gerekmektedir [9].

2.3. Kablosuz Algılayıcı Ağlar Mimarisi

Genel olarak bir alana dağılmış halde konumlandırılan KAA düğümleri, gerekli elemanları algılayarak veriyi işleyebilme, haberleşebilme özelliklerini barındıran sensör düğümleri olarak adlandırılmaktadır. Konumlandırıldıkları bu alanda herhangi bir kabloya ihtiyaç duymaksızın izleme veya veri toplama işlemlerini yerine getirmektedirler [29].

Günümüzdeki uygulamaların çoğunda enerji ile çalışan algılayıcı düğüme ait pil değişimi veyahut şarj edilmesi, buldukları ortama kolay kolay erişememe gibi sebeplerden ötürü, zor veya mümkün olmayan bir işlem olabilmektedir. Sınırlı pil ömrüne sahip olmalarına rağmen uzun süre hizmet vermeleri gereken bu algılayıcı düğümler enerji tasarrufu sağlanabilmesi için herhangi bir işlem yapılmadığı müddetçe bekleme veya uyku halinde bulunarak pasif pozisyon durumuna geçebilmektedirler. Ancak algılama veya veri iletimi gerçekleştiğinde çalışma haline geri dönebilmektedirler. Bu sayede enerji tasarrufu sağlanabilmektedir. Aynı zamanda, eğer ağ mevcut ise düğümler pasif durumdan iletişim ve algılama durumuna geçerler [7].

Kablosuz algılayıcı ağların işleyiş tarzı ve hedef uygulama türüne göre yapılan üç aşamalı sınıflandırma aşağıda açıklanmıştır.

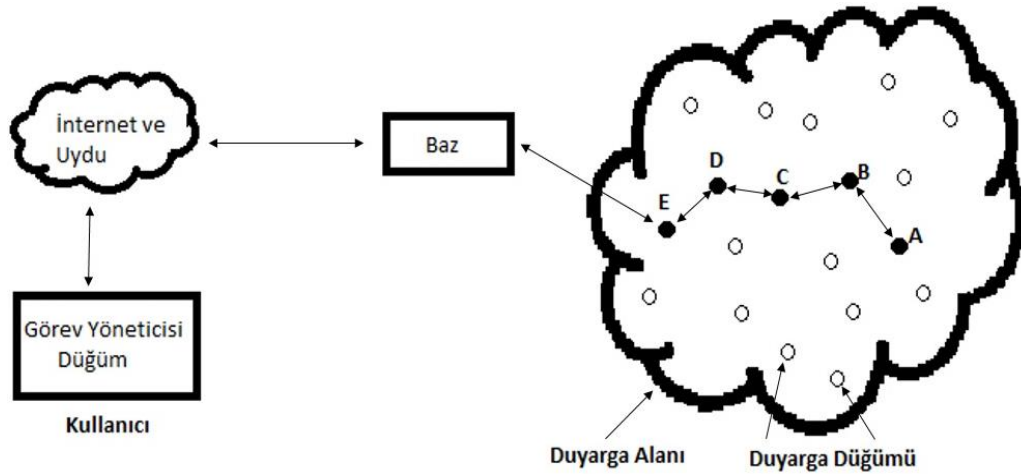
Proaktif Ağlar: Bu tür ağlardaki düğümler periyodik olarak alıcılarını ve vericilerini değiştirir, çevreyi algılar ve ilgili verileri ileterek ilgili parametreler için gerekli verileri düzenli aralıklarla toplar. Bu sebepten ötürü, bu yöntemin periyodik veri izleme gerektiren uygulamalar için daha çok uygun olduğu düşünülmektedir [6].

Reaktif Ağlar: Bu tasarıma göre rota, bir düğümün bilinmeyen bir hedefe veri göndermesi gerektiğinde hesaplanmaktadır. Dolayısıyla, yeni rotaların keşfi yalnızca gerektiği durumlarda gerçekleştirilir. Ayrıca kullanılmayan rotalar da kaydedilir [34]. Daha çok zamanlama kritiğine sahip uygulamalar için tercih edilmektedir.

Hibrit Ağlar: Hibrit ağlar, Proaktif ve Reaktif ağların avantajlarını barındırmaktadır. Bu tür ağlardaki düğümler sadece zaman açısından kritik durumlara tepki vermekle kalmaz, aynı zamanda periyodik aralıklarla ağın çok verimli bir şekilde genel bir görüntüsünü de verebilmektedirler. Hedef ağlar açısından en iyi yolları bulabilmek için, yönlendiricinin yönlendirme tablosunu güncellediği topolojide herhangi bir değişiklik olduğunda, yönlendiriciler tarafından tutulan yönlendirme bilgileri kullanılmaktadır. Böyle bir ağ, kullanıcının geçmiş, şimdiki ve gelecekteki verileri, sırasıyla, tarihsel, bir kerelik ve sürekli sorgular şeklinde ağdan talep etmesini sağlamaktadır [6, 34].

2.4. Ağ Protokol Katmanları

Sensör düğümleri, Şekil 2.3’de gösterildiği gibi genellikle bir sensör alanında dağılmış halde bulunurlar. Bu dağınık sensör düğümlerinin her biri, ağ kurma protokolleri ile veri entegrasyonunu sağlayabilme, kablosuz ortam sayesinde verimli enerji kullanabilme yetenekleri sayesinde haberleşme sağlanmakta ve sensör düğümlerinin birbiriyle ortak çalışmaları daha verimli hale getirilebilmektedir [30].



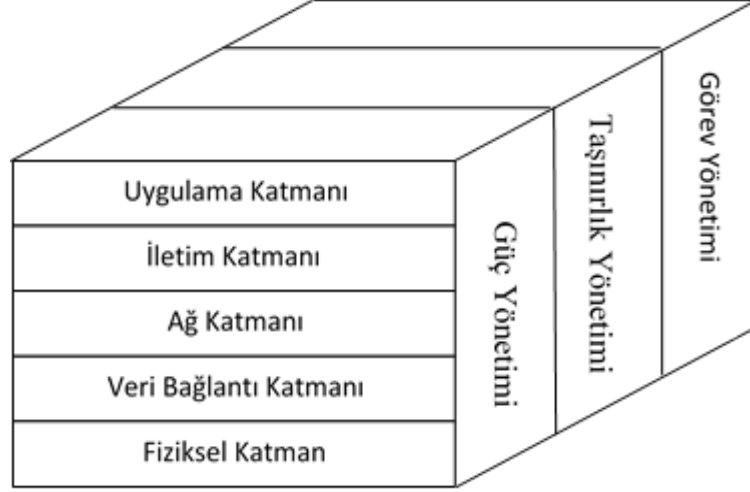
Şekil 2.3. Ağ haberleşme mimarisi [30]

Ağ mimarisi protokol yığını; ağlar arası, bilgisayarlar ve sunucular arasındaki verileri verimli ve etkili bir şekilde aktarmak için çeşitli işlevleri gerçekleştirebilen beş katmandan oluşmaktadır. Bu şekilde farklı katmanlara bölünmesi, ağ tasarımcılarının her katmandaki yazılım ve donanım uygulamalarını modüler bir şekilde güncellemelerine izin verebilmektedir [31]. Alıcı ve tüm sensör düğümleri tarafından kullanılan bu protokol yığını şekil 2.4’de gösterildiği gibi Fiziksel Katman, Veri Bağlantı Katmanı, Ağ Katmanı, Taşıma Katmanı, Uygulama Katmanı, Güç Yönetim Düzlemi, Taşınırılık (Mobility) Yönetim Düzlemi ve Görev Yönetim Düzleminde oluşmaktadır [32].

Bir sensör düğümünün gücünü nasıl kullandığını gösteren güç yönetimi düzlemine örnek olarak, sensör düğümünün komşularından mesaj aldıktan sonra alıcısını kapatabilmesi verilebilir. Bu kapsamda kopyalanmış mesajlar engellenir ve ardından sensör düğümünün güç seviyesi düşük olduğunda komşularına gücünün düşük olduğunu ve yönlendirme mesajlarına katılamayacağını iletir. Böylece, kalan gücün algılama için ayrıldığı anlaşılır. Taşınırılık yönetimi düzlemi, sensör düğümlerinin hareketini algılayıp kaydederek kullanıcı için geri dönüş rotasını koruyabilir ve sensör düğüm komşularını takip edebilir [8].

Bu sensör düğümleri, komşu düğümleri bilerek sensör düğümleri güçlerini ve görev kullanımlarını dengeleyebilirler. Görev yönetimi düzlemi ile belirlenen bölgeye verilen algılama işlemleri yürütülür. Sonuç olarak, bazı sensör düğümleri algılama görevini güç seviyesine bağlı olarak diğer düğümlere oranla daha fazla gerçekleştirir [31, 32].

Bu yönetim düzlemleri sensör düğümlerinin gücünü verimli bir şekilde birlikte kullanabilme, verileri bir mobil sensör ağına yönlendirebilme ve sensör düğümleri arasında kaynakları paylaşabilme gibi işlemleri gerçekleştirebilmektedir. Tüm sensör ağı açısından, sensör düğümlerinin birbirleriyle işbirliği yapabilmesi ağın ömrünün uzamasına imkân sağlamaktadır [32].



Şekil 2.4. Kablosuz algılayıcı ağ mimarisi [8]

2.4.1. Uygulama Katmanı

Ana uygulama ve sorgulama, zaman senkronizasyonu, ağ güvenliği gibi çeşitli yönetim işlevlerini içeren uygulama katmanında, her uygulamaya özgü uygulama koduna ek olarak sorgulama ve ağ yönetim işlevleri de bulunmaktadır [9]. Bu doğrultuda algılama görevlerine bağlı olarak farklı uygulama yazılımları uygulama katmanında oluşturulmakta ve kullanılmaktadır [32].

2.4.2. İletim Katmanı

İletim katmanı, sensör ağ uygulaması gereksinime göre veri akışının sürdürülmesine yardımcı olmaktadır. Ayrıca güç, taşınırılık ve görev yönetimi sensör düğümleri için güç, hareket ve görevlendirme işlemlerini izler. Böylece genel güç tüketiminin azaltılması koordine edilebilmektedir [9]. Bu katmanın temel işlevi, üst katmanlardan gelen verileri kabul etmek, bunları daha küçük birimler halinde bölerek ağ katmanına geçirmek ve diğer tüm parçaların teslim edilmesini sağlamaktır. Ayrıca, TCP, UDP, SCTP, DCCP, SPX gibi çeşitli protokolleri de içermektedir. Kablosuz algılayıcı ağların iletişiminde, taşıma katmanı protokolleri güvenilirlik ve tıkanıklık kontrolünü sağlamaktadır [33].

2.4.3. Ağ Katmanı

Ağ katmanı, iletim katmanı tarafından sağlanan verileri yönlendirmekle yükümlüdür [32]. Bu doğrultuda ağ katmanının ana işlevi rota oluşturmaktır da denilebilir. Ağ katmanı, gönderme ve alma işlemlerini yerine getirmek adına uçtan uca yönlendirme protokolünü uygulamaktadır. Paketin hedefe ulaşacağı yol boyunca geçtiği bağlantıların teslim sırasını belirler. Yönlendirme tablosunu korumak veya isteğe bağlı olarak bir rota belirleyebilmek için de kontrol mesajları gönderebilmektedirler [33].

Bütün bunlara ek olarak, bilinen bilgiler ışığında sensör ağları için pek çok uygulama alanı tanımlanıp önerilmekle birlikte, sensör ağları için potansiyel uygulama katmanı protokolleri büyük ölçüde keşfedilmemiş bir bölge olarak görülmektedir [8].

2.4.4. Veri Bağlantı Katmanı

Veri bağlantı katmanı, ortama erişim ve hata kontrolü, veri çerçeve tespiti, veri akışı gibi konuları ele almaktadır. İletişim ağında güvenilir şekilde noktadan noktaya ve noktadan çoklu noktaya bağlantı sağlamaktadır. Ayrıca çevre gürültüsü ve sensör düğümleri hareketli olabileceğinden Ortam Erişim Kontrol (MAC- Medium Access Control) Protokolü hata kontrol teknikleriyle komşu düğümlerin yayınları ile çarpışmayı en aza indirebilmekle yükümlüdür [31].

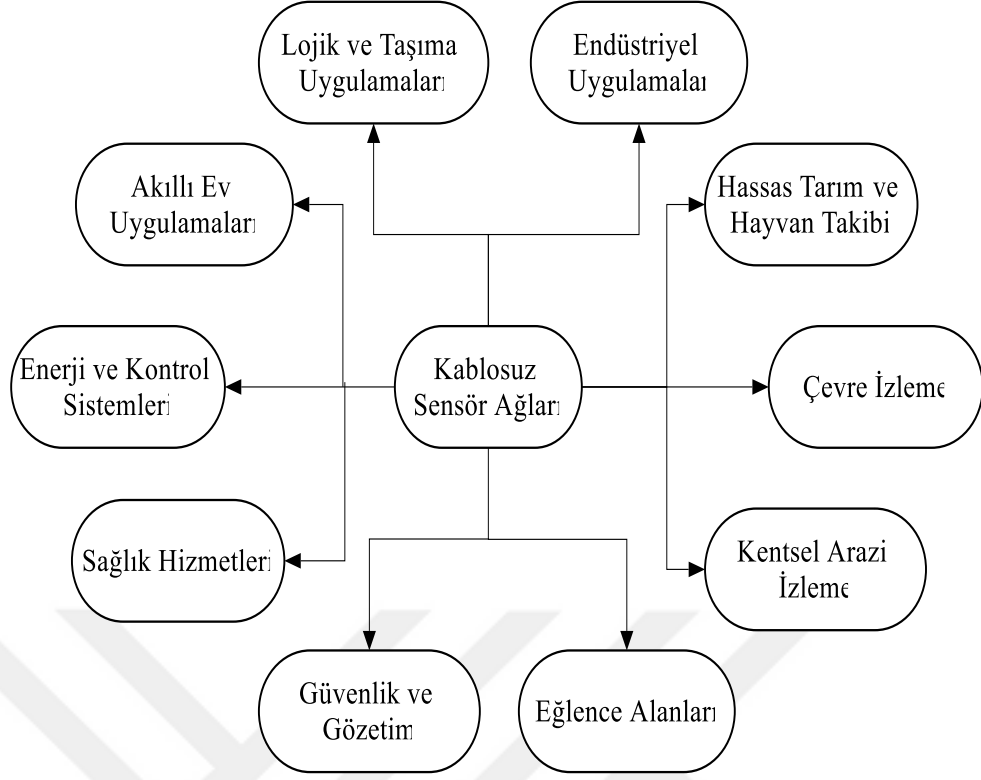
2.4.5. Fiziksel Katman

Fiziksel katman; frekans seçimi, taşıyıcı frekans üretimi, sinyal algılama, modülasyon ve veri şifreleme gibi yükümlülüklerle sahiptir. Frekans üretimi ve sinyal tespiti, donanım ve alıcı-verici tasarımıyla ilgilenen fiziksel katman, özetle basit ancak sağlam modülasyon, iletim ve alım tekniklerini adreslemektedir [32, 33].

2.5. Kablosuz Algılayıcı Ağların Uygulama Alanları

Kablosuz algılayıcı ağların ilk olarak askeri alanlarda kullanıldığı bilinmektedir. Sensör düğümleri ve iletişim ağları maliyeti azaldıkça, sivil amaçlı olanlar da dâhil olmak üzere sağlık, çevre habitat izleme gibi birçok farklı alanda kullanılmaya başlanmıştır [5]. Bununla birlikte, KAA artık çevre ve yaşam alanı izleme, sağlık uygulamaları, ev otomasyonu, nükleer reaktör kontrolü, yangın algılama ve trafik kontrolü dâhil olmak üzere ticari ve endüstriyel kullanım gibi birçok sivil uygulama alanlarında da kullanılmaya başlamıştır [35].

İzleme ve takip etme mantığı ile KAA uygulamaları iki yöntem ile uygulanmaktadır. İzleme uygulamalarına, iç / dış çevre izleme, nesne izleme, trafik izleme, sağlık izleme, güç izleme, konum izleme; takip uygulamalarına ise, nesnelere, hayvanları, insanları ve araçları takip etme örnekleri verilebilmektedir [6, 35]. örneklerden birkaçı şekil 2.5’de özetlenmektedir.



Şekil 2.5. Kablosuz algılayıcı ağı uygulama alanları [36]

2.5.1. Çevre İzleme Uygulamaları

Algılayıcı ağların ilk örneklerinden olan çevre izlemede; hayvan izleme, orman gözetimi, sel tespiti ve hava tahmini yapabilmek için var olan veriyi ölçebilen sensörler kullanılmaktadır [9, 37]. Bu sayede tsunami ve deprem gibi doğal afetler ile ilgili durum tahminleri yapılabilmekte, nem ve toprak sensörleri ile de daha verimli sulama alanları oluşturularak su tasarrufu yapılabilmektedir [38].

Habitat İzlenimi: İlkel yaşam alanlarındaki yabani hayvan veya bitki koşullarının yanı sıra yaşam alanlarının çevresel parametrelerini izlemek için de sensörler kullanılabilir [9].

Hava yada Su Niteliklerinin İzlenimi: Sensörlerin sualtına yerleştirilmesi ile hidrokimya alanlarının izlenimi, toprak üstüne yerleştirilmesi ile de hava kirliliği kontrolünün izlenimi gerçekleştirilebilmektedir [9].

Tehlike İzlenimi: Kimyasal tesisler gibi tehlikeli alanlarda canlı veya kimyasal tehlike izlenimi gerçekleştirilebilmektedir [35].

2.5.2. Askeri Uygulamalar

Askeri (C4ISRT) komuta, iletişim, hesaplama, kontrol, istihbarat, gözetleme, keşif ve hedeflemenin önemli bir parçası olan KAA [33], bu alanda kullanılarak askere strateji ve ölüm riskinin minimize edilmesini sağlayabilmektedir [39].

2.5.3. Endüstri Uygulamaları

KAA kontrol uygulamaları, bina otomasyonu ve erişim kontrolü gibi endüstriyel alanlarda uzun süredir kullanılmaktadır [32]. Sensör düğümleri cihaza yerleştirilerek, cihazın durum ve çalışmasının izlenmesi daha ekonomik hale getirilebilmektedir [37].

2.5.4. Akıllı Ev Uygulamaları

Teknoloji ilerledikçe akıllı sensör düğümleri, mikrodalga fırın, buzdolabı ve elektrikli süpürge gibi birçok cihaza gömülebilmeleri sayesinde bu sensör düğümleri birbirleri ve uydu yoluyla harici ağ ile etkileşime girebildiklerinden dolayı kullanıcılar cihazları uzaktan daha kolay yönetebilmektedirler. Bu sayede evdeki çeşitli uygulamaların uygun kontrolü ile konutlarda çeşitli cihazların birbirine bağlanması sağlanabilmektedir [32, 33].

3. NESNELERİN İNTERNETİ

Nesnelerin interneti (Internet of Things - IoT) terimi ilk kez 1991 yılında Cambridge Üniversitesinde çalışan 15 akademisyenin kahve makinesini gözlemleyebilmek için tasarladıkları bir kameralı sistem ile gündeme gelmiştir. Bu kahve makinesine ait görüntüler belirli periyodik aralıklar ile bilgisayara iletilmiş, sistem internete bağlanmamasına rağmen işlemler çevrimiçi bir şekilde devam etmiş ve bu sayede gerçek zamanlı bir haberleşme gerçekleşebilmiştir. Kullanıcıya sunulan bu özelliklerinden ötürü bahsi geçen sistem nesnelerin internetinin ilk uygulaması olarak kabul edilmektedir [56]. Nesnelerin interneti terimi ayrıca 1999 yılında da Kevin Ashton tarafından yapılan bir sunumda da başlık olarak literatürdeki yerini almıştır [57].

Kablosuz iletişim teknolojilerinin gelişimi ile günümüz nesneleri internete bağlanabilmektedir. Bu şekilde ortaya çıkan nesnelerin internetinin temeli kablosuz ağ yapısına dayanmaktadır da denilebilmektedir. Ancak nesnelerin internetinde kablosuz algılayıcı ağlardan farklı olarak ağ akıllılığı bulunmaktadır. Ağ içerisinde etkileşimli bir şekilde çalışan nesnelerin akıllı olması (object smartness) ve her nesneye ait kimliklerin bulunması, insan müdahalesine ihtiyaç duyulmaksızın cihazların kendi aralarında konuşmasına olanak sağlamaktadır. Tez kapsamında gerçekleştirilen uygulamanın çalışma mantığı cihazlar arasında etkileşim veya diyalog olması bakımından nesnelerin interneti teknolojisine dayanmaktadır.

IoT ortamı, kullanıcılarının internete bağlı çalışan elektronik cihazları yönetmelerine ve aynı zamanda optimize etmelerine imkân sağlayabilmektedir. İletişimin artık bilgisayarlar ile bağlantılı olan elektronik cihazlar arasında gerçekleştiği görülmekte, bu şekilde cihazlar arasında insan müdahalesine gerek duyulmadan kendi aralarında bilgi alışverişi yapılmakta ve böylece insan etkileşiminin azaltılacağı düşünülmektedir. Bu bağlamda iletişim teknolojisinde ortaya çıkan gelişmeler sonucunda daha fazla cihaz internete bağlanabilmektedir. 2010 yılından bu yana internet kullanımı artık insanlardan öte akıllı cihazlar arasında da artmakta ve günlük hayatımızda kullandığımız çoğu ekipmanlar kontrol edilebilmekte ve

izlenebilmektedir. Birçok işlem, IoT'deki sensörler aracılığıyla yapılmaktadır. Sensörlerden elde edilen analog veriler dijital veriye dönüştürülür ve kontrol merkezine iletilir. Bu işlemler kullanıcıya çevresel değişimleri dünyanın herhangi bir yerinden internet aracılığı ile uzaktan izleyebilme imkânı sunmaktadır [56].

Günümüzde hayatımızı kolaylaştıran internet ve teknoloji ürünleri, kablosuz ağlar ve internet vasıtası ile birbirleriyle ilişkilendirilerek etkileşime geçmekte olup nesnelerin interneti (IoT) teknolojisi olarak birçok alanda insanlara ve çevreye hizmet etmektedir [56]. Bu teknolojinin kullanılması ile tasarlanan akıllı bir sulama sistemi, işgücüne olan ihtiyacı minimum seviyeye indirerek tarımsal faaliyetlerin daha az maliyetle ve daha az zaman harcanarak gerçekleştirilmesine katkı sunabileceği gibi enerji ve su kullanımında da tasarruf sağlayarak doğaya ve insan geleceğine katkı sunması amaçlanmıştır.

Nesnelerin interneti teknolojisi ile günlük hayatta kullanılan çoğu cihazın kendi aralarında haberleşmesi sağlanarak akıllı bir ortam oluşturulabilmektedir. IoT teknolojileri ile ev aletleri birbiri ile etkileşim içerisinde olduğundan dolayı bu durum kullanıcıların yaşam kalitesini arttırmaktadır [58]. Bu tez çalışması kapsamında tasarlanan sistem ile işgücü yükünden kaçınılarak; enerji, zaman ve maliyette tasarrufa gidilmesi amaçlanmaktadır.

Gelişen teknoloji ile uzak konumların denetimine imkân veren internet tabanlı uygulamaların kullanımı gün geçtikçe daha yaygın olmaktadır. Tarım alanlarında yetiştirilen ürünler için gerekli mikro iklim şartlarının sağlanması, kullanımı gittikçe artan internet tabanlı sistemler açısından oldukça önemlidir. Bu sistemler ekilen ürün için doğru sulama, gübreleme, havalandırma, ısıtma gibi gerekli ortam koşullarını oluşturabilmektedir [59]. Bu işlemler sera veya açık tarım alanlarının ihtiyacı doğrultusunda yapılmaktadır. Aynı amaç doğrultusunda geliştirilen bu çalışma ile belirlenen eşik değerleri (hava durumu-toprak durumu) neticesinde ekili olan ürünlerin verimi artırılabilir. Aynı zamanda iş gücüne duyulan ihtiyaç azalmakta, su ve enerji tasarrufu sağlanabilmektedir.

3.1. Nesnelerin İnterneti Mimarisi

Günümüzün gelişen teknolojilerinden olan IoT alanında yapılan literatür araştırması neticesinde, önerilmiş farklı katmanlı mimari modelleri bulunmaktadır. Şekil 3.1’de gösterildiği üzere bu mimari dört katmanlı olarak anlatılmıştır [74].



Şekil 3.1. IoT katmanları [74]

Algılama katmanı: Temel olarak, sensör cihazları veya RFID okuyucular tarafından bilgi, konum, sıcaklık, yönelim, hareket, titreşim, hızlanma, nem ve havadaki kimyasal değişiklikler gibi fiziksel durumları algılayıp toplayan bu katman IoT yapısının en alt kısmını oluşturmaktadır [75].

Ağ katmanı: Sensör ağları üzerinden güvenli veri aktarımı için temel destek hizmetlerini sağlayan bu katman, çeşitli kaynaklardan gelen bilgilerin toplanması ve doğru varış noktalarına yönlendirilmesinden sorumludur. Bu veriler 3G, wi-fi, bluetooth, kızılötesi gibi kablosuz ağ teknolojisi üzerinden aktarılmaktadır [76].

Destek katmanı: Bu katman, bulut bilişim gibi uygulama güvenliği mimarisini, güçlü şifreleme algoritmasını ve şifreleme protokollerini barındırarak bir üst katman için güvenli bir ortam sağlamaktadır [75].

Uygulama katmanı: Bu katman, bir alt katmanda işlenen nesnelerin içeriğine göre kişinin ihtiyaçları gibi hizmetlerin sunulmasını sağlayan IoT mimarisinin en üst katmanıdır [76].

3.2. Nesnelerin İnterneti Özellikleri ve Karşılaşılan Zorluklar

İnternet'e erişebilen cihazların, birbirine bağlı nesnelerin oluşturduğu dev bir ağ olarak bilinen nesnelerin interneti ile bu cihazlar etkileşim halinde birbiri ile konuşarak elde ettikleri bilgi ve çevresel verileri toplamakta ve gerektiğinde paylaşabilmektedir [16].

Nesnelerin interneti kullanımının günümüzdeki artışına yönelik Gartner'in 2017'de 8,4 milyar cihazın bağlanacağı tahmini gerçekleşmiş ve 2020'ye kadar ise 20 milyardan fazla bağlantının gerçekleşeceğini öne sürmüştür [17]. IoT teknolojisinin bu denli büyümesi kullanımı açısından bazı avantaj ve dezavantajlarının da ortaya çıkmasına sebep olmaktadır. Bu bağlamda birçok nesnenin etkileşim halinde olması, internet üzerinden de trilyon mertebesindeki verinin analizi ve tabii ki günlük yaşantıda insan üzerindeki iş yükünün azaltılması hayat kalitesini olumlu etkilemektedir. Bu bağlamda insan hayatını büyük ölçüde kolaylaştıran bu IoT teknolojisinin birçok faydası bulunmaktadır. Bilinen bazı özellikleri aşağıda sıralanmaktadır.

- Bilgi: Daha iyi karar verme açısından daha fazla bilgiye sahip olmak, daha hızlı kararlar alınmasına yardımcı olmaktadır [18].
- Değişken koşullara dinamik olarak adapte olabilme: IoT aygıtları ve sistemleri değişken koşullarda dinamik olarak uyum sağlama ve çalışma koşullarına, kullanıcıya veya algılanan çevresel faktörlere göre adapte özelliğine sahip olmalıdır. Örneğin, bir dizi gözetleme kamerasından oluşan bir gözetim sistemini düşünüldüğünde herhangi bir hareket algılandığında kameralar daha düşük çözünürlükten daha yüksek çözünürlüğe geçebilmekte ve yakınındaki kameraları da aynı şekilde uyarabilmektedir [18].

- Kendiliğinden konfigürasyon: Kendiliğinden konfigüre edilebilir bir kapasiteye sahip olan IoT cihazları, çok sayıda cihazın ortak işlevler (hava durumu izleme gibi) yürütebilmesi açısından birlikte etkileşimle şekilde çalışmaktadırlar [18].
- Benzersiz kimlik: Her IoT cihazının benzersiz bir kimliği ve benzersiz bir tanımlayıcısı (IP adresi veya URI gibi) bulunmaktadır. Böylece ürüne değer katılır ve taklidi zorlaştırılır [79].
- Bilgi ağına entegre edilebilme: IoT cihazları, genellikle diğer cihazlarla ve sistemlerle veri alışverişi yapabilmekte ve veri alışverişi yapmalarını sağlayan bilgi ağına entegre edilebilmektedir. Bu teknoloji ile cihazlar, diğer aygıtlar veya ağlar tarafından dinamik olarak keşfedilebilmektedir. Böylece hava koşullarını tahmin etmek için çok sayıda ilgili hava durumu izlenebilir, IoT düğümünün verileri toplanabilir ve analiz edilebilir [79].
- Akıllı karar verme yeteneği: Bu özellik ile geniş alan ağının enerji verimliliği artırılarak ağ ömrünün uzaması sağlanır, böylece çoklu sensör düğümleri kendi aralarında işbirliği yaparak karar işlemleri toplu şekilde yapılır [18].
- Para ve zamanda tasarruf: Enerji tasarrufu ve takip, izleme, müdahale maliyeti IoT sayesinde minimum seviyelerde olabilmektedir. IoT, doğru karar alma ve doğru analiz işlemleri ile bilginin toplanması ve işlenmesinde zamandan tasarruf sağlamaktadır [79].

Yeni bir araştırma alanı olan IoT mimarisinin katmanlarında ve bilgi güvenliğinin farklı yönlerinde ortaya çıkan çeşitli sorunların çözülmesi gerekmektedir. Ortaya çıkan bu zorluklar aşağıda maddeler halinde sıralanmaktadır [82].

- Güvenlik ve mahremiyeti,
- Ölçeklenebilirliği,
- Çevresi ile uyumlu bir şekilde organize olabilmesi,
- Yazılım karmaşıklığı,

- Veri yorumlama ve veri miktarı,
- Hata toleransı,
- Kısıtlı kaynaklar,
- Bağlı cihazların tanımlanması (kimlikleme),
- Sınırlı bant genişliği [82].

3.3. Nesnelerin İnterneti için Güvenlik ve Gizlilik

IoT yapısının oluştuğu kaynak kısıtlanmalı ortamlar için şifreleme algoritmaları ve kimlik doğrulama protokollerinin bulunması güvenliğin sağlanması açısından önem arz etmektedir. Nesnelerin interneti ile günümüzde internete bağlı cihaz sayısının artmasıyla saldırı riski sistemler açısından tehlike arz etmektedir [83]. Mevcut güvenlik önlemlerinin bu kadar çok cihazı desteklemede yetersiz kalması kaçınılmaz olmaktadır. Bu bakımdan veri bütünlüğü, kimlik doğrulama, cihaz ve kimlik yönetimine yetkili erişim gibi gizlilik politikaları gereksiniminin yanı sıra gerçek kullanım verilerinin üretildiği çevresel ortamların da gerekli güvenlik seviyelerinde olması gerekmektedir. Örneğin, hastanın sağlık durumunun izlendiği, hastaya dair önemli bilgilerin kaydedildiği ve hastaya bağlı cihazların dışardan müdahaleye açık olduğu durumlar ciddi sorunlara neden olabilmektedir.

3.4. Kablosuz Teknolojiler

Geçmiş yıllarda iletişimde kullandığımız kablolu teknolojideki en büyük dezavantajlardan biri de bu sistemde kablonun kullanılıyor olmasıydı, bir diğeri de uzun mesafe kısıtları olması ve tabii ki güvenilir bir kullanımı sunamamasıydı. Bu dezavantajların üstesinden gelebilmek adına kablosuz teknoloji tercih edilmekte ve bu sayede iletişimde kullanıcıya güvenilir bir ortam sunulmaktadır [19].

KAA'da, sensör düğümleri değişken tipte parametreleri algılayabilmekte ve merkezi bir ağ geçidine gönderebilmektedir. Çizelge 3.1'de gösterildiği gibi harici sunuculara

veya servislere hem kablolu hem de kablosuz olarak bağlanabilen KAA, çeşitli iletişim teknolojileriyle çalışabilme yeteneğine sahiptir [20].

Kablosuz teknolojiler, dünya çapında çeşitli geniş uygulamalarda uygulanmaktadır. Dünya üzerinden kablosuz haberleşme uydularından, kapalı ortamlarda veya okul, kolejler, ofisler, fabrikalar ve endüstriler gibi sınırlı uygulamalarda, veriler modem, Bluetooth, Wi-Fi ve Zigbee vb. gibi kablosuz algılayıcı ağlar yardımıyla sağlanmaktadır [19].

Çizelge 3.1. Kablosuz teknolojiler

İletişim Şekli	İletişim Mesafe Kapsamı
Zigbee	30m-1600m
Wi-Fi	100-300m
Bluetooth	30-100m
GSM / GPRS	Ağ Taşıyıcı Kapsamı (km)

3.4.1. RFID

Radyo Frekansı ile Tanımlama (RFID), canlıları veya nesnelere radyo dalgaları ile seri numarası biçiminde ileten teknolojiler olarak tanımlanmaktadır. Nesnelere konum ve durum bilgisinin belirlenebilmesi için gerçek zamanlı olarak izleyerek nesne tanımını sağlayan IoT teknolojisinin ana yönlendiricileri olarak bilinmektedir. RFID'in ana bileşenleri; etiket (nesne tanımlamada kullanılan antene bağlanmış mikroçip), okuyucu (RFID etiketinden gelen radyo dalgalarını dijitalleştirir), anten (tanım bilgisinin okuyucuya iletilmesini sağlar), erişim kontrolörü, yazılım ve sunucu olarak sıralanabilmektedir. Daha güvenilir, verimli, ucuz ve doğru sonuçlar elde edilmesine imkân sağlamaktadır. RFID, dağıtım, izleme, hasta izleme, askeri uygulamalar gibi geniş bir kablosuz uygulama yelpazesine sahiptir [84].

3.4.2. Zigbee

IEEE 802.15.4 standardına dayanan ZigBee, kişisel alan ağları oluşturmak için kullanılan kısa mesafe kablosuz ağ standardı olarak tanımlanabilmektedir. Bluetooth ve Wi-Fi'den farklı olarak, çok az miktarda güç tüketirken, 100 metreye veya daha fazlasına kadar güvenilir veri aktarımı sağlayabilmektedir. Genellikle uzun pil ömrü ve güvenli ağ iletişimi gerektiren düşük veri hızı uygulamalarında tercih edilmektedir. (ZigBee ağları 128 bit simetrik şifreleme anahtarları ile korunmaktadır.) ZigBee tabanlı KAA'ların inanılmaz bir kullanım potansiyeli vardır. Çünkü hem geleneksel hem de kablolu işletim sistemlerine göre hem kurulum hem de çalışma halinde çok daha esnek bir yapıya sahiptir[12, 21]. ZigBee, kablosuz iletişim kanallarının otomatik olarak arayabilme, veri akışına göre derin uykuya dalarak enerji tasarrufu sağlayabilme ve çok sayıda kablosuz ağın bir arada tutulmasını sağlayabilme gibi birçok özelliği bünyesinde barındırmaktadır [22].

3.4.3. Wi-Fi

Wi-Fi veya diğer adıyla IEEE802.11, kablosuz yerel ağlar için geliştirilmiş, veri aktarım hızı 11 Mbps-54 Mbps aralığında olan bir radyo iletişim standardı olarak da tanımlanabilmektedir. IEEE 802.11g, 802.11b veya 802.11a olarak bilinen telsiz teknolojilerini kullanmaktadır [12].

Wi-Fi, dizüstü bilgisayarlar, LAN'lar gibi mobil bilgi işlem cihazlarında kullanılmak üzere tasarlanmış olmasına rağmen, artık internet, cep telefonu (oyun), televizyon ve DVD oynatıcılar gibi birçok uygulama alanlarında da kullanıldığı görülmektedir [23]. Tez kapsamında geliştirilen uygulamada ESP8266 wi-fi modülü (NodeMcu) kullanılmıştır.

ESP8266 için AT Komutları:

AT (Attention Command) komutları, bilgisayarlar ve modemler arasında iletişimi sağlamak amacıyla 1980'lerin başında Hayes tarafından geliştirilmiştir [28].

AT komut setleri mobil cihazlar ile genişletilerek daha sonra standart hale getirilmiştir. Bugün çoğu modem bilgisayarlarla AT komutu ile haberleştiği bilinmektedir [27]. Wi-Fi modülü ile haberleşmek için üretici tarafından tanımlanan AT komut seti kullanılmaktadır. Çizelge 3.2’de bazı AT komutları ESP8266 modülündeki işlevleri ile birlikte verilmiştir [28].



Çizelge 3.2. ESP8266 için bazı AT komutları

KOMUT	AÇIKLAMA	KULLANIM ŞEKLİ
AT	Uyarma komutudur. Her komut AT öneki ile başlar.	OK
AT+RST	Restart	OK [System Ready]
AT+GMR	Firmware Sürümü	AT+GMR 0018000902 OK
AT+CWLAP	Çevredeki kablosuz ağları listeler.	AT+CWLAP +CWLAP:(4,"AP 1",- 38,"70:62:b8:6f:6 d:58",1) +CWLAP:(4,"AP 2",- 83,"f8:7b:8c:1e:7c :6d",1) OK
AT+CWJAP? AT+CWJAP="SSI D","Password"	Bağlı olduğu kablosuz ağ bilgisini listeler veya başka Kablosuz ağa bağlanmayı sağlar.	Query AT+CWJAP? +CWJAP:"AP 1" OK
AT+CWQAP=? AT+CWQAP	Bağlı olduğu kablosuz ağdan çıkmayı sağlar.	Query OK
AT+CIFSR	Modülün Ip bilgisini verir.	AT+CIFSR 192.168.1.104 OK
AT+CIOBAUD? Supported: 9600, 19200, 38400, 74880, 115200, 230400, 460800, 921600	Seri haberleşme için bant genişlikleri	Query AT+CIOBAUD? +CIOBAUD:9600 OK
AT+CWMODE? AT+CWMODE=1 AT+CWMODE=2 AT+CWMODE=3	Kablosuz ağ modu 1- STA. 2-AT. 3- STA&AT	Query STA AP

3.4.4. Bluetooth

Bluetooth, kablosuz kişisel alan ağının bir parçası olmakla birlikte, düşük güç, taşınabilir, kısa menzilli radyo frekansı gibi özelliklere sahip olan bir IEEE 802.15.1 standardı olarak bilinmektedir [23].

Endüstriyel, ticari, ev içi uygulamalar için kablosuz teknolojinin gürültülü bir ortamda iyi çalışması beklenen bluetooth, Uyarlanabilir Frekans Atlamalı (AFH) ve İleri Hata Düzeltme (FEC) özelliklerine göre çalışmaktadır [12].

3.4.5. GSM-GPRS Teknolojisi

GSM, Avrupa Telekomünikasyon Standartlar Komitesi'nin Groupe Speciale Mobile (Mobil İletişim Özel Grubu) alt kuruluşu ismi ile bilinen Mobil İletişim için Küresel Sistem, dünyanın en popüler mobil telefon sistemi olarak tanımlanabilmektedir [24]. Mobil operatörlerin %80'i bu standardı kullanmakta ve 212'den fazla ülkede 1,5 milyardan fazla kişiye hizmet vermektedir. GSM kipinin evrimi olarak da tanımlanabilen GPRS (Genel Paket Radyo Servisi), cep telefonu şebekeleri üzerinden paket anahtarlamalı veri aktarımı yapılmasına imkân vererek, cep telefonlarının internete bağlanmasına olanak sağlamaktadır [25].

Kısa Mesaj Servisi (SMS):

İki insanın bulunduğu her yerde, insanlar arasında sözel veya sözel olmayan konuşmalar olarak tanımlanan iletişimden söz etmek mümkündür. İlkçağlarda ateş, güvercin ve çok sonraları posta gibi yollarla iletişim kuran insanoğlu, 1872'de Alexander Graham Bell tarafından icat edilen telefon ile iletişimi çok başka bir boyuta taşıyarak günümüzde olduğu gibi gelişen teknoloji ile farklı haberleşme yöntemlerini kullanmaktadır. Bu gelişmeler ışığında icat edilen mobil telefonların günümüzde yoğun bir şekilde kullanılmakta olduğu bilinmektedir. İlk olarak 1980'li yıllarda ortaya çıktığı bilinen GSM (Global System for Mobile Communications-Mobil İletişim için Küresel Sistem) ile Türkiye 23 Şubat 1994 senesinde tanışmıştır.

Zamandan ve mekândan bağımsız iletişim sağlayabilme özelliğine sahip cep telefonları, sürekli hareket halinde olan insanlar için iletişimden kopmalarını sağlayarak iletişimde vazgeçilmez hale geldiği söylenebilir. Günümüzde de yaygın bir iletişim aracı olarak kabul edilmeleri bu vazgeçilmezliği kanıtlamakta ve bu bağlamda teknolojinin gelişimine bağlı olarak kullanım alanının artacağı da düşünülmektedir [26].

AT Komutları

Sim karta erişebilen AT komutları sayesinde sms gönderme, sms okuma, sms silme, arama yapma gibi işlemler, telefon tuş takımı kullanılmadan yaptırılabilir. Bu komutlarla IMSI (International Mobile Subscriber Identity) bilgisi, modem veya telefon üreticisi gibi birçok bilgi öğrenilebilmektedir [27].

AT komutlarının TEXT ve PDU olmak üzere iki formatı bulunmaktadır. PDU formatındaki metinler öncelikle ASCII (American Standard Code for Information Interchange) formata çevrilerek işleme tabii tutulmaktadır. TEXT formatında ise metinler herhangi bir dönüşüme gerek duyulmadan gerekli işlemler gerçekleştirilebilmektedir. AT komutları kullanılarak haberleşebilmek için AT komutu gönderilir, “OK” cevabı gelirse modem ile bağlantı kurulmuş demektir. Çizelge 3.3’de de görüldüğü gibi “AT” öneki ile başlamaktadır [27].

Çizelge 3.3. GSM için bazı AT komutları

KOMUT	AÇIKLAMA	KULLANIM ŞEKLİ
AT	Uyarma komutudur. Her komut AT öneki ile başlar	Cep telefonundan “OK” cevabı gelirse bağlantı gerçekleşir.
AT+CMGF	Mesaj formatı seçimi yapılır. PDU için “0”, TEXT için “1”	AT+CMGF=1
AT+CMGS	Mesaj gönderme komutudur	AT+CMGS=“+90alıcınumarası”
AT+CMGD	Mesaj silme komutudur	AT+CMGD=1
AT+CNMI	Yeni bir sms komutudur	“AT+CNMI=1,2,0,0,0”
AT+CMGR	“0” ise alınan mesaj okunmamış, “1” ise alınan mesajı oku demektir.	AT+CMGR=1
AT+CMGL	Okunmamış text formatındaki tüm mesajları gösterir	AT+CMGL=“ALL”

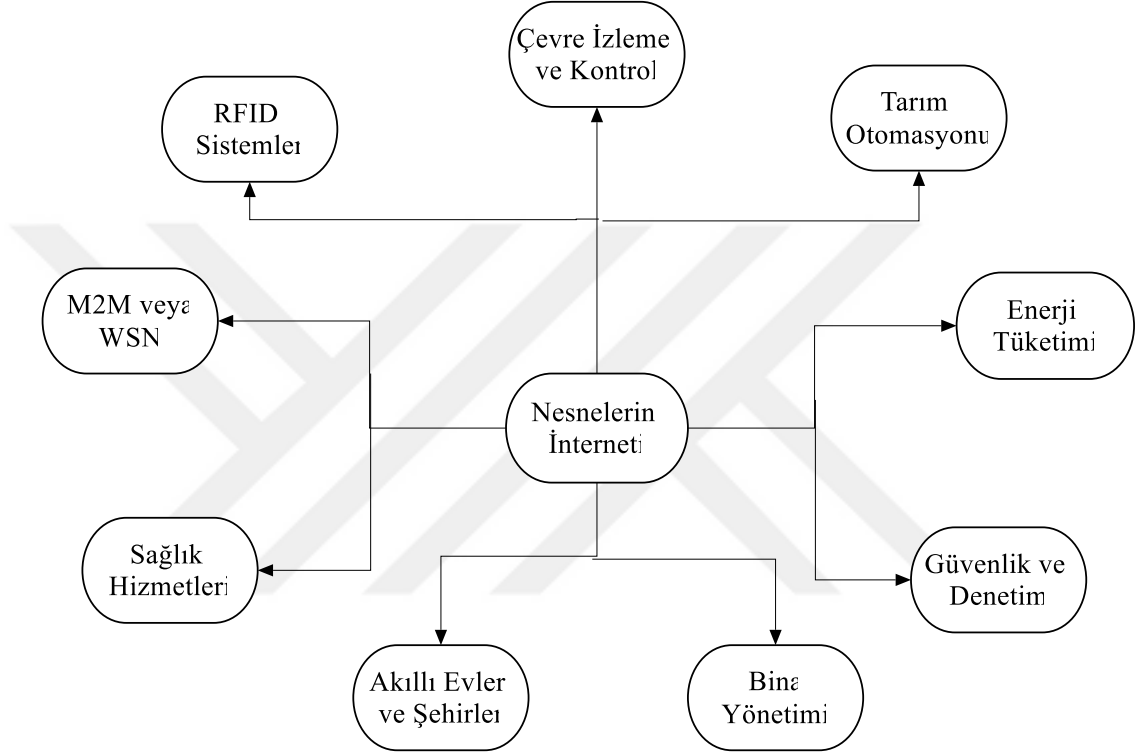
3.5. Nesnelerin İnterneti Uygulama Alanları

Günümüzde aktif olarak kullandığımız birçok uygulamada önem derecesinde potansiyel ve teknik altyapıya sahip olan IoT, bağlı nesnelere arasında gerçekleşen bilgi alışverişi ile insan hayatını büyük ölçüde kolaylaştırmaktadır. Ancak IoT'nin büyük ölçekli uygulamalarda yetersiz kaldığı görülmekte olup yetersiz ağ altyapısına sahip olduğu bilinmektedir [78].

Genel olarak sanayi, çevre ve sosyal yaşam alanlarına yönelik uygulamaların geliştirildiği nesnelerin interneti, bu alanlarda kullanılan birçok cihazın birbirlerinden haberdar olmalarına ve bu sayede veri paylaşımında bulunmalarına olanak sağlamaktadır. Bu cihazlar, günümüz gözde teknolojilerinden olan IoT sayesinde kullanımı kolay akıllı cihazlar haline gelmektedir [79].

Nesnelerin interneti ile endüstri, tarım veya günlük hayatta karşılaşılan fazla hammadde kullanımı gibi olumsuzluklar önlenilmekte [77] ve böylece ekonomik

açından tasarruf sağlanabilmektedir. Şekil 3.2’de IoT’nin kullanım alanlarına yönelik örnekler verilmiştir. Bu örnekler arasından tarım otomasyonu ile akıllı tarım alanları oluşturulabilmekte ve böylece tarımda tasarruf ve verim artışı sağlanırken, aynı zamanda enerji kullanımında da tasarrufa gidilebilmekte ve işgücü yükü azaltılabilmektedir.



Şekil 3.2. IoT kullanım alanları [77]

4. NESNELERİN İNTERNETİNİN TARIMDA KULLANIMI

Ülke ekonomisinin bel kemiği olarak kabul edilen tarımda, verim arttırmaya yönelik birçok teknik uygulanmıştır. Suyun bitki büyümesinde önemli bir faktör olduğu bilinmektedir. Bitkinin ömrü, toprakta bulunan nem miktarına bağlıdır. Ayrıca, terleme yoluyla da sıcaklığını düzenleyebilmektedir. Genel olarak bir çiftçi, daha yüksek verim ve ürün kalitesi elde etmek amacıyla daha az su kullanır ve bu da bitki büyümesi aşamalarında toprak neminin daha iyi yönetilmesi ile elde edilebilmektedir [40].

Mikro-elektro-mekanik sistem (MEMS) teknolojisi, kablosuz iletişim ve dijital elektronik alanlarındaki gelişmelerden ortaya çıkan KAA'lar ise küçük boyutludur, düşük maliyetlidir ve çalışmak için düşük güce ihtiyaç duymaktadırlar [41]. Kolay kullanım özelliğine sahip KAA, tarım alanında da kullanılmaya başlamış ve bu bağlamda bitki ve toprak durumunu izleyerek sulama işleminde çiftçiye büyük kolaylıklar sağlayabilmiştir.

Modern tarımda, IoT teknolojileri genellikle sıcaklık, nem, rüzgâr, hava durumu, yağmur, toprak nemi, toprak iletkenliği, pH değeri, toprak azot değeri gibi gerçek zamanlı bilgi toplamada kullanılmaktadır. Akıllı tarım, birçok teknolojinin etkileşimli bir şekilde tarımsal amaç doğrultusunda çalışması olarak tanımlanmaktadır [55]. IoT ile akıllı tarım teknolojilerinde iş yükü hafiflerken aynı zamanda üründe verim ve kalite artışı sağlanabilmektedir. IoT tabanlı tarım uygulamalarında birçok işlem gerçekleştirilebilmektedir. Bu işlemlerin bir kısmı aşağıda alt başlıklar halinde anlatılmıştır.

Sulama Yönetimi: Günümüz tarım faaliyetlerinde su kullanımının kontrolü için gelişmiş bir sulama yönetimi sisteminin gerekliliği ile gerçek zamanlı hava durumu tahmin verileri kullanılmaktadır [18]. Wi-Fi bağlantısı ile tarım alanlarına yerleştirilmiş nem sensörlerinden elde edilen veriler ışığında su kullanımı da yönetilebilmekte ve böylece su tasarrufu sağlanabilmektedir. Bu tez çalışmasında da

önerilen bu yaklaşım kullanılmış ve böylece kullanıcı veya çiftçiye kontrol işlemini ev ya da dünyanın herhangi bir yerinden kontrol edebilme imkânı sunulmuştur [18].

Böcek ve Hastalık Kontrolü: Pestisit ve gübrenin kontrollü kullanımı, ekim kalitesinin artırılmasına ve tarım maliyetinin en aza indirilmesine yardımcı olmaktadır. Kontrollü kullanım için ürüne vereceği zarar olasılığı, IoT altyapısına dayalı sensör düğümleri ile gerekli veriler toplanarak tahmin edilebilmektedir [18].

Su Kalitesi İzleme: Kablosuz iletişimin sağlandığı sensör düğümleri ile su kalitesi izlenebilmektedir. Bu amaçla yapılan çalışmalarda [85] IoT kullanılarak su kalitesi gerçek zamanlı izlenmekte ve böylece suyun sıcaklık, pH, bulanıklık, iletkenlik, çözülmüş oksijen gibi fiziksel ve kimyasal parametreleri ölçülebilmektedir.

Sera Ortamının İzlenmesi: IoT teknolojisi ile akıllı sera uygulamaları geliştirilebilmektedir. Ayrıca sera gazları iklim sıcaklığını arttırdığından tarım alanlarını doğrudan etkileyebilmektedir. Böylece sera gazının takibi yapılarak ürün kalitesi arttırılabilmektedir [18].

4.1. Sulama

Sulama, insanoğlunun tarım ile uğraşmaya başlamasından beri insan uygarlığının bel kemiği olmuştur. Zaman içerisinde, insanoğlu toprağa su sağlamak amacıyla birçok sulama yöntemi geliştirmiştir. Bu bağlamda suyun korunması da kullanılan yöntem açısından önem taşımaktadır.

Toprak nemini izleyebilmek adına uygulanan birçok yöntem bulunmaktadır. Bu nem içeriği toprak nem sensörü kullanılarak ölçülebilir. Bu sensör, sulama sistemini etkin bir şekilde yönetmek için kullanılır ve gereksiz sulama olaylarının sayısını azaltır. Bir bitkinin ne zaman sulanması gerektiği hakkında bilgi verir ve bu bilgiler geniş alanların sulanması için kullanılır. Bu sensörler, dielektrik sabitine veya toprağın elektriği iletme kabiliyetine bağlı olarak topraktaki su miktarını tahmin ederek çalışır. Dielektrik sabiti yüksek olduğunda, toprak su içeriği de yüksek olacaktır. Böylece

toprağın bünyesinde barındırdığı su miktarı hakkında tahmin yürütülebilmektedir. Toprak nemi optimum seviyesine ulaştığında sensör bunu gösterir, bu da sulama sistemlerinin açılmasına sağlar [40].

4.2. Hassas Tarım

Modern tarımın, gelişen teknoloji ile yeni teknikler, kavramlar ve yollar ile geleneksel tarımın yerini aldığı söylenebilmektedir. Bu yeni tarım sistemi Hassas Tarım (PA-Precision Agriculture) olarak adlandırılmaktadır. Ayrıca daha fazla mahsul verimliliğini sağlamak adına yapılan her hassas eylemle birlikte, tarımsal süreçler için bilgi tabanlı araçlar ve teknolojiler kullanılabilir [42].

Hassas tarım, çevre koşullarının yoğun bir şekilde izlendikten sonra gerekli verilerin algılanıp sonuç işlemine karar verilmesine ve bu doğrultuda tarım makinelerini de kontrol edebilmek için elde edilen verilerin bilgisayar ortamında işlenmesine dayanmaktadır [43]. Bu bağlamda kablosuz algılayıcı ağın tarımsal uygulamaları etkileyen çevre koşullarını izlemede ideal bir yöntem olduğu da söylenebilmektedir.

Hassas tarım tabanlı sistem tasarım ilkeleri, takibi yapılan ürünlere çözüm üreten ticari projelerde, sulama yapabilmek için su tedarikinin sağlanmasında, gübre yönetimi, haşere kontrolü ve otomatik hasat sağlayabilmek için çözüm üretebildiğinden kullanımı giderek artmaktadır. Bu tür sistemler, otomasyon ve maliyet tasarrufu ile maliyeti düşürebilmektedir. Hassas tarımın çiftçilere sağladığı bir diğer önemli fayda ise, tehlikeli olayları önleme ve bitkileri ve yerel çevre koşullarını proaktif olarak izleme yeteneğine sahip olmasıdır. Hassas tarımın etkinliği, gerçek zamanlı olarak doğru ölçüm setlerinin analizine dayanmaktadır [44].

4.3. Sulama Teknikleri

Eski uygarlıkların asıl geçim kaynaklarının tarım ve hayvancılık olmasından ötürü yerleşim yerleri olarak akarsular ve göller gibi su bulma imkânının yüksek olduğu

alanlar tercih edilirdi. Yirmi birinci yüzyılda ise artan su talebi ve ortaya çıkan küresel ısınma ile yanlış kullanımların etkisiyle kullanılabilir su kaynaklarında ortaya çıkan hızlı azalış, dünya genelinde tartışılan en önemli sorunlardan biri haline gelmiştir. Oluşan bu su sorununun giderilebilmesi amacıyla su kayıplarının en çok olduğu tarım, sanayi ve ev gibi alanlarda etkin su kullanımının sağlanması gerekmektedir [45].

Su kaybının en çok olduğu alanlardan olan tarım alanları açısından toprak ve su kaynaklarının ülke ekonomisi için önemli olduğu bilinmektedir. Her dönemde canlılar için vazgeçilemez bir doğal kaynak olan suyun eksikliğinde tarımsal üretim önemli ölçüde kısıtlanabilmektedir. Suyun en çok kullanıldığı alanlardan tarım alanlarında oluşturulabilecek akıllı sistemler ve sulama teknikleri ile bu kaybın önüne geçilebileceği düşünülmektedir [46].

Ülkemizde sulama teknikleri olarak yüzey sulama ve basınçlı sulama olmak üzere 2 ana sulama yöntemi uygulanmaktadır. Yüzey sulama kendi içinde adi sulama (vahşi sulama), tava sulama (göllendirme), uzun tava sulama ve karık sulama olmak üzere 4 alt başlığa ayrılmaktadır. Fakat en yaygın kullanımın tek avantajı maliyetinin düşük olması olan adi sulama yöntemine ait olduğu bilinmektedir. Birkaç sene öncesine kadar ülkemizde sadece yağmurlama sistemiyle sulama yapılması olarak bilinen basınçlı sulama yöntemi son zamanlarda yaygınlaşmakta olan damlama sulama sistemlerini de bünyesinde barındırmaktadır [47]. Bitkinin türüne bakılmaksızın ihtiyacı kadar değil de geleneksel bilgiler ışığında yapılan sulama, aşırı sulamaya sebep olabilmektedir. Bunun sonucunda aşırı sulama ile yüzey suyu seviyesi artarak toprağın tuzluluk oranının artmasına sebep olabilmekte ve bu da ürün kalitesini ve tabii ki verimini olumsuz etkileyebilmektedir. Her ne kadar sulama yapan kişinin tecrübesi ile bu sorunun önüne geçileceği düşünülse de en verimli yolun uzman bilgi ve tecrübesiyle tasarlanacak akıllı bir sistemin eklenmesi ile çözülebileceği düşünülmektedir [47].

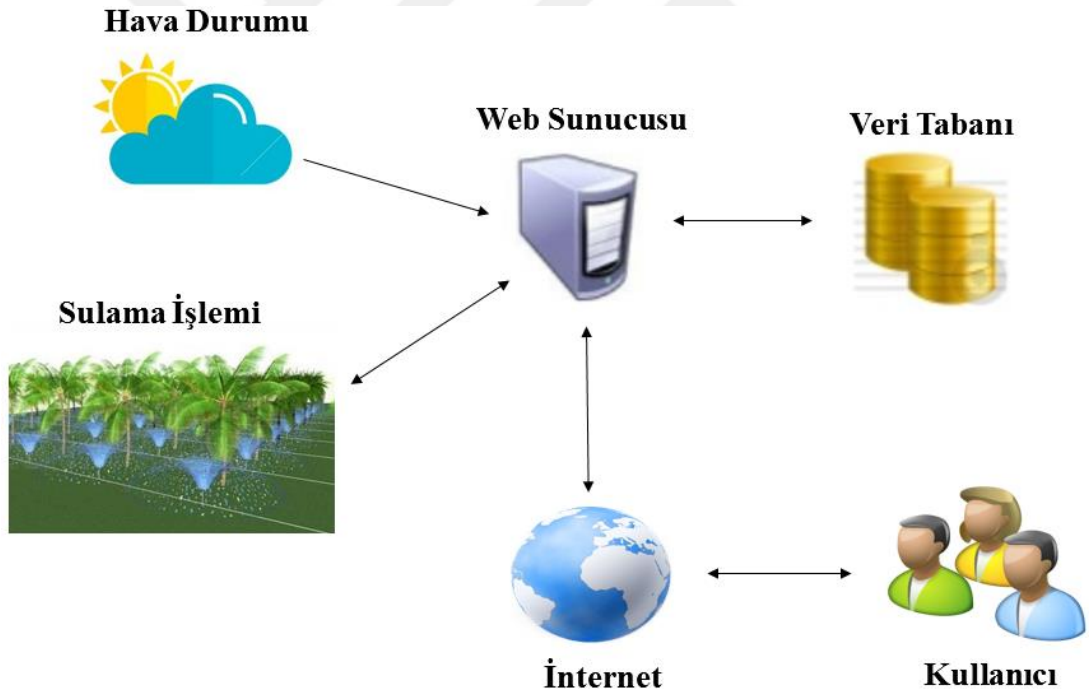
5. Wİ-Fİ VE NESNELERİN İNTERNETİ TEKNOLOJİLERİ KULLANILARAK GÜNCEL HAVA DURUMU VERİLERİ İLE TARLA SULAMA SİSTEMİNİN GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

Tez kapsamında yapılan çalışmada, tarımsal ürünlere gün geçtikçe artan talep ihtiyacını karşılayabilmek ve üretimi daha kolay hale getirmeyi başarmak amacıyla kablosuz ağlardan yararlanıldığı gözlemlenmiştir [60]. Kablosuz ağlardaki teknolojik gelişmelerin çoğu uygulamalarda olduğu gibi tarımsal uygulamalarda da olumlu sonuçlar gösterdiği söylenebilmektedir. Bu gelişmelere sulama alanlarının etkili ve verimli bir şekilde yönetilmesinin; hava durumu, toprak koşulları ve bitki su kullanımının izlenebilmesi örnek olarak verilebilmektedir. Bu tez çalışmasında, tarım alanlarının kontrolünün sağlanabilmesi açısından önem arz eden sulama faaliyetlerini yöneten, kullanılan cihazlar ve teknoloji desteği ile kullanıcıyı bilgilendirebilen ve kullanımı kolay akıllı bir sistem tasarlanmıştır. Böylece, bitkinin gerekli su ihtiyacını sağlama hususundaki sorunları çözebilmek için, otomatik bir sulama sistemi önerilmiştir. Otomatik sulama sistemi kullanıcıya yardımcı olacak şekilde tasarlanmıştır. Önerilen bu otomatik sistem, izlenecek ortamı düzenli olarak denetlemek için insanlara ihtiyaç duymadan bağımsız olarak sulama yapabildiği gibi kullanıcının süreci uzaktan takip edebilmesine de imkân verebilmektedir. IoT sayesinde kullanılan cihazların birbiri ile etkileşim halinde olmaları kolay, hızlı, ekonomik, güvenilir gibi özellikleri sunmasından ötürü tez kapsamında geliştirilen sistemde NodeMcu kullanımı tercih edilmiştir.

Tez kapsamında irdelenen çalışmalar neticesinde, tasarlanan sistemlerin daha çok konfor ve otomasyon ağırlıklı olduğu görülmektedir [61]. Bitkileri verimli tutabilmek için yeterli miktarda sulanması gerektiği de bilinmektedir. Önceki araştırmalar, bitki büyümesi için temel çevresel gereksinimlerin, kök ve kanopi gelişimi, yeterli ışık, su, oksijen, karbondioksit ve mineral elementler için yeterli alan ve gerekli fizyolojik süreçler için uygun sıcaklığa sahip olması gerektiğini göstermiştir [49]. Bu nedenle, sulamanın bitki bakımında önemli bir aktivite olmasından ötürü, her bitki yeterli miktarda suya ihtiyaç duyar, çünkü çok fazla su bitki köklerini boğabilir ve çok az su

ise büyümenin düzensiz ve bodur hale gelmesine neden olabilir. Bu tez kapsamında geliştirilen sistem bahsedilen sorunların üstesinden gelebilmeyi hedeflemiştir.

Geliştirilen sistemin modeli Şekil 5.1’de gösterilmiştir. Bu internet tabanlı otomatik sulama sistemi aşağıda beş başlık altında açıklanmıştır. İlk aşamada tez kapsamında geliştirilen bu çalışma ile ilgili benzer literatür taraması yapılmış, ardından ikinci aşamada tasarlanan sistemin blok diyagramı anlatılmıştır. Üçüncü aşamada ortam değişkenlerinin algılanıp dijital verilere çevrildiği ve bu verilere göre gerekli kontrollerin sağlandığı donanım kısmı yer almaktadır. Dördüncü aşamada kullanıcının tarla ortamını izleyebildiği bu sisteme ait yazılım kısmı açıklanmaktadır. Beşinci ve son aşamada ise iki farklı ürünün ekili olduğu tarlalarda yapılan deneme ölçümleri yer almaktadır.



Şekil 5.1. Geliştirilen sistem modeli

5.1. Literatür Çalışmaları

Gelişen teknoloji ile tarım işletmeciliğinin de gelişmesine katkı sağlanmış ve böylece akıllı tarım ve cihaz sistemleri hızla yaygınlaşmaya başlamıştır. Bu cihazlar sayesinde çiftçiler üzerindeki iş yükü azaltılmakta, akıllı sulama işlemi ile su ve enerji tasarrufu sağlanabilmekte ve en önemlisi verimli ürün yetiştirme işlemi gerçekleştirilebilmektedir. Bu alanda kullanılan farklı teknolojiler ile birçok çalışma yapılmıştır. Yapılan bu çalışmalarda etkin ürün yetiştirebilmenin yanı sıra düşük maliyet ve daha az donanım elemanları ile sistemin kullanıcılar tarafından kullanımının kolay olması gibi etkenlerin esas alındığı görülmektedir.

Farklı iklim koşulları ve dolayısıyla farklı toprak yapısının olduğu bölgelerde farklı sulama işlemlerinin yapılması gerekmektedir. Aynı şekilde etkin su ve enerji kullanımının baz alınması durumunda farklı yazılım ve donanımlara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu bağlamda incelenen literatürdeki çalışmalar aşağıda özetlenmiş ve Çizelge 5.1’de sunulmuştur.

Kumar ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada [58], Wi-Fi ve Zigbee teknolojileri ile ölçüm yapılacak alandan çekilen nem ve sıcaklık verileri belirlenen eşik değerler ile kıyaslanmış ve sulama işlemi buna göre gerçekleştirilmiştir. Tasarlanan bu sistem ile su kıtlığının yaşandığı çiftlik veya ev-bahçe alanlarında sulama yapılabilmiş, böylece su tasarrufu sağlanabilmiştir. Geliştirilen bu sistemde su kullanımı yönetimi ile aynı zamanda ürün veriminin de arttığı gözlemlenmiş, ekilen ürünün su ihtiyacını anlayabilmek için toprak neminin gerçek zamanlı ölçülmesine bağlı olduğu anlaşılmıştır.

Kabilan ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada [62], toprak tipi, toprak nemi, sıcaklık ve hava durumu gibi veriler çekilerek TSVM (Transductive Support Vector Machines) sınıflandırma algoritması uygulanmıştır. Tasarlanan sistemde, öncelikle örnek görüntüler TSVM algoritmasında eğitilmiş ve orijinal bitki görüntüleri ile kıyaslanmıştır. Kullanılan bu sınıflandırma algoritması ile uygun özellik ve nem seviyesi belirlenmiş, böylece sistemin ihtiyaç duyacağı uygun su seviyesi ile maliyet hesabı belirlenmiştir. Bu çalışmada, incelenen mevcut sistemlerde su kontrolünü

sağlayan dağıtık kablosuz algılayıcı ağların fazla güç tükettiği test edilmiştir. Geliştirilen sisteme enerji üreten paneller eklenerek mevcut sistemlerin aksine kurulum ve bakım maliyetleri en aza indirilmeye çalışılmıştır.

Rajalakshmi ve Mahalakshmi tarafından yapılan bir başka çalışmada da [63]; bağıl nem, hava sıcaklık, toprak nem ve ışık sensörleri kullanılarak tarım alanının izlenmesi için Zigbee teknolojisini kullanan otomatik bir sistem tasarlanmıştır. Tasarlanan bu sistemde sulama işlemi belirlenen nem ve sıcaklık eşik değerlerinin altına düştüğünde gerçekleşmektedir. Bu eşik değerlerin belirlenmesinin üretilecek ürüne göre değiştiği bilindiğinden tasarlanan sistem toprak nem seviyesi farklı olan bölgelerde test edilmiştir. Elde edilen veriler PHP kullanılarak MySQL veri tabanında saklanmıştır. Ayrıca, bu sistem ile Android uygulama MySQL deki verileri Json formatında ayırtmıştır. Bunun yanında, sera yetiştiriciliğinde ışık yoğunluğunun önemli bir faktör olduğunu bilen Rajalakshmi ve arkadaşı, sera koşulları baz alınarak gerçekleştirdikleri bu çalışmada bitkinin fotosentez işlemi için LDR (Light Dependent Resistor) kullanmış ve tüm ışık kaynaklarında test etmişlerdir. Gerçekleştirdikleri bu uygulama sayesinde GSM Modem ile kullanıcı cep telefonlarına gelen bildirimler ile bilgilendirilmişlerdir. Böylece, bu yaklaşım ile suyun az olduğu bölgelerde dahi verimli çalışan bir sistem geliştirilmiş ve geleneksel yaklaşımdan %92 daha verimli olduğu görülmüştür.

Ryu ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada [64], IoT ile birbirine bağlı tarım çiftlikleri tasarlanmış olup tasarladıkları bu sistemin öne çıkan avantajlarından biri önceki akıllı çiftliklere kıyasla servis senaryoları ile açıklanabilmesidir. Rest (Temsili Durum Transferi) api (Uygulama Programlama Arayüzü Anahtarı) özelliği barındıran bir IoT servisi olan Mobius'dan yararlandıkları bu sistemde kullanıcı kolaylığı için Android tabanlı bir akıllı telefon uygulaması geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri bu sistemde hava sıcaklık, nem ve karbondioksit miktarını ölçen sensör (bileşik sensör) ve PPF D sensörlerinden çekilen veriler Rest api aracılığı ile Mobius a kaydedilmiştir. Farklı ürün ve bitkiler için en uygun büyüme koşulları baz alınmış ve bu şekilde oluşturulan veri tabanının çiftçilere etkili ve verimli ürün yetiştirilmesi bakımından rehber olması hedeflenmiştir. Sistemin çalışma mantığı şu şekildedir; ölçülen değerler veri tabanındaki değerlerden küçük ise sulama işlemi gerçekleşmiş ve kullanıcıya

uyarı mesajı iletilmiştir. Ayrıca tasarladıkları bu yazılım ile çiftçiler bu akıllı sistemi kullanırken edindikleri tecrübeleri paylaşabilecekleri bir platforma da sahiptirler.

Yapılan başka bir çalışmada [60], kırdan kente olan göçler neticesinde tarım alanlarının azaldığını gören Suma ve arkadaşları, bu durumun üstesinden gelebilmek için IoT kullanan akıllı tarım tekniklerinin olduğu bir sistem tasarlamışlardır. Tasarladıkları bu sistem, GPS tabanlı olup uzaktan kumanda ile kontrol edilebilmekte ve ayrıca nem-sıcaklık algılama, yaprak nemi ölçümü, uygun sulama teknikleri, izinsiz giriş önlemi gibi çeşitli özellikleri barındırmaktadır. Toprak nemi ve çevresel etkenleri gerçek zamanlı öğrenebilmek için KAA kullanmışlardır. Sistem, hedeflenen eylemi toprak nem sensörü, PIR sensörü ve Lm35 gibi arabirim sensörleri, Wi-Fi, Mikrodenetleyici (PIC16F877A), GSM modül, ADC dönüştürücü ve kamera yardımı ile yürütebilmektedir. Kullanılan bu donanımlar göz önüne alındığında herhangi bir yanlış tasarım donanıma zarar verebileceği için Proteus Simülasyon yazılımı kullanılmıştır. Bu yazılım sayesinde kullanıcı SMS ile bilgilendirilebilmekte ve Android uygulaması ile süreci uzaktan takip edebilmektedir.

Ülke sermayesinin üçte biri tarıma dayalı olan Hindistan nüfusunun büyük çoğunluğu tarım ile uğraşmaktadır. Mevcut geleneksel yöntemlerin tarım sektöründe ilerleme kaydedemediğini gören Gondchawar ve Kawitkar tarafından yapılan bu çalışma [65] ile IoT kullanılarak akıllı bir tarım otomasyonu geliştirilmiştir. Bu kapsamda geliştirilen sistemde arabirim sensörleri, Wi-Fi ve Zigbee modülleri, mikrodenetleyicili kamera ve Raspberry Pi teknolojilerinden faydalanılmıştır. Bu sistem açık tarla alanları için geliştirildiğinden dolayı olumsuz çevre koşullarına karşı tedbir alabilmektedir. Sistemdeki bu önlemler ile bitkiye zarar verebilen canlılar ortamdaki uzaklaştırılabilmiş ve ayrıca ilaçlama işlemi de gerçekleştirilebilmiştir. Bu çalışmada, ürün ambarındaki sıcaklık-nem gibi değerleri kontrol edebilen akıllı depo yönetimi ve hırsız alarmı eklentileri ile GPS tabanlı uzaktan kontrollü bir robot tasarlanmıştır.

Imteaj ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada da [66], tarım arazileri ve saksı bitkilerine uygulanabilen, Arduino mikroişlemci, Wi-Fi modülü, GSM modülü, mikrodenetleyici olarak Raspberry Pi, sensörler (su seviye sensörü, toprak nem

sensörü, gümüşü sensörü) ve röle kullanılarak su tasarrufu sağlayan bir otomatik sulama sistemi tasarlanmıştır. Su kaynağındaki su seviyesinin azaldığını tespit edebilen sistem kullanıcıyı sms ile bilgilendirebilmiştir. Ayrıca yapılan deneysel çalışmalar ile yetiştirilen üründen daha fazla verim alındığı gözlemlenmiştir. Hava durumu tahminlerini gösteren bu uygulama ile su israfı minimize edilmeye çalışılmış ve sistemde tercih edilen sensörler ile de maliyet en aza indirilmeye çalışılmıştır. Tasarlanan bu sistem temel olarak akıllı su kullanımını sağlayarak geleneksel sulama yöntemlerinde meydana gelen olumsuz beşeri sonuçları ortadan kaldırmayı hedeflemiştir.

Singh ve arkadaşı Dhanoa tarafından yapılan bir çalışmada [67], kablosuz algılayıcı ağlar (KAA) kullanılarak otomatik sulama sistemi tasarlanmış olup tasarlanan bu sistemde sulama zamanlaması baz alınarak sulamanın ne zaman ve ne miktarda su ile yapılacağı belirlenmiştir. Bununla birlikte, tasarlanan bu sistemde hava durumu verilerini almak için GPRS'den faydalanılmıştır. Hava tahmini bilgilerinin sulama sistemlerinde daha doğru kararlar almaya yardımcı olduğu öne sürülmüştür.

Rane ve arkadaşları tarafından yapılan bir başka çalışmada da [68]; RM ve RF modülüne dayalı bir otomatik sulama sistemi tasarlanmıştır. Tasarlanan bu sistemde, güvenlik sorunları ve yavaş iletişim hızı gibi eksiklikler göz önüne alınarak hız ve güvenlik açısından Raspberry Pi ve GSM modülü tercih edilmiştir. Bitkilerin kök bölgesine yerleştirilmiş toprak-nem ve sıcaklık sensörleri ile dağıtık kablosuz ağa sahip olan bu sistem sulanacak ortam durumunu algılayarak ve bilginin düğümlere aktarılmasını sağlamaktadır. Bunun sonucunda, düğümlere bilginin aktarılması ile sistemin otomatik olarak başlaması sağlanmıştır.

Kokkonis ve arkadaşları tarafından yapılan bir başka çalışmada ise [69]; IoT Fuzzy tabanlı sulama sistemi tasarlanmıştır. Ekilebilir alanlara ait çevresel koşulların sürekli olarak izlenmesi için sensör ve aktüatörler kullanılarak sistem maliyeti minimize ve ayrıca tarımsal üretimin kalitesini ve üretim miktarını maksimize eden bir sistem donanımı önerilmiştir. Bu sistemde kablosuz iletim için 3G modem, mikrodenetleyici olarak Raspberry Pi, enerji kaynağı olarak güneş panelleri kullanılmıştır. Tasarlanan sistem için Linux, PHP ve MySQL ortamları kullanılmış ve ayrıca sulama kontrolü

için yeni bir bulanık hesaplama algoritması önerilmiştir. Bu algoritmanın girdisi, hava nemine, sıcaklığa ve birden fazla toprak nem sensöründen gelen toprak nemine bağlı olmaktadır. Bulanık sistemde her girişin üç seviyesi bulunmaktadır. Bu algoritma sulama sisteminin merkezi servo valfin açılmasını kontrol ederek sulama işlemini gerçekleştirebilmiştir.



Çizelge 5.1. İncelenen literatür çalışmaları

Kaynak	Amaç	Kullanım Alanı	Kullanılan teknolojiler	Yağışa Göre Erteleme	Avantaj Dezavantaj	Yorum
[58]	Su tasarrufu	Çiftlik veya ev-bahçe alanları	Wi-Fi modül, LPC2148 (mikroişlemci), Zigbee	-	Su kıtlığına çözüm üretmiş	Tasarlanan sistem ile farklı ortamlar için kullanılabilir bir sistem tasarlanmış
[62]	Su miktarının kontrolü	Sera ortamları	Wi-Fi modül, Zigbee, Güç kaynağı (güneş panelleri), TSVM algoritmaları	-	Mevcut sistemlere göre kurulum ve bakım maliyeti az ancak belirli bir anda alınan toprak neminin farklı bitkiler için aynı olmaz.	-
[63]	Sera ortamında bitki verimini arttırmak	Sera ortamları	Zigbee, GSM modül,	-	LDR ile sera içerisinde ışık dengesi sağlanabilmiş	Geleneksele göre %92 daha verimli
[64]	Farklı konumlardaki birbirine bağlı çiftlikler için yazıldı	Çiftlik alanları	Yağmurlama sistemi, Mubius, Rest api	-	Önceki akıllı çiftliklere kıyasla servis senaryoları mevcut	Çiftçilere ortak bir paylaşım platformu sunulmuş
[60]	Akıllı tarım ile Hindistan'da tarım sektörüne ilgiyi artırma	Ülke ekonomisine katkı sağlayan tarla alanları	PIC16F877A, Wi-Fi modül, Gsm modül, WSA ağı, Proteus Similasyon yazılımı	-	GPS ile uzaktan kontrol edilerek alarm özelliği ile güvenliği sağlayabilmiş	SMS bildirim ile kullanıcı kolaylığı sağlamış

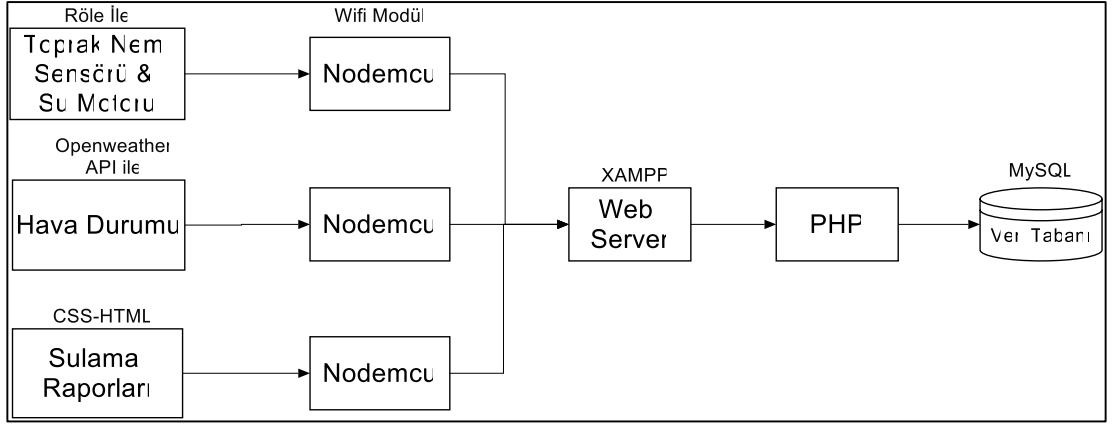
Çizelge 5.1. (devam) İncelenen literatür çalışmaları

[65]	Geleneksel tarım yöntemleri sebebiyle oluşan olumsuzluğu ortadan kaldırma	Tarım Arazileri	Mikrodenetleyicili kamera, Zigbee, Wi-Fi modülü, Raspberry pi	-	Akıllı depo yönetimi ve hırsız alarmı mevcut	GPS tabanlı uzaktan kontrollü bir robot tasarlanmış
[66]	Tarım arazileri ve saksı bitkileri için ortak bir uygulama geliştirmek	Tarım arazileri, Saksı bitkileri	Arduino mikroişlemci, GSM modül, Wi-Fi modülü, Raspberry pi	-	Hava tahminleri ile su israfı önlenmiş, donanım maliyeti azaltılmış	-
[67]	Sulamanın zamanlanması ile ürün verimini arttırmak	Tarım arazileri	Kablosuz sensörlü devre arayüzü	-	Sulama zamanlaması ile sistem maliyeti düşürülmüş	-
[68]	Tarım teknolojisini modernize etmek ve sistem için gerekli olan donanımı sağlamak	Tarım arazileri	ARM ve RF modülü, Gsm modül, Raspberry pi, WSA	-	Tarım alanının ve gıda üretiminin büyümesini artırdığı gözlemlendi	Düşük maliyetli
[69]	IoT akıllı sulama sistemleri için yeni bir bulanık hesaplama algoritması geliştirmek	Tarım arazileri	IoT Fuzzy, 3G modem, Raspberry pi,	-	Tarımsal üretimin kalitesini ve miktarını maksimize eden bu sistem ile çözüm önermiş	Sulamadan sorumlu yeni bir bulanık hesaplama algoritması önerilmiştir.
Önerilen Yaklaşım	Uzaktan kontrol edilebilen sulama sistemi ile su ve iş gücünden tasarruf edilerek yüksek verimlilikte ürün elde edilmesi	Tarım arazileri	ESP8266 Wi-Fi modülü (NodeMcu)	✓	Hava tahmini ile sulama zamanını erteleme, sistem maliyetinden tasarruf, üretim verimliliği	Geleneksele göre sulama zamanlaması ile sistem maliyeti düşürülmüş

Yukarıda incelenen literatür çalışmalarında, geleneksel sulama sistemlerinin olumsuz etkilerini ortadan kaldırmak adına birçok akıllı sistem geliştirildiği görülmektedir. Bu sistemlerin gelişen teknoloji ile amaç ve kullanılan teknolojiler açısından farklılık gösterdiği ve sonuç olarak yetiştirilen ürün veriminin arttırıldığı gözlemlenmiştir. Tarım sektörü için geliştirilen akıllı uygulamalar açık tarım arazileri ve sera ortamları için farklılık göstermektedir. Çünkü bu alanlarda yetiştirilen ürünlerin alan sebebi ile oluşan kısıtları bulunmaktadır. Ortaya çıkan bu kısıtlar sera ortamı için ışık ve nem dengesinin sağlanması olabildiği gibi su kaynağı için de farklı donanım elemanlarının kullanılmasına sebep olmaktadır. Açık tarım arazilerinde ise kısıtlar daha çok çevresel faktörlere dayanmaktadır. Bunlar, tarım alanlarının güvenliği ve su kaynağı yönetiminin yanı sıra hava tahminleri ile sulama zamanlamasını ayarlama ve hatta yağış beklenmesi durumunda sulamayı erteleme olarak bilinmektedir. Bu tez kapsamında geliştirilen sistem vasıtasıyla uzak konumlarda bulunan tarım arazilerinin kontrolü sağlanabilmiş, yapılan deneysel çalışma ile sistemin önerdiği yaklaşım günde bir kez kıyaslama işlemi yapmış ve sulama zamanlamasını ayarlayabilmiştir. Bu yaklaşımla, veri tabanında bulunan ürünlerin verimli şekilde yetişebildiği doğa şartlarının derlendiği veriler ile çevresel değerler kıyaslanarak alanın sulanması gerekip gerekmediği, aksi halde aynı gün yağış beklenmesi halinde ise sulama işleminin ertelenmesi olarak sistem çalışma prensibini yerine getirmiştir. Sonuç olarak tez kapsamında önerilen bu yaklaşım ile hava tahminleri alınmakta ve sulamanın yapılacağı gün yağış beklenmesi durumunda sistem sulamayı erteleyerek su ve enerji tasarrufunu sağlayabilmektedir.

5.2. Geliştirilen Uygulamanın Blok Diyagramı

Bu tez çalışmasında, NodeMcu (Wi-Fi modülü) sayesinde bitki köküne yakın bir konuma yerleştirilmiş toprak nem sensöründen toprak nem değeri ve openweathermap api ile güncel hava durumu verileri çekilebilmiştir. Ayrıca elde edilen bu veriler kıyaslanarak NodeMcu sayesinde motor kontrolü de sağlanabilmiştir. Sisteme ait blok diyagramı Şekil 5.2’de görülmektedir.

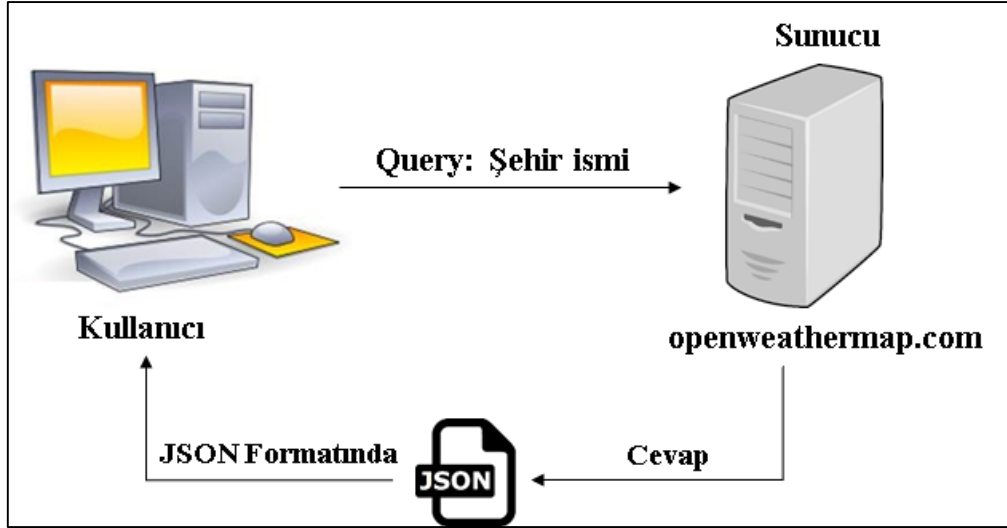


Şekil 5.2. Sistem blok diyagramı

Şekil 5.2 incelendiğinde, tasarlanan bu sistemde üç adet ESP8266 Nodemcu Wi-Fi modülü kullanıldığı ve bu sayede sisteme işlevsellik ve uzaktan erişim sağlanabildiği görülmüştür. Kullanılan wi-fi modüllerinin (NodeMcu) işlevi şu şekilde açıklanabilmektedir;

1. Toprak nem sensörü ile bitkinin ekili bulunduğu topraktan nem değeri çekilmektedir.
2. Hava durumu verilerini alıp veri tabanına kaydetmektedir. Hava durumu, web arayüzünde css ve html teknolojileri kullanılarak gösterilmiştir. Hava durumu apisi olarak openweather api kullanılmıştır. Openweather sitesine ücretsiz üyelik alınarak bir anahtar (key) elde edildikten sonra, bu anahtar ile lokasyon bazlı hava durumu sonuçları şekil 5.3’de de görüldüğü üzere json api döndüren url kullanılarak ESP8266 yı web sunucusu yapıp elde edilmiştir. Url şu şekildedir;

[http://api.openweathermap.org/data/2.5/forecast?q="lokasyon"&appid=8a3df3d5379f3fbddb6373d9a661ffb1&mode=json&units=metric&cnt=16](http://api.openweathermap.org/data/2.5/forecast?q=)



Şekil 5.3. Openweathermap.com'dan hava durumu verisinin Json ile alınması [81]

3. Sulama işleminin başlamasına karar veren kontrol kısmı bu aşamada yapılmaktadır. Bitkinin ekili bulunduğu topraktan çekilen nem değeri veri tabanında aynı ürüne ait ideal nem ile kıyaslanmaktadır. Benzer şekilde api ile çekilen hava durumu verisi ile veri tabanında aynı ürüne ait ideal sıcaklık değeri kıyaslanmaktadır. Bu kıyaslama işlemi Arduino IDE' de yazılan matchForIrrigation metodunda yapılmaktadır. Aynı zamanda yapılan bu karar verme işlemi neticesinde sulama yapılması gerekirken openweather api ile yağış var veya bekleniyor bilgisine ulaşılmış ise sulama işlemi ertelenebilmekte ve bu sayede su ve enerji tasarrufu sağlanabilmektedir.

Json (Javascript Object Notation) yani javascript nesne yönetimi anlamına gelen bu veri transfer yöntemi xml'e kıyasla daha çok tercih edilmektedir. Tercih edilmesine, daha anlaşılır bir ortam sunması, hız veya kapladığı alanın daha az olması gibi gerekçeler verilebilir [80]. Gerçekleştirilen bu çalışmada json ile çekilen veri uzun bir string halinde geldiğinden öncelikle kullanılacak verinin bulunduğu kısımlar ayrıştırıldı. Yağış durumunu anlayabilmek için openweather api ile cloud ve clear değerleri çekildi. Şekil 5.4'de gösterilen kod ile anlık hava durumunun açık olduğu yani yağış beklenmediği durumlarda ürün için sulama yapılması kriterlerine (ürün için ideal hava sıcaklığı ve ideal toprak nem değeri) bakılır. Bu şekilde ürünün sulanmasını

anlayan sistem motoru çalıştırır ve sulama işlemi gerçekleşir. Sulanma işleminin gerçekleşmediği durumda ise “ürün için sulama yapılmamalı” bilgisi veri tabanına kaydedilir. Kaydedilen bu bilgilere form üzerinde bulunan “sulama raporları” butonu ile erişilir. Böylece kullanıcı ürün ile ilgili sulanmanın yapıldığı veya yapılmadığı zamanlar hakkında bilgi sahibi olabilmektedir.

```
if({ urunSic > weatherSic || nemDegerOndalik > toprakNemOndalik) && weatherStatus.equals("Clear") ){
    String url = "/dashboard/mapslocation/uruninfotakip.php?uruninfo=urunicinsulamayapilmali&urunismi="+urunismi;
    line += postToDbUrunTakipUrl(url);
    motorRun();
}

if( {urunSic < weatherSic || nemDegerOndalik < toprakNemOndalik) && weatherStatus.equals("Clouds") ){
    String urunInfo = getValue(urun, ':', 1);
    urunInfo = getValue(urunInfo, ',', 0);
    String url = "/dashboard/mapslocation/uruninfotakip.php?uruninfo=urunicinsulamayapilmamali&urunismi="+urunismi;
    line += postToDbUrunTakipUrl(url);
}
```

Şekil 5.4. Sulama işlemi için gerekli koşulların kıyaslanması

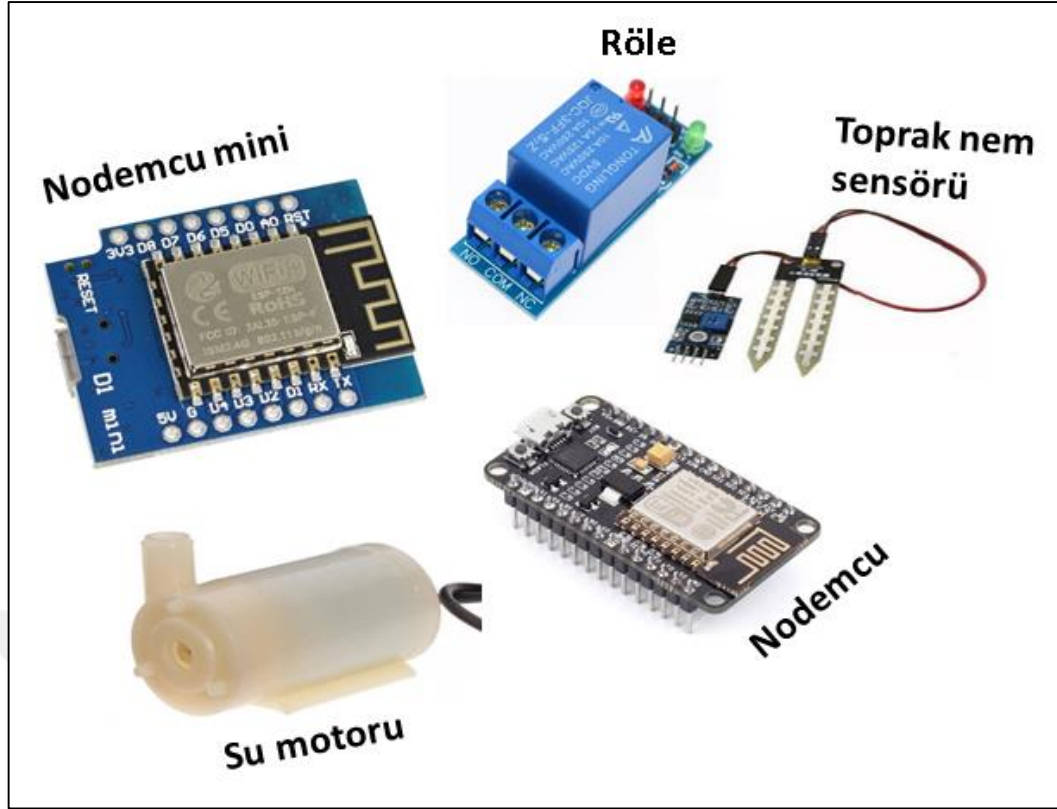
Tez kapsamında geliştirilen bu sistem, insan gücüne gerek duymadan sulama işlemini gerçekleştirmekte ve gerekli verileri yani sulama raporlarını şekil 5.11’de gösterildiği gibi veri tabanına kaydetmektedir. Benzer amaçla yapılan çalışmalar incelenmiş [70,72], çizelge 5.2’de görüldüğü gibi ürünler için toprak nem ve hava sıcaklığı için eşik değerleri belirlenmiş ve bu eşik değerlerine göre sulama işlemi gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 5.2. Bazı ürünlere ait toprak nem ve hava sıcaklık değerleri [48]

Sıra No	Ürünler	Nem Oranı	Sıcaklık (C°)
1	Buğday	% 12	25
2	Soya Fasulyesi	% 13	18-35
3	Pirinç	% 13.6	15-30
4	Mısır	% 18-24	24-32
5	Bezelye	% 50-65	15-25
6	Karanfil	% 16	16-22
7	Gerbera Çiçeği	% 17	27-30
8	Antoryum Çiçeği	% 20	24-26
9	Gül	% 16	15-30
10	Domates	% 17	16-35

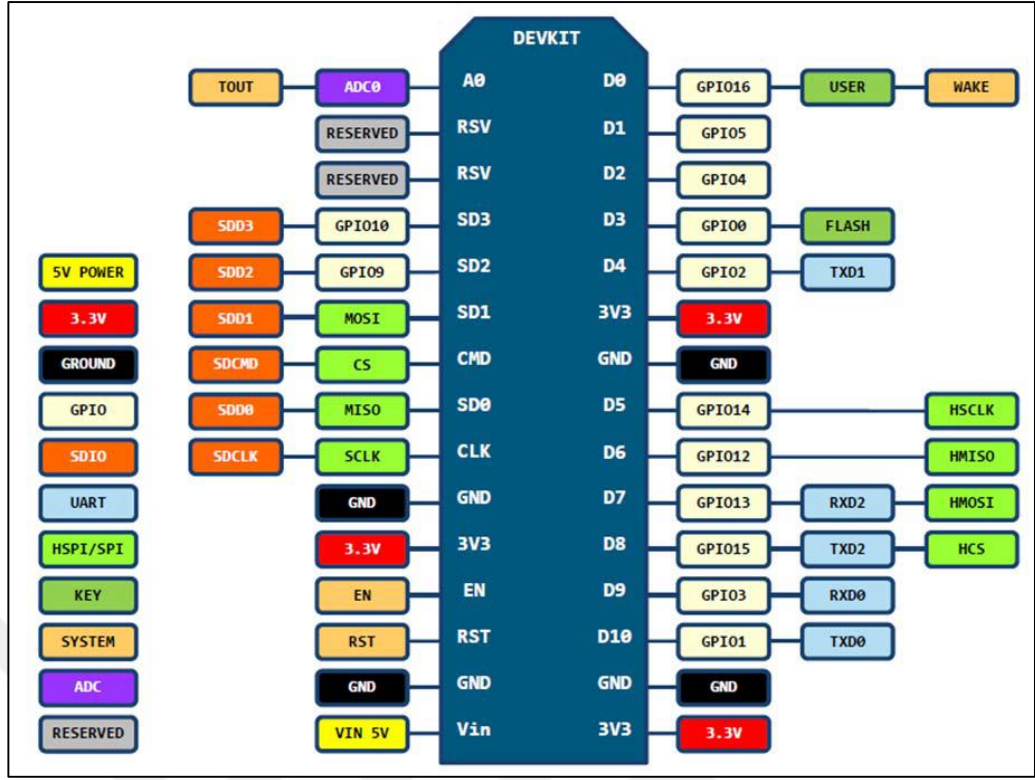
5.3. Otomatik Sulama Sistemi Donanımı

Tez kapsamında tasarlanan sistemde; toprak ölçümü için toprak nem sensörü, çiçeğin sulanmasını sağlayan su motoru, motor kontrolü için röle, üç adet NodeMcu ve sistemin beslenmesi için pil kullanılmıştır. Şekil 5.5’de de geliştirilen sistemin donanım bileşenlerine aşağıda maddeler halinde yer verilmiş olup tasarlanan sistemin elektronik tasarımı da şekil 5.8’de gösterilmiştir.



Şekil 5.5. Sistem donanım bileşenleri

1. ESP8266 (NodeMcu): ESP8266 modellerinin en küçük boyutta olanı NodeMcu, bir açık kaynak kodlu geliştirme kitidir [73]. Harici bir arduinoya ihtiyaç duymayarak usb üzerinden programlanabilmekte olan düşük maliyetli NodeMcu, üzerinde ESP8266 modülü barındırdığından, Wi-Fi ile internete bağlanma işlemini gerçekleştirebilmektedir. Bu düşük maliyetli entegre için basit bir mikro usb kablosu kullanılabilir ve şekil 5.6'da bacak bağlantısı verilen cihaz ile GPIO (Genel amaçlı Giriş / Çıkış) bağlantıları ile erişim sağlanabilmektedir [71]. Geliştirilen çalışmada bu donanım cihazı kullanılarak Wi-Fi teknolojisi ile sistem uzaktan kontrol edilebilmiş ve mesafe sorununun üstesinden gelinmiştir.



Şekil 5.6. ESP8266 NodeMcu için bacak bağlantıları [71]

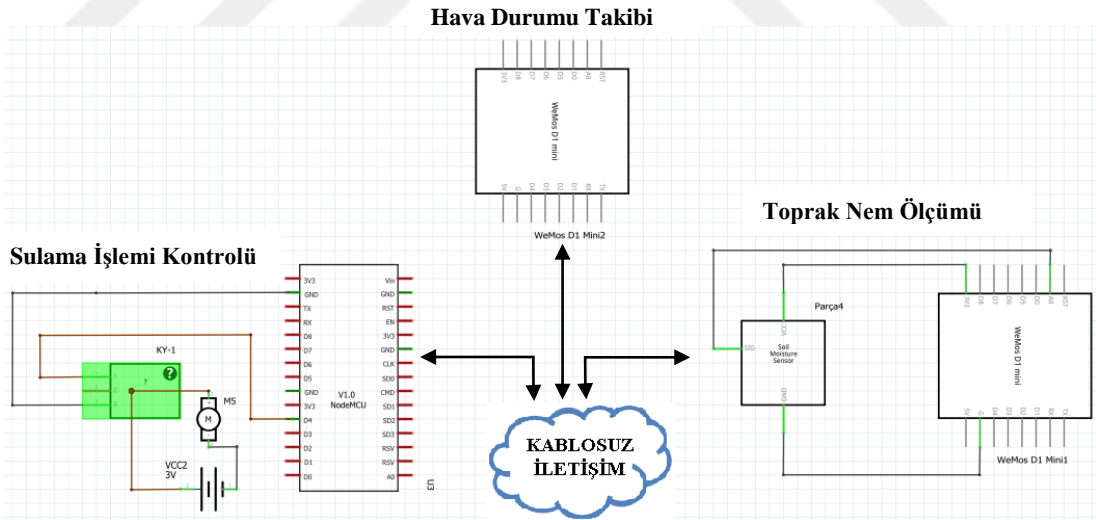
2. Toprak Nem Sensörü; Toprak, kaya, seramik, meyve veya tahta gibi malzemelerde su miktarı veya diğer bir deyişle nem miktarı bulunmaktadır. Toprak doğası gereği iletken değildir, ancak topraktaki suyun varlığı iletken iyonların iletkenliğini arttırmaktadır. Toprağın elektrik akımının iletimini geciktirme ölçüsü olan toprak direnci 0 ila 5 kilo ohm arasında değişmektedir. Toprak nem sensörü ile ölçülen su miktarı çıktı değerine göre toprağın suya doygunluğu hakkında bilgi verilebilmektedir. Toprak nem sensörü toprağın hidrasyon içeriğini belirlemek için topraktaki direnci ölçmektedir [50, 51]. Toprak nem sensörü, ortamın dielektrik geçirgenliğini ölçebilmek için kapasitans kullanmaktadır. Toprakta, dielektrik geçirgenlik su içeriğinin bir işlevidir. Sensör, toprak içeriğinin bir işlevi olan dielektrik geçirgenliğe ve dolayısıyla toprağın su içeriğine orantılı bir voltaj oluşturmaktadır. Sensör üzerinde bulunan sondalar bitkinin bulunduğu toprağa batırılarak ölçüm yapılabilir. Toprağın nem miktarına göre sonda uçlarında oluşan gerilim büyüklüğü ile ölçüm yapılmaktadır. Toprakta bulunan su miktarı ile iletkenlik doğru orantıdadır. Toprak tamamen kuru olduğunda sensör 4,5V ile 5V aralığında yüksek voltaj üretmektedir. Toprak tamamen ıslandığında ise

çıkış voltajı 0.88V ile 1.0V aralığında düşük voltaj üretmektedir. Ayrıca ölçüm hassasiyet oranı modül üzerinde bulunan trimpot ile ayarlanabilmektedir [51]. Gerçekleştirilen sistemde, belirlenen kriterler doğrultusunda bitki gelişimi açısından toprak nem değerinin ölçülmesi Sparkfun firması tarafından üretilen SEN-13322 kodlu toprak nem sensörü ile yapılmaktadır. Seri port ekranını gösteren şekil 5.7’de ölçülen toprak neminin anlık değeri hesaplanmıştır. Ölçüm değeri ne kadar yüksek olursa bu durum toprak nem sensörü ucundaki plakalarda iletimin o derece az olduğunu göstermektedir. Test aşamasında öncelikle kuru toprak referans alınarak ölçüm yapılmıştır. Suyu doymuş nemli toprak ve ardından sudan arıtılmış kuru toprak referans alınarak ölçüm yapılmış ve Şekil 5.7’de belirtilen değerler elde edilmiştir. Kuru toprak ve suya doymuş toprak baz alınarak yapılan ölçümler neticesinde ortalama bir değer belirlenerek elde edilen sonuca göre belirlenen değer altındaki değerlerde toprak suya doymuş, üstündeki değerde ise toprak kurudur tespiti yapılabilmektedir. Bu kapsamda ölçülen değer yüksekse toprak kuru, düşükse toprak nemlidir çıkarımı yapılabilmektedir. NodemCu’da 10 bitlik ADC bulunduğu için ölçülen değerler 0-1024 arasında değişebilmektedir. Bu çalışmada ölçülen bu değerlerin yüzdesi alınarak ürünlere göre farklılık gösteren veri tabanındaki değerler ile kıyaslama işlemleri yapılmaktadır.

Nemli Toprak	Kuru Toprak
COM3	COM3
448	716
449	718
448	721
448	723
448	726
448	730
448	731
449	733
448	736
448	739
448	742
448	746
449	749
448	752
449	798
449	
<input checked="" type="checkbox"/> Otomatik Kaydeme	<input checked="" type="checkbox"/> Otomatik Kaydeme

Şekil 5.7. Seri port ekranından ölçülen toprak nem değerleri

3. **Röle;** Röleler, hem mekanik hem de elektriksel olarak çalıştırılabilen, düşük akımdan yüksek akım çeken, elektromıknatısın ve kontakların mevcut olduğu basit anahtarlar olarak bilinmektedir [73]. Röleler ayrıca boole gibi mantıksal işlemleri gerçekleştirmek için kullanılmaktadır. Çalışma mantığı şu şekildedir; bobin uçlarına enerji verildiğinde bobin mıknatıslanır ve kontaklar açık ise kapanarak veya kapalı ise açılarak konum değiştirir. Verilen enerji kesildiğinde ise kontaklar önceki konumlarını alırlar.
4. **Su Motoru;** Sisteme dahil edilen 3.7V Li ion pil veya farklı pil grupları ile çalışabilmektedir. 3V DC mini dalgıç su motoru gelen komuta göre su kaynağından su çekerek bir ara boru yardımıyla susuz toprağa su aktarımında kullanılmaktadır. Gerçekleştirilen sistemde bu motor tetiklenerek öngörülen yaklaşım ile bitkinin sulanması gereken uygun zamanda sulanması sağlanmaktadır. Tez kapsamında geliştirilen bu çalışmaya ait donanım bileşenleri işlevleri ile birlikte yukarıda açıklanmıştır.



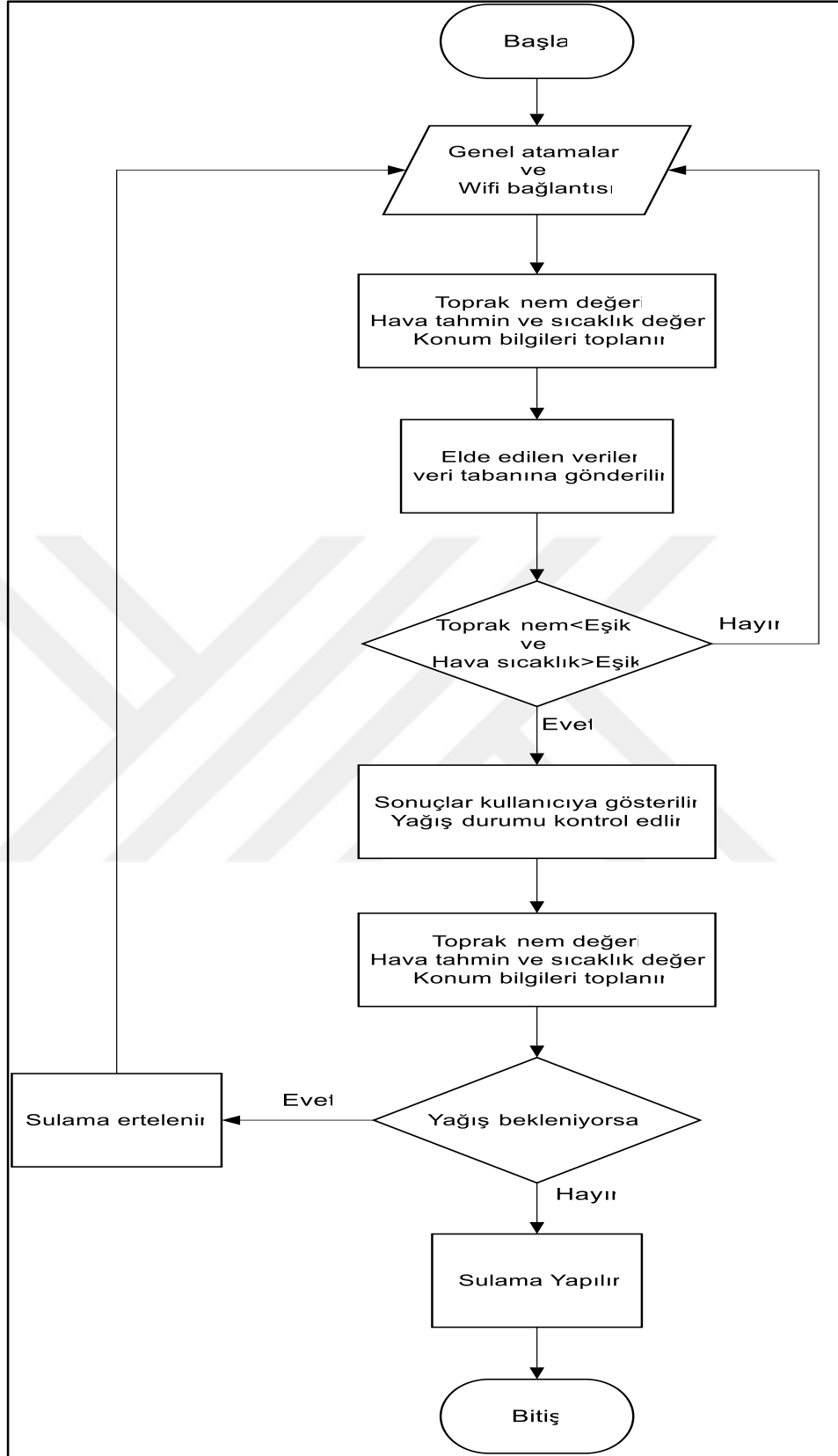
Şekil 5.8. Geliştirilen sistemin elektronik tasarımı

Geliştirilen sistem, şekil 5.8’de görüldüğü üzere ESP8266 sayesinde internet olduğu müddetçe çevresel verileri toplayarak elde edilen verileri uzak sunucudaki php tabanlı

programa iletir. Bu veriler veri tabanında kayıtlı veriler ile kıyaslanarak yine ESP8266 üzerinden motoru çalıştırır ve bu işlemleri kullanıcı yazılan arayüz üzerinden takip edebilir.

5.4. Otomatik Sulama Sistemi Yazılımı

Geliştirilen sistem için yazılım Arduino IDE (Entegre geliştirme ortamı), Php ve C# arayüzlerinde tasarlanmıştır. Kullanıcının sistemi kontrol edebilmesi için tasarlanan arayüz ile her an durumu anlık olarak kontrol edebilmeyi sağlayan bir Otomatik Sulama Sistemi geliştirilmiştir. Şekil 5.9'de de Arduino IDE arayüzünde yazılan programın akış diyagramı gösterilmektedir. Sistem başlatıldıktan sonra değişkenler için genel atamalar yapılır. Nodemcu lar için Wi-Fi bağlantısı sağlanır. Sulama yapılacağı zaman anlık olarak toprak nemi alınır ve aynı zamanda anlık hava durumu verisi çekilir. Çekilen bu veriler çizelge 5.2'de de gösterilen bazı ürünlere ait ideal toprak nemi ve hava sıcaklığı değerlerinin bulunduğu veri tabanında aynı ürüne ait ideal değerler ile kıyaslanır. Yapılan bu kıyaslama sonucu bitkinin sulanması için belirlenen kriter sağlanıyor ise hava tahminine göre yağış beklenmesi durumunda sulama işlemi ertelenir, aksi halde su motoru çalıştırılır ve sulama işlemi gerçekleştirilir, sonuç sulama raporları olarak veri tabanına yazılır. Ancak kıyaslama sonucu bitkinin sulanması için belirlenen kriter sağlanmıyor ise döngü başına geri dönülür ve sulama işlemi gerçekleşmez. Yağış beklenmesi halinde sulama işlemi ertelenmektedir. Erteleme süresi kullanıcı tarafından şekil 5.15'de görüldüğü üzere arayüz üzerinden ayarlanabilmektedir.



Şekil 5.9. Akış diyagramı

Tez kapsamında gerçekleştirilen bu yazılımda Arduino IDE, Microsoft Visual Studio 2017, PHP ve MySQL platformlarından yararlanılmıştır. Toprak nem değerini alan sensörlerin kontrollerini sağlayabilmek için Arduino yazılımı kullanılmış olup gelen verilerin veri tabanına aktarımı için php yazılımından yararlanılmıştır. Ayrıca kullanıcı kolaylığı açısından tasarlanan arayüz için C# dili kullanılmıştır. Gerçekleştirilen bu yazılım Veri Tabanı ve Kullanıcı Arayüzü olmak üzere iki aşamalı olarak aşağıdaki başlıklarda anlatılmaktadır.

5.4.1. Veri Tabanı

Veri tabanına kayıtlı ürün, kullanıcı ve sulama raporlarına ait verileri kullanıcıya iletebilmek için xampp sunucusu kullanılmıştır. Asıl işlevi internet üzerinden MySQL veri tabanı kontrolü olan phpmyadmin ile sulama işlemine ait verileri tutan bir veri tabanı oluşturulmuştur. Bu veri tabanındaki tablolar phpmyadmin arayüzü ile oluşturulmuş olup aşağıda maddeler halinde sıralanmaktadır.

Product tablosu: Şekil 5.10’da da görüldüğü üzere product tablosunda, ekili olan ürünler ve bunlara ait ideal hava sıcaklık ile ideal toprak nem değerleri tutulmaktadır.

			urunismi	idealtopraknemi	idealsicaklik	
<input type="checkbox"/>	 Düzenle	 Kopyala	 Sil	antoryum cicegi	20	25
<input type="checkbox"/>	 Düzenle	 Kopyala	 Sil	bezelye	60	20
<input type="checkbox"/>	 Düzenle	 Kopyala	 Sil	bugday	12	25
<input type="checkbox"/>	 Düzenle	 Kopyala	 Sil	gul	16	20
<input type="checkbox"/>	 Düzenle	 Kopyala	 Sil	karanfil	16	19
<input type="checkbox"/>	 Düzenle	 Kopyala	 Sil	mısır	20	28
<input type="checkbox"/>	 Düzenle	 Kopyala	 Sil	soya fasulyesi	13	25
<input type="checkbox"/>	 Düzenle	 Kopyala	 Sil	test456	22	24
<input type="checkbox"/>	 Düzenle	 Kopyala	 Sil	testurun	12	34

Şekil 5.10. Veri tabanına kayıtlı ürün bilgileri

Producttakip tablosu: MatchForIrrigation metodunda yapılan karşılaştırma sonucu seçili ürün için sulama yapılmalı veya sulama yapılmamalı kararını alıp bu sonucun yazıldığı tablo şekil 5.11’de gösterilmiştir.

urunismi	uruninfo	tarih
misir	sulama yapilmali	2018-08-29
nohut	sulama yapilmali	2018-08-30
nohut	sulama yapilmali	2018-09-25
findik	sulama yapilmali	2018-10-07
bezelye	sulama yapılmamali	2018-10-13
bezelye	sulama yapilmali	2018-10-14

Şekil 5.11. Sulama raporları

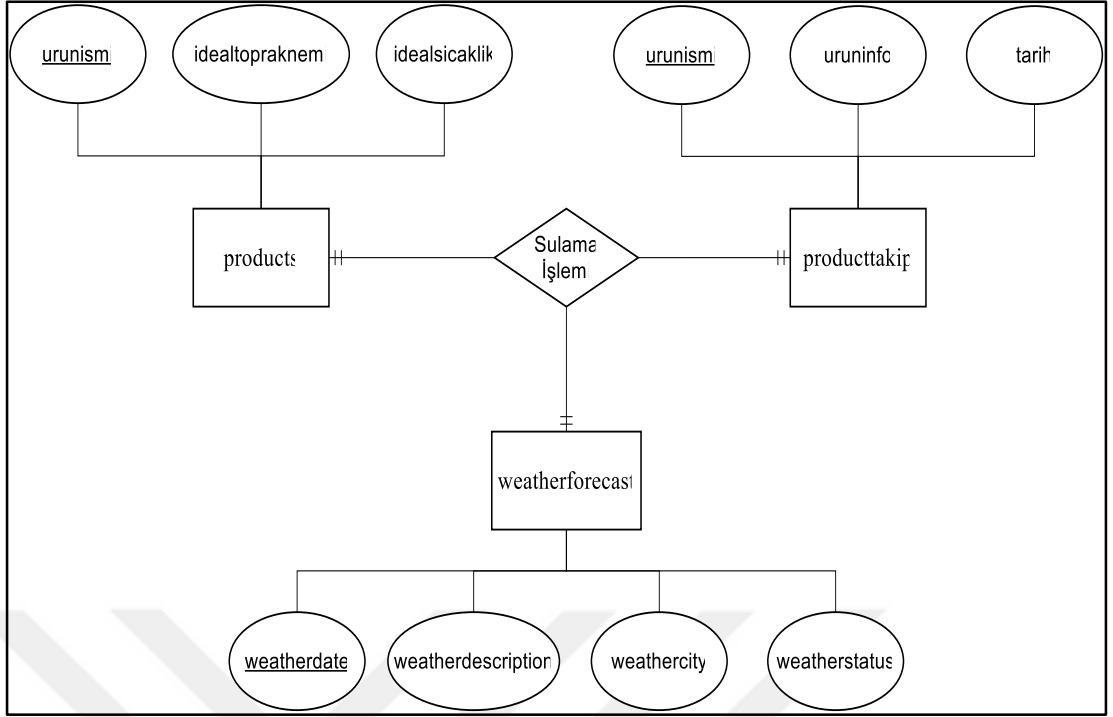
Userlist tablosu: Bu tabloda kullanıcıya ait isim, soyisim, şifre ve nick bilgileri tutulmaktadır. Userlist’e kayıtlı olan kullanıcı arayüzde bulunan login formu ile giriş yapabilmektedir.

Weatherforecast tablosu: Tasarlanan arayüzde kullanıcının belirlediği lokasyon ile seçilen yerin Openweather api ile çekilen hava durumu verileri bu tabloda saklanmaktadır. Seçilen yerin adı, hava sıcaklığı ve verinin alındığı tarih şekil 5.12’de görüldüğü gibi tabloya kaydedilmektedir. Sistemde diğer ESP8266 ile sürekli olarak hava durumu bilgileri api üzerinden çekilerek weatherforecast tablosuna kaydedilmektedir. Bu tabloda weatherdate, weatherdescription, weathercity sütunlarına api den gerekli bilgiler alınıp kaydedilmektedir. Böylece farklı şehirlerde bulunan tarım alanlarının kontrolü tek bir arayüz üzerinden kontrol edilebilmektedir.

weatherdate	weatherdescription	weathercity	weatherstatus
2018-08-29	22.87	elaziz	Clouds
2018-08-29	21.93	elaziz	Clear
2018-09-25	24	elaziz	Clouds
2018-10-07	14.29	kirikkale	Clouds
2018-10-07	18.04	kirikkale	Clear
2018-10-13	16.34	kirikkale	Clouds
2018-10-13	16.34	elaziz	Clouds

Şekil 5.12. Openweather ile çekilen hava durumu verilerinin tutulduğu tablo

Yukarıda maddeler halinde anlatıldığı üzere products tablosunda ürünismi, idealtopraknemi, idealtopraksicaklik sütunları bulunmaktadır. Bu sütunlara veriler Ürün Ekle formundan sağlanmaktadır. Bu veriler daha sonra ESP8266 ile alınmakta ve ürün karşılaştırması kod ile sağlanmaktadır. Burada ürün ile ilgili tecrübelenmiş veriler kullanıcı tarafından sağlanmaktadır ve ESP8266 bu verileri veri tabanından almakta ve ürünün ismine göre sulama sistemine komut göndermektedir. Sulama sistemine komut gönderirken toprak nemölçer sensörü ile veri ölçülmekte, veri tabanındaki products tablosundan ürünismi, idealtopraknemi, idealtopraksicaklik verileri çekilerek toprak nem sensöründen alınan veri ile idealsicaklik verisi karşılaştırılmaktadır. Weatherforecast tablosuna kaydedilen hava durumu verileri de seçilen güne göre alınıp beş (topraknemsensörü, veri tabanı sıcaklık, nem, ürün ismi, hava durumu bilgisi) veri üzerinden karşılaştırma yapılmaktadır. Sulama işlemine şekil 5.13’de de görüldüğü üzere product ve weatherforecast tabloları arasındaki kıyaslama sonucu karar verilerek sonuç bilgisi producttakip tablosuna yazılmaktadır.



Şekil 5.13. Sulama işlemine karar veren ER diyagramı

Tez kapsamında geliştirilen bu uygulamada ESP8266 ile sistem arasında komut gönderimi sağlamakta iken veri tabanı ve hava durumu api'si ile de haberleşme sağlanması amacıyla php kodları yazılmıştır. Yazılan php kodları aşağıda maddeler halinde açıklanmıştır:

1. Access.php ve databaseconfig.php: Veri tabanı bağlantısını sağlamaktadır.
2. Allproducts.php: Veri tabanında bulunan verilerin ekranda görülmesini ve ayrıca ürünlerin veri tabanına arayüz üzerinden kaydedilmesini sağlamaktadır.
3. SelectProductbyname.php: Ürünlerin karşılaştırılması için ürünlere ait verileri veri tabanından almaktadır.
4. Urunekle.php: Arayüz üzerinden yeni ürün ekleme işlemi yapılarak veri tabanına kayıt edilme işlemi yapılmaktadır.

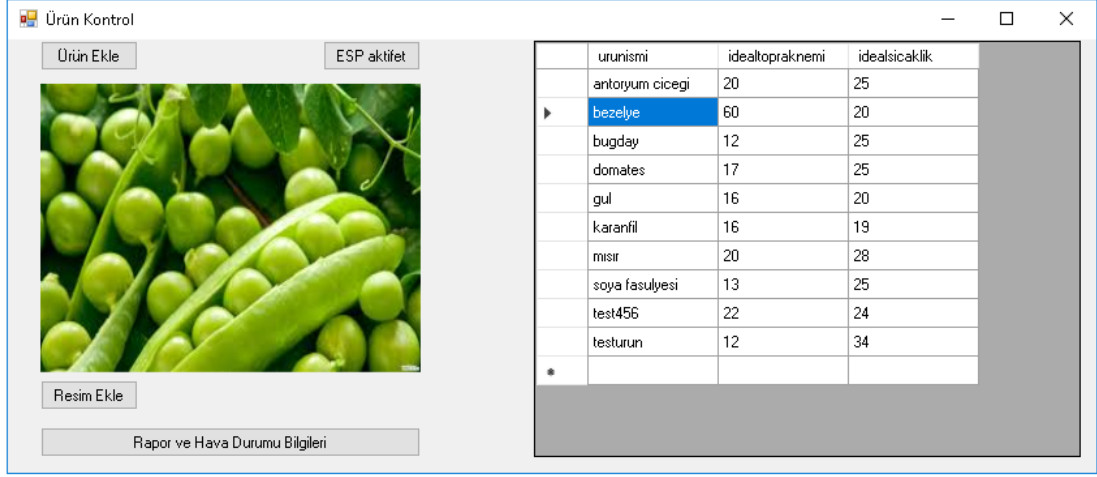
C# ile yazılmış arayüz üzerinden doğrudan MySQL bağlantısı yapılarak kullanıcı oluşturma ve oluşturulan kullanıcıların giriş işlemlerinin kontrolü sağlanmıştır. Ürün

raporlarını web tarayıcı üzerinde bootstrap js kullanarak css li şekilde gösterim sağlanmıştır. Php ile yazılan bu ürün raporlarında ürün için sulama yapılmalı gibi tanımlamalar ESP8266 ile ürünlerin sulanması için ideal nem ve sıcaklık karşılaştırılması sonucu veri tabanına kaydedilmesi sayesinde html olarak gösterilmesi sağlanmıştır. Ayrıca hava durumunun kullanıcının kendi lokasyonunu seçerek gerçekleştirilmesi sağlanmıştır. Bu amaçla test amaçlı ip/lokasyon belirleme işlemi 192.168.0.104/karakocan olarak çalıştırılıp veri alma işlemi gerçekleştirilmiştir. Yapılan bu testlerde local ip ler kullanılmıştır. Uzaktan erişim için dış ip yi port forwarding yöntemi kullanarak local ip ye yönlendirilmesi sağlanmıştır. Bu işlemler modem üzerinden gerçekleştirilmektedir.

5.4.2. Kullanıcı Arayüzü

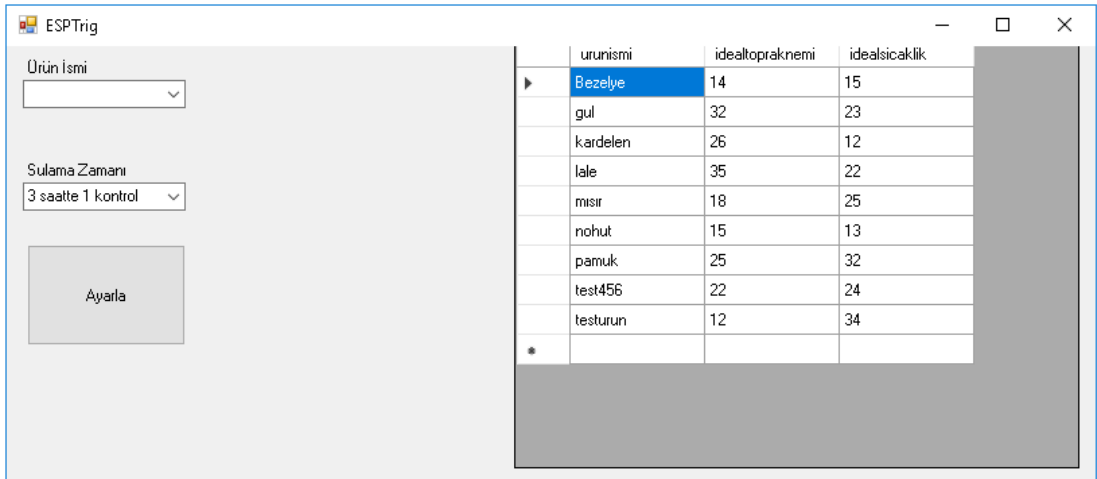
Kullanıcı kullanımı için visual studio'da işlem takibi ve müdahaleye izin veren bir arayüz tasarlanmıştır. Veri tabanı ile mysql bağlantısı sağlanarak arayüz üzerinde veri tabanı CRUD işlemleri gerçekleştirilmiştir. Bununla birlikte, tasarlanan uzaktan kontrollü Otomatik Sulama Sistemi ile arayüz üzerinden kullanıcı login arayüzünden giriş yapıldıktan sonra ekili ürüne ait değişkenler izlenebilmekte, sulama işleminin kontrolü sağlanabilmekte ve ayrıca yeni ürün eklenebilmektedir.

Ürün ekleme, sulama erteleme (ESP aktifet), rapor ve hava durumu bilgilerine erişebilmek için şekil 5.14'deki ürün kontrolünün yapılabildiği form kullanılır. Yağış beklenmesi halinde sulama erteleme işlemi için şekil 5.14'de görüldüğü gibi "ESP aktifet" butonu ile zaman ayarlaması yapılmaktadır. Bu ayarlama işlemi şekil 5.15 üzerinden yapılmaktadır.



Şekil 5.14. Arayüz üzerinden ürün kontrolünün gerçekleştirilmesi

Öncelikle sulama zamanı ayarlanacak ürün şekil 5.15’de bulunan ESPTrig formundaki tablodan seçilir ve ürün ismi kısmında görülür. Ardından sulama zamanı için bir kontrol saati (3 saatte 1 kontrol – 6 saatte 1 kontrol – 9 saatte 1 kontrol – 12 saatte 1 kontrol) seçilir ve “Ayarla” butonuna tıklanarak seçilen saat kadar sonra sulama işlemi kullanıcıya hatırlatılarak yağış olmaması halinde kullanıcı kontrolünde motor çalıştırılır ve sulama işlemi gerçekleştirilir.



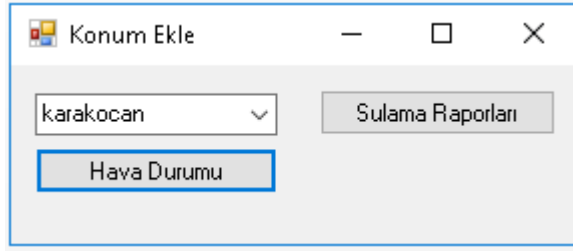
Şekil 5.15. Ertelenen sulama işleminin kullanıcıya hatırlatılması

Sulamanın yapılacağı alana yeni ürün ekilmesi halinde ise yine şekil 5.14’de görüldüğü üzere “Ürün Ekle” butonu ile şekil 5.16 formu açılır, eklenecek ürüne ait ideal nem ve sıcaklık değerleri ile birlikte yeni ürün eklenir ve veri tabanına kaydedilir. Kullanıcı arayüzü üzerinden sulama sistemine tabii tutulacak yeni ürünler için veri tabanına kayıt işlemleri bu kısımda yapılmaktadır. Ürün ekle formu ile ekim alanına yeni ürün ekilmesi halinde bu ürüne ait veriler veri tabanında tutulabilmektedir. Yeni ürüne ait resim ise ürün eklendikten sonra tabloda gösterilir ve ardından bu ürün için “Resim Ekle” butonu ile yeni resim eklenir.

	urunismi	idealtopraknemi	idealsicaklik
▶	bezelye	60	20
	bugday	12	25
	fasulye	20	25
	misir	20	25
	soya fasulyesi	13	25
	gul	16	20
*			

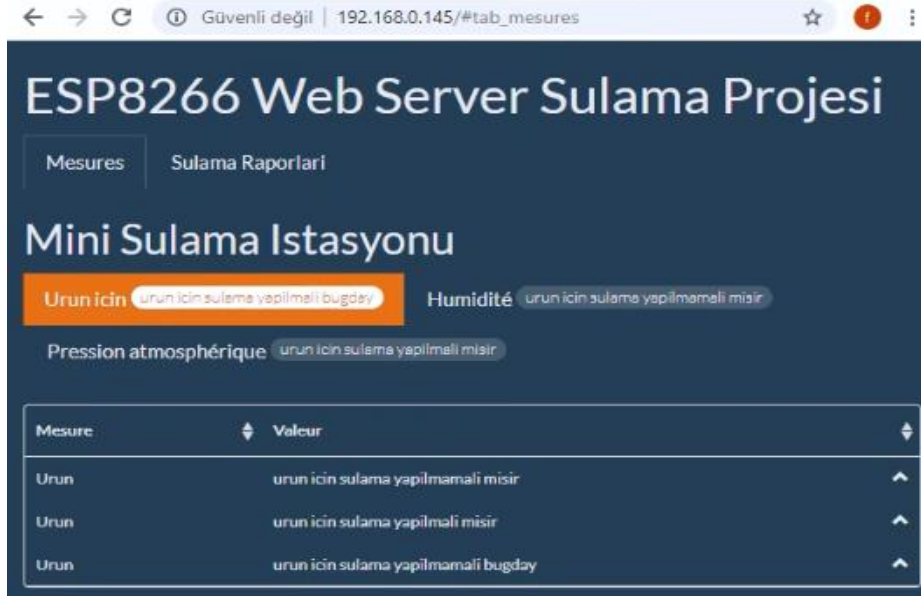
Şekil 5.16. Arayüz üzerinden sisteme yeni ürün bilgilerinin eklenmesi

Eklenen yeni ürüne ait konum bilgileri şekil 5.17’de gösterilen konum ekle formu üzerinden girilerek, “Hava Durumu” butonu ile de girilen konum bilgisine göre 3 günlük hava durumu verileri gösterilebilmektedir. Böylece ekilen ürünün veri tabanında kayıtlı olan ideal sıcaklık değerleri ile kıyaslama yapılabilmekte ve ayrıca yağış beklenmesi halinde sulama işlemi ertelenebilmektedir. Bezelye için sulama işlemi ertelenir ise “ürün için sulama yapılmamalı bezelye”, sulama işlemi ertelenmez ise “ürün için sulama yapılmalı bezelye” bilgisi ile veri tabanına kaydedilmektedir.



Şekil 5.17. Arayüz üzerinden ekim alanına ait konum bilgilerinin girilmesi

Konum ekle formundan "Sulama Raporları" butonu ile şekil 5.18'de gösterilen ekilen ürünlere ait sulama raporlarının listelendiği web sayfası açılmaktadır. Sisteme eklenmiş ürünlere ait sulama raporları veri tabanından çekilerek ürün için sulama yapılmalı veya ürün için sulama yapılmamalı bilgisi ile web sayfasında gösterilmektedir. Böylece kullanıcı her ürün için önceki sulama işlemi bilgilerine de erişebilmektedir. Eğer sulama ertelenmiş ise bu web sayfası üzerinden öğrenebilmekte ve bu ürünün kontrolünü şekil 5.15'da bulunan ESPTrig formundan gerçekleştirebilmektedir.



Şekil 5.18. Sulama raporlarının görüntülediği web sayfası

Arayüz üzerinden de anlatıldığı üzere gerçekleştirilen yazılım ile kullanıcı ekili ürünün bulunduğu noktadan uzak bir konumda olmasına rağmen internet bağlantısı sağlandığı müddetçe yazılan bu arayüz ile süreç takibini gerçekleştirebilmektedir.

5.5. Deneme Tarlası

Tez kapsamında önerilen çalışmanın deneme ölçümleri Elazığ ilinin Karakoçan ilçesinde bulunan buğday ve arpa tarlalarında gerçekleştirilmiştir. Ölçüm yapılan tarlalara ait görüntüler şekil 5.19’da gösterilmektedir. Öncelikle tasarlanan arayüz üzerinden ürün kontrolü formunda gösterilen ürünler tablosunda buğday ve arpa bilgileri bulunmuyor ise ürün ekle butonu ile bu yeni ürün bilgileri ürün ekle formundan ideal toprak nem ve ideal sıcaklık bilgileri ile eklenerek veri tabanına kaydedilmiştir. Ürünlere ait gerekli bilgiler eklendikten sonra wi-fi modülünün bağlandığı toprak nem sensörleri buğday ve arpanın ekili olduğu toprağa yerleştirilmiştir. Ardından buğday ve arpa tarlalarının konum bilgileri tasarlanan arayüz üzerinden girilerek hava durumu verileri yine wi-fi modülü aracılığı ile çekilmiştir.



Şekil 5.19. Deneme ölçümleri (**a.** Arpa tarlası **b.** Buğday tarlası)

Yaklaşık 10000 m² büyüklüğündeki buğday ve arpa tarlalarında gerçekleştirilen test deneyleri ile tarla ortamından anlık toprak nem değerleri alınmıştır. Güncel hava durumu verileri ve hava tahminleri tarla alanından uzak konumlardan elde

edilebilmiştir. Bu doğrultuda sulama işlemi için sistem yazılımında yapılan kıyaslamalar ile her ürün için ayrı sulama işlemi tarla konumundan uzak bir şekilde gerçekleştirilebilmiştir. Böylece her ürün için değişken oranlı sulama programı uygulanarak farklı su gereksinimine sahip farklı tür tarlalar için farklı zamanlarda sulama programı uygulanabilmektedir.



6. SONUÇLAR

Bu tez kapsamında, kablosuz algılayıcı ağlar ve kablosuz iletişim teknolojileri üzerinde durularak, bitki sulama işleminde farklı ortam koşullarında elde edilen veriler irdelenmiş ve sistem performansına göre gereken su ve enerji hesabı önerilerek sulama sistemi tasarlanmıştır. Tez kapsamında geliştirilen bu çalışmada, sulama sistemlerinin uzaktan kontrolü amaçlanmış ve konu ile ilgili bir uygulama yapılmıştır. Tasarlanan uygulamada günümüzde yaygın olarak kullanılan kablosuz iletişim teknolojilerinden yararlanılmıştır. Bu çalışmada kullanılan Wi-Fi modülleri ve tasarlanan arayüz ile süreç yönetimi ve takibi yapılabilmektedir. Yapılan teorik çalışmalar ışığında sistem tasarlanmış, sonuçlar değerlendirilmiş ve öneriler sunulmuştur.

Geliştirilen bu sistem farklı tipteki tarım arazileri için kalibre edilebilmektedir. Yani kullanıcının kullandığı arayüzde hem tarla konumu alınabilmekte hem de farklı türde bitki yetişecek ise her bitkinin farklı nem ve sıcaklık değerlerinde verimli sonuçlar verdiği bilindiğinden bu arayüzde eşik değerleri (hava sıcaklık-toprak nem) bilinen bitkilerin bir listesi bulunmaktadır. Bu sayede kullanıcı, yetiştirilecek bitki türünü listede verilen eşik değerleri ile birlikte seçebilir. Seçilen bu ürün veri tabanına kaydedilir ve ekim aşamasının ardından seçilmiş ürüne ait bilinen eşik değerleri ile kıyaslama işlemi yapılır. Kıyaslama sonucunda sulama ihtiyacının olduğunu anlayan sistem aynı güne ait hava tahminleri ile sulama işlemini erteleyebilmekte ve yapılan deneysel çalışma sonucunda ertelenen sulama için doğru zaman ayarlanabilmekte ve ayrıca kullanıcı manuel şekilde sulamayı arayüz üzerinden de başlatabilmektedir. Böylece tez kapsamında önerilen yaklaşım ile gerçekleştirilen sistemden çıkarılan sonuçlar aşağıda sıralanmıştır.

- Zamana ve çevresel etkenlere dayalı sulama işlemi yapılabilmiş ve böylece geleneksel yöntemlere kıyasla her bitki türüne göre ayrı ayrı değerlendirme (kıyaslama) işlemleri yapılarak ürün verimi arttırılabilmekte ve böylece daha doğru bir sulama tahmini elde edilebilmektedir.

- Gerçek zamanlı yapılan anlık ölçümler ile doğru sulama zamanı ayarlanabilmekte ve geleneksel sulama yöntemlerindeki iş yükü azaltılabilmektedir.
- Hava tahminleri ile yağış beklenmesi halinde sulama işlemi ertelenebilmektedir. Bu erteleme esnasında yağış beklenirken bu durumun gerçekleşmemesi gibi istisnai durumlarda ise kullanıcı arayüz üzerinden belirli zaman aralıkları ile uyarılarak sulama işlemi aksamadan gerçekleştirilebilmektedir.
- Sıralanan sonuçlar neticesinde su ve enerji tasarrufu sağlanabilmekte ve böylece maliyet azaltılabilmektedir.

Bu tez kapsamında, bir sulama sistemi tasarlanmış ve farklı ortam koşullarında test edilmiştir. Farklı günlerde ortam sıcaklıkları baz alınarak sistem çalıştırılmış ve kullanıcı bilgilendirilebilmiştir. Bu kapsamda kullanıcı hem uzaktan kontrol yapabilmekte hem de kontrolün süreci hakkında bilgi edinebilmektedir.

İstenildiği takdirde tez kapsamında tasarlanan sisteme yapılan eklemeler ile uygulama geliştirilebilir veya farklı sistemler oluşturulabilir. Bu çalışma küçük modifikasyonlarla çevresel izleme, hassas tarım ve sera gibi tesis otomasyonlarına genişletilebilir. Ayrıca gerçekleştirilen bu çalışma farklı bölgelerden toplanan veriler ile Makine Öğrenmesi algoritmaları ile eğitilebilir. Böylece karar destek sistemleri ile kullanıcıya arayüz üzerinden tahminlerde veya tavsiyelerde bulunarak ve ayrıca sulama yöntemine (yağdırma, tazyikleme, damlatma, vs.) toprak ve hava durumları baz alınarak sistemin kendi karar vermesi sağlanarak bu şekildeki yönlendirmeler ile sulama işlemi gerçekleştirilebilir.

KAYNAKLAR

- [1] Shah, N.S.M., Auto Watering System Using Arduino, Yüksek Lisans Tezi, Malezya Teknik Üniversitesi, Melaka, 2015.
- [2] Dasare, D. S., Kale, P.S.,Kale P.R., Mande, H., Solunke Mr.H., Automatic Irrigation Control System, International Journal for Technical Research in Engineering, 4(8), 1250-1252, 2017.
- [3] Anonim, Smart Monitoring Of The Terrace Garden Using Solar Energy, <http://www.webcitation.org/6zmoSIMfS>, (Erişim Tarihi: 29.05.2018).
- [4] Ahmed M.R., Protecting Wireless Sensor Networks from Internal Attacks, Yüksek Lisans Tezi. Canberra Üniversitesi, Austrslia, 2014.
- [5] Patel, A., Jhaveri, R., & Dangarwala, K., Wireless Sensor Network-Theoretical Findings and Applications, International Journal of Computer Applications, 63(10), 2013.
- [6] Soni, U., Namdev, A., Wireless Sensor Network: An Overview, 2016.
- [7] Akyildiz, I. F., Su, W., Sankarasubramaniam, Y., & Cayirci, E., Wireless Sensor Networks: A Survey, Computer Networks 38(4), 393–422, 2002.
- [8] Akyıldız, I.F., A Survey on Sensor Networks, IEEE Communications Magazine, 40(8), 102-114, 2002.
- [9] Zheng, J., Abbas, J., Wireless Sensor Networks: A Networking Perspective, John Wiley & Sons, 2009.
- [10] Oğuz, A.T.A., Balık, Hasan H., Kablosuz Algılayıcıların Güncel Kullanım Alanları, 2011.

- [11] Ramesh, M.V., Design, Development, and Deployment of a Wireless Sensor Network for Detection of Landslides, Ad Hoc Networks, 13, 2-18, 2014.
- [12] Pallares, J.E.R., Wireless Sensor Network Implementation with Arduino and Xbee, Yüksek Lisans Tezi, Valencia Politeknik Üniversitesi, 2015.
- [13] Anonim, Techvilla Summer Internship, <http://www.webcitation.org/6zmp0rB9G>, (Erişim Tarihi: 29.05.2018).
- [14] Anonim, Sensörler ve Sensör Çeşitleri, <http://www.webcitation.org/6zmoiKDpW>, (Erişim Tarihi: 29.05.2018).
- [15] Joshi, G.P., Nam, S.Y., Kim, S.W., Cognitive Radio Wireless Sensor Networks: Applications, Challenges and Research Trends, Sensors, 13(9), 11196-11228, 2013.
- [16] Bhayani, M., Patel, M., & Bhatt, C., Internet of Things (IoT): In a Way of Smart World, In Proceedings of The International Congress on Information and Communication Technology, Springer, Singapore, 343-350, 2016.
- [17] Anonim, Gartner, <http://www.webcitation.org/73gjRjgKI>, (Erişim Tarihi: 11.10.2018).
- [18] Ray, P. P., Internet of Things for Smart Agriculture: Technologies, Practices and Future Direction. Journal of Ambient Intelligence and Smart Environments, 9(4), 395-420, 2017.
- [19] Abinayaa, V., Jayan, Anagha, Case Study on Comparison of Wireless Technologies in Industrial Applications, International Journal of Scientific and Research Publications, 4(2), 2250-3153, 2014.
- [20] Dube, E.E., Wireless Farming: A Mobile and Wireless Sensor Network Based Application to Create Farm Field Monitoring and Plant Protection for

Sustainable Crop Production and Poverty Reduction, Yüksek Lisans Tezi, Malmö Üniversitesi, 2013.

- [21] Ayub, M.G., Automated Greenhouse System Using Wireless Sensor Network, Yüksek Lisans Tezi, Nairobi Üniversitesi, 2016.
- [22] Frausto, E.D.P., Macias, J.A.G., An Experimental Analysis of Zigbee Networks. In: Local Computer Networks, 33rd IEEE Conference on, IEEE, 723-729, 2008.
- [23] Mendez, G., A Wi-Fi Based Smart Wireless Sensor Network for an Agricultural Environment, In: Wireless Sensor Networks and Ecological Monitoring, Springer, Yüksek Lisans Tezi, Massey Üniversitesi, Kuzey Palmerston, 2013.
- [24] Tarapiah, S., Atalla, S., Abuhania, R., Smart On-Board Transportation Management System Using Gps/Gsm/Gprs Technologies to Reduce Traffic Violation in Developing Countries, International Journal of Digital Information and Wireless Communications (IJDIWC), 3(4), 430-439, 2013.
- [25] Usman, A., & Shami, S. H., Evolution of Communication Technologies for Smart Grid Applications, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 19, 191-199, 2013.
- [26] Yaşa, E., Bozyiğit, S., Y Kuşağı Tüketicilerinin Cep Telefonu ve GSM Operatörleri Tercihi: Mersin İlindeki Üniversite Öğrencilerinin Tercihlerini Belirlemeye Yönelik Pilot Bir Araştırma, Çağ Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 9(1), 29-46, 2012.
- [27] Jawarkar, N.P., Ahmed, V., Thakare, R.D., Remote Control Using Mobile Through Spoken Commands, In: Signal Processing, Communications and Networking, ICSCN'07, International Conference on, IEEE, 2007.
- [28] Yuliansyah, H., Uji Kinerja Pengiriman Data Secara Wireless Menggunakan Modul ESP8266 Berbasis Rest Architecture, Electrician, 10(2), 68-77, 2016.

- [29] Khanafer, M., Guennoun, M., Mouftah, H.T., WSN Architectures for Intelligent Transportation Systems, In New Technologies, Mobility and Security (NTMS), 2009 3rd International Conference on IEEE, 2009.
- [30] Panghal, J., Verma, N., A Review on Security Analysis in WSN, 2016.
- [31] Brownfield, M.I., Energy-efficient Wireless Sensor Network MAC Protocol, Doktora Tezi, Virginia Teknik Üniversitesi, 2006.
- [32] Akyildiz, I.F., Vuran, M. C., Wireless Sensor Networks, John Wiley & Sons, (4), 2010.
- [33] Kaur, K., Kaur, P., Singh, E.S., Wireless Sensor Network: Architecture, Design Issues and Applications, International Journal of Scientific Engineering and Research (IJSER), 2(11), 2014.
- [34] Garnepudi, P., Damarla, T., Gaddipati, J., Veeraiah, D., Proactive, Reactive and Hybrid Multicast Routing Protocols for Wireless Mesh Networks, In Computational Intelligence and Computing Research (ICCIC), 2013 IEEE International Conference on IEEE, 1-7, 2013.
- [35] Khedo, K.K., Perseedoss, R., Mungur, A., A Wireless Sensor Network Air Pollution Monitoring System, 2(2), 1005.1737, 2010.
- [36] ML, U., & Ramakrishna, M. V., Optimization Techniques in Wireless Sensor Networks: A Survey, Optimization, 6(7), 2017.
- [37] Wang, Q., Balasingham, I., Wireless Sensor Networks-An Introduction, In Wireless Sensor Networks: Application-Centric Design, InTech, 2010.
- [38] Nallusamy, R., Duraiswamy, K., Solar Powered Wireless Sensor Networks for Environmental Applications with Energy Efficient Routing Concepts: A Review, Information Technology Journal, 10(1), 1-10, 2011.

- [39] Guy, C., Wireless Sensor Networks, In Sixth International Symposium on Instrumentation and Control Technology: Signal Analysis, Measurement Theory, Photo-Electronic Technology, and Artificial Intelligence (Vol. 6357, p. 63571I), International Society for Optics and Photonics, 2006.
- [40] Rani, M.U., Kamalesh, S., Web Based Service to Monitor Automatic Irrigation System for The Agriculture Field Using Sensors. In Advances in Electrical Engineering (ICAEE), International Conference on IEEE, 1-5, 2014.
- [41] He, C., Kiziroglou, M. E., Yates, D. C., & Yeatman, E. M., A MEMS Self-Powered Sensor and RF Transmission Platform for WSN Nodes, IEEE Sensors Journal, 11(12), 3437-3445, 2011.
- [42] Nabi, F., & Jamwal, S., Wireless Sensor Networks and Monitoring of Environmental Parameters in Precision Agriculture, International Journal, 7(5), 432-437, 2017.
- [43] Roy, S., & Bandyopadhyay, S., A Test-Bed on Real-Time Monitoring of Agricultural Parameters Using Wireless Sensor Networks for Precision Agriculture, In First International Conference on Intelligent Infrastructure The 47th Annual National Convention at Computer Society of India CSI, 2013.
- [44] Dong, X., Vuran, M.C., Irmak, S., Autonomous Precision Agriculture Through Integration of Wireless Underground Sensor Networks with Center Pivot Irrigation Systems, Ad Hoc Networks, 11(7), 1975-1987, 2013.
- [45] Aküzüm, T., Çakmak, B., Gökalp, Z., Türkiye’de Su Kaynakları Yönetiminin Değerlendirilmesi, Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi, (1), 67-74, 2010.
- [46] Kanber, R., Çullu, M. A., Kendirli, B., Antepi, S., & Yılmaz, N., Sulama, Drenaj ve Tuzluluk, Türkiye Ziraat Mühendisliği VI. Teknik Kongresi, 3-7, 2005.

- [47] Karasekreter, N., Gsm/Sms Tabanlı Sulama Otomasyonu Kontrol Biriminin Geliştirilmesi ve Uygulanması, *Engineering Sciences*, 6(1), 71-77, 2011.
- [48] Singh, P., & Saikia, S., Arduino-Based Smart Irrigation Using Water Flow Sensor, Soil Moisture Sensor, Temperature Sensor and ESP8266 WiFi Module, In *Humanitarian Technology Conference (R10-HTC)*, IEEE Region 10, 1-4, 2016.
- [49] Peterson, B., Dubayah, R., Hyde, P., Hofton, M., Blair, J.B., Fites-Kaufman, J., Use of LIDAR for Forest Inventory and Forest Management Application, In In: McRoberts, Ronald E.; Reams, Gregory A.; Van Deusen, Paul C.; McWilliams, William H., eds. *Proceedings of The Seventh Annual Forest Inventory and Analysis Symposium; October 3-6, 2005; Portland, ME., Gen. Tech. Rep., WO-77*. Washington, DC: US Department of Agriculture, Forest Service, (77), 193-202, 2007.
- [50] Kumar, M.S., Chandra, T.R., Kumar, D.P., Manikandan, M.S., Monitoring Moisture of Soil Using Low Cost Homemade Soil Moisture Sensor and Arduino UNO, In *Advanced Computing and Communication Systems (ICACCS)*, 2016 3rd International Conference on, (1), 1-4, IEEE, 2016.
- [51] Kumar, S., Sethuraman, C., Srinivas, K., Solar Powered Automatic Drip Irrigation System (SPADIS) Using Wireless Sensor Network Technology, 2017.
- [52] Mat, I., Kassim M.R.M., Harun, A.N., Precision Irrigation Performance Measurement Using Wireless Sensor Network, 2014 Sixth International Conference on Ubiquitous and Future Networks (ICUFN), Shanghai, 2014.
- [53] Kansara, K., Zaveri, V., Shah, S., Delwadkar, S., Jani, K., Sensor Based Automated Irrigation System with IOT: A Technical Review, 6(6) , 5331-5333, 2015.

- [54] Hanswal, P., Dale, O., Gupta, D., Yadav, R.N., Designing a Central Control Unit and Soil Moisture Sensor Based Irrigation Water Pump System, In India Educators' Conference (TIIEC), 2013 Texas Instruments, April, 2013.
- [55] Jannat, K. S., & Islam, M. S., Development of the Pre Seeding Decision Support System Based on IOT in Agriculture, Doktora Tezi, East West Üniversitesi, Bangladeş, 2017.
- [56] Suresh, P., Daniel, J. V., Parthasarathy, V., & Aswathy, R. H., A State of The Art Review on The Internet of Things (Iot) History, Technology and Fields of Deployment, In Science Engineering and Management Research (ICSEMR), 2014 International Conference on, IEEE, 1-8, 2014.
- [57] Gubbi, J., Buyya, R., Marusic, S., & Palaniswami, M., Internet of Things (IoT): A Vision, Architectural Elements, and Future Directions. Future Generation Computer Systems, 29(7), 1645-1660, 2013.
- [58] Kumar, M. K., & Ravi, K. S., Automation of Irrigation System Based on Wi-Fi Technology and IOT, Indian Journal of Science and Technology, 9(17), 2016.
- [59] Baytürk, M., Çetin, G., & Çetin, A., Gömülü Sunucu ile Tasarlanmış İnternet Tabanlı Sera Otomasyon Sistemi Uygulaması, Bilişim Teknolojileri Dergisi, 6(2), 53-57, 2013.
- [60] Suma, D. N., Samson, S. R., Saranya, S., Shanmugapriya, G., & Subhashri, R., IOT Based Smart Agriculture Monitoring System, International Journal on Recent and Innovation Trends in Computing and Communication, 5(2), 177-181, 2017.
- [61] Gutiérrez, J., Villa-Medina, J. F., Nieto-Garibay, A., & Porta-Gándara, M. Á., Automated Irrigation System Using a Wireless Sensor Network and GPRS Modüle, IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 63(1), 166-176, 2014.

- [62] Kabilan, N., & Selvi, M. S., Surveillance and Steering of Irrigation System in Cloud Using Wireless Sensor Network and Wi-Fi Module, In Recent Trends in Information Technology (ICRTIT), 2016 International Conference on, 1-5, IEEE, 2016.
- [63] Rajalakshmi, P., & Mahalakshmi, S. D., IoT Based Crop-Field Monitoring and Irrigation Automation, In Intelligent Systems and Control (ISCO), 2016 10th International Conference on, IEEE, 1-6, 2016.
- [64] Ryu, M., Yun, J., Miao, T., Ahn, I. Y., Choi, S. C., & Kim, J., Design and Implementation of a Connected Farm for Smart Farming System, In Sensors, IEEE, 1-4, 2015.
- [65] Gondchawar, N., & Kawitkar, R. S., IoT Based Smart Agriculture, International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering (IJARCCE), 5(6), 177-181, 2016.
- [66] Imteaj, A., Rahman, T., Hossain, M. K., & Zaman, S., IoT Based Autonomous Percipient Irrigation System Using Raspberry Pi, In Computer and Information Technology (ICCIT), 2016 19th International Conference on, IEEE, 563-568, 2016.
- [67] Singh, R., & Dhanoa, R. S., Automatic Irrigation System Using WSNs, International Journal Of Engineering Sciences & Research Technology (IJESRT), 2014.
- [68] Rane, M. D., Scholar-VLSI, P. G., & Sevagram, B. D. C. E., Review Paper Based on Automatic Irrigation System Based on RF Module, PG Scholar-VLSI, Sevagram, Wardha, India, IJAICT, ISSN, 2348-9928, 2014.
- [69] Kokkonis, G., Kontogiannis, S., & Tomtsis, D., A Smart IoT Fuzzy Irrigation System, Power (mW), 100(63), 25, 2017.

- [70] Kodali, R. K., & Sahu, A. An IoT Based Soil Moisture Monitoring on Losant Platform, In 2016 2nd International Conference on Contemporary Computing and Informatics (ic3i), 764-768, 2016.
- [71] Marcel Stör, ESP8266, <http://www.webcitation.org/735pPaD02> , (Erişim Tarihi: 11.10.2018).
- [72] Reddy, A. M., & Rao, K. R. An Android Based Automatic İrrigation System Using a WSN and GPRS Module. Indian Journal of Science and Technology, 9(30), 2016.
- [73] Manjula, T., & Sudhakaran, M. M., Android Based Closed Loop Speed Control of Dc Motor Voice Recognition by Using Wi-Fi, 2018.
- [74] Ülker, M., Canbay, Y., & Sağiroğlu, Ş., Nesnelerin İnternetinin Kişisel, Kurumsal ve Ulusal Bilgi Güvenliği Açısından İncelenmesi, Türkiye Bilişim Vakfı Bilgisayar Bilimleri ve Mühendisliği Dergisi, 10(2), 28-41, 2017.
- [75] H. Suo, J. Wan, C. Zou, and J. Liu, Security in The Internet of Things: A Review, in Computer Science and Electronics Engineering (Iccsee), 2012 International Conference on, IEEE, (3), 648-651, 2012.
- [76] Matharu, G. S., Upadhyay, P., & Chaudhary, L., The Internet of Things: Challenges & Security Issues, In Emerging Technologies (Icet), 2014 International Conference on, IEEE, 54-59, 2014.
- [77] Aktaş, F., Çeken, C., & Erdemli, Y. E., Nesnelerin İnterneti Teknolojisinin Biyomedikal Alanındaki Uygulamaları. Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 4(1), 2016.
- [78] Liu, Y., & Zhou, G., Key Technologies and Applications of Internet of Things, In Intelligent Computation Technology and Automation (ICICTA), 2012 Fifth International Conference on, IEEE, 197-200, 2012.

- [79] Agrawal, S., & Das, M. L., Internet of Things., A Paradigm Shift of Future Internet Applications, In Engineering (NUICONE), 2011 Nirma Üniversitesi, International Conference on, IEEE, 1-7, 2011.
- [80] Wang, G. Improving Data Transmission in Web Applications via The Translation Between XML and JSON, In 2011 Third International Conference on Communications and Mobile Computing, IEEE, 182-185, 2011.
- [81] Anonim, Request, <http://www.webcitation.org/735xkGxc4> , (Erişim Tarihi: 11.10.2018).
- [82] Khalil, E. A., & Özdemir, S., Nesnelerin İnternetine Genel Bir Bakış: Kavram, Özellikler, Zorluklar ve Fırsatlar, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 24(2), 311-326, 2018.
- [83] Gündüz, K. A., & Akyüz, E. T. Nesnelerin İnterneti ve Hayvancılık Alanındaki Uygulamalar, Selçuk Üniversitesi Sosyal ve Teknik Araştırmalar Dergisi, (14), 232-246, 2017.
- [84] Choosri, N., Park, Y., Grudpan, S., Chuarjedton, P., & Ongvisesphaiboon, A., IoT-RFID Testbed for Supporting Traffic Light Control, International Journal of Information and Electronics Engineering, 5(2), 102-106, 2015.
- [85] Paventhan, A., Allu, S. K., Barve, S., Gayathri, V., & Ram, N. M., Soil Property Monitoring Using 6lowpan-Enabled Wireless Sensor Networks, Proceedings of AIPA, India, 277-282, 2012.